





# COGNICIÓN SEMÁNTICA; UNA APROXIMACIÓN MATEMÁTICA

Jorge Graneri

Tesis de Doctorado en Biología

## Orientadores:

Dr. Eduardo Mizraji

Dr. Gerardo Rubino

## Tribunal:

Dr. Luis Acerenza

Ing. Enrique Cabaña

Dr. Julio Hernández

Dr. José León

Dr. Omar Macadar

Universidad de la República

Facultad de Ciencias

2019



*Portada: Imagen del dios Odín y sus cuervos Hugin y Munin.  
Hugin representaba el pensamiento y Munin la memoria.  
Ambos volaban para recoger información que luego transmitían a su  
amo. La imagen proviene de un manuscrito islandés de fines del siglo  
XVII.*

*A mi madre,  
a la memoria de mi padre.*

*a mi maestro Enrique Cabaña.*



*Desde los seis años sentí el impulso de dibujar las formas de las cosas. Hacia los cincuenta, expuse una colección de dibujos; pero nada de lo ejecutado antes de los setenta me satisface. Sólo a los setenta y tres años pude intuir, siquiera aproximadamente la verdadera forma y naturaleza de las aves, peces y plantas. Por consiguiente, a los ochenta años habré hecho grandes progresos; a los noventa habré penetrado la esencia de todas las cosas; a los cien, habré seguramente ascendido a un estado más alto, indescriptible, y si llego a ciento diez años, todo, cada punto y cada línea, vivirá. Invito a quienes vivirán tanto como yo a verificar si cumplo estas promesas. Escrito a la edad de setenta y cinco años, por mí, antes Hokusai, ahora llamado Huakivo-Royi, el viejo enloquecido por el dibujo.*

Adler-Revon, Japanische Literatur.

*Preguntaron al Rabí Leví Itjac: “¿Por qué no hay primera página en ninguno de los tratados del Talmud babilónico? ¿Por qué cada uno empieza por la segunda?”*

*Repuso: “Por mucho que un hombre pueda aprender, siempre debe recordar que no ha llegado siquiera a la primera página”.*

Martin Buber, Cuentos Jasídicos.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>15</b>
1.1. Marco general . . . . .	16
1.2. Sobre la experimentación en Neuropsicología . . . . .	17
1.3. Objetivos . . . . .	20
1.4. Trabajo realizado en el marco de esta tesis . . . . .	21
1.5. Estructura de la tesis . . . . .	22
1.6. Otras precisiones . . . . .	23
<b>2. El Sistema Semántico</b>	<b>27</b>
2.1. Introducción . . . . .	27
2.2. Disociaciones. Las vías ventral y dorsal . . . . .	30
2.3. Déficits categoriales y organización del conocimiento semántico . . . . .	32
2.4. Un hub semántico . . . . .	35
2.5. Alteraciones de la memoria semántica . . . . .	37
2.5.1. Demencia Semántica . . . . .	38
2.5.2. Enfermedad de Alzheimer . . . . .	42
2.5.3. Herpes simplex Encefalitis . . . . .	43
2.5.4. Accidente cerebro-vascular (ACV) . . . . .	44
2.6. Rol de los ganglios basales en el lenguaje y la semántica . . . . .	45
<b>3. Herramientas Matemáticas</b>	<b>51</b>
3.1. <b>Mapas de Kohonen</b> . . . . .	51
3.1.1. El modelo . . . . .	51
3.1.2. Algoritmo matemático . . . . .	56
3.1.3. Algunos ejemplos . . . . .	57
3.2. Descomposición en Valores Singulares . . . . .	72
3.2.1. Ejemplo: Compresión de Imágenes . . . . .	75
<b>4. Tests de Tríadas</b>	<b>81</b>
4.1. Introducción . . . . .	81
4.2. El test FvM . . . . .	89

<b>5. Resultados del Test FvM</b>	<b>95</b>
5.1. Introducción . . . . .	95
5.2. Resultados del test FvM . . . . .	95
5.2.1. Caso 1: Pacientes de Parkinson y grupo de control: scores . . . . .	95
5.3. Diferencias entre sexos . . . . .	104
5.4. Conclusiones del capítulo . . . . .	104
<b>6. Un algoritmo matemático para los tests de ternas</b>	<b>107</b>
6.1. Introducción . . . . .	107
6.2. Ejemplo: Los Camináculos . . . . .	109
6.3. Aplicación del algoritmo a los test de tríadas . . . . .	112
6.4. Test de tríadas a partir de imágenes . . . . .	114
6.5. Conclusiones del capítulo . . . . .	119
<b>7. La estructura de los datos y la representación de las propiedades</b>	<b>121</b>
7.1. Conclusiones del capítulo . . . . .	124
<b>8. Grafos semánticos y tests cognitivos</b>	<b>125</b>
8.1. Introducción . . . . .	125
8.2. Realización del test FvM usando grafos semánticos . . . . .	125
8.2.1. Participantes . . . . .	125
8.2.2. Procedimiento . . . . .	126
8.2.3. Procesamiento de datos . . . . .	126
8.2.4. Una forma de verificación . . . . .	131
8.3. Test PPT y similares a partir de grafos . . . . .	133
8.3.1. Participantes y procedimiento . . . . .	133
8.3.2. Resultados . . . . .	134
8.4. Grafos, Descomposición en valores singulares y un generador de tríadas . . . . .	134
8.5. Conclusiones del capítulo . . . . .	140
<b>9. Familiaridad y Mapas de Kohonen</b>	<b>143</b>
9.1. Introducción . . . . .	143
9.2. Conclusiones del capítulo . . . . .	146
<b>10. Discusión final</b>	<b>147</b>
<b>11. Conclusiones</b>	<b>153</b>

# Agradecimientos

Muchas son las personas e instituciones a las que debo agradecer en esta instancia.

A mi madre, a mi padre, cuyo recuerdo siempre vive en mí y a mi familia, por el amor, por la contención, por los valores que me han inculcado.

A mis orientadores. A Eduardo Mizraji y a Gerardo Rubino, que desde el principio me brindaron su apoyo y en todo momento me brindaron su paciente guía y dedicación, por lo mucho que me enseñaron, por su confianza y por la libertad de trabajo. Ha sido un placer trabajar con ellos y aprender de ellos, de su conocimiento, de su buena disposición, de su generosidad.

A los integrantes del tribunal: Omar Macadar, Luis Acerenza, Julio Hernández, Enrique Cabaña y José León por su generosidad para considerar esta tesis, por sus comentarios y sugerencias que mucho me han ayudado a mejorar el presente trabajo. Es un honor para mí el haber tenido este tribunal. Expreso también mi agradecimiento a Lina Bettucci que ha integrado la Comisión de Seguimiento de este trabajo por el PEDECIBA Biología.

Tengo el orgullo de pertenecer a un equipo de trabajo extraordinario, sin el cual este trabajo no habría sido posible. Agradezco en primer lugar a Sergio Dansilio, Macarena Martínez Cuitiño y Lina Grasso, por su dedicación, por lo mucho que he aprendido de ellos. A Ignacio Amorín que ha brindado un apoyo fundamental a este proyecto desde la Clínica Neurológica del Hospital de Clínicas. A Soledad Cantore, por el enorme trabajo que ha hecho en la toma de tests, por su gran capacidad de trabajo y por su entusiasmo. Por las mismas razones agradezco a Luciana Brasca, Melisa Altamirano, Eliana Altamirano, Cecilia Mogues, Vanina Bértola, Julieta Mordini, Karen Basabilbaso, Patricia Mayorca, Florencia Colovitta, Nicolás Romero y Francesca Mariani.

A Laura Rovetta por su traducción al Chino del test FvM. A Florencia Rivas por la gestión de la plataforma de internet desde donde se hicieron algunos de los tests. A Guillermo Echeverría por los dibujos de los objetos presentes en el test FvM. A Atilio Deana, Leticia Méndez y Mareney Rovira de la Unidad de Propiedad Intelectual de la UdelaR. A Alberto Basigaluz del Hospital de Clínicas, por toda la ayuda en la toma del test FvM.

A todas las personas que participaron de los tests generosa y desinteresadamente; en particular a todos los pacientes; les agradezco de corazón.

A Enrique Lessa, Juan Carlos Valle-Lisboa, Álvaro Cabana, Andrés Pomi, Graciela Muniz y Rina Suros, con quienes tuve interesantes discusiones a propósito de este trabajo. Agradezco muy en particular de Pablo Rodríguez Bocca, cuya ayuda, trabajo y sugerencias me han sido de suma utilidad en lo referente a grafos semánticos y con quien espero proseguir en esa línea de trabajo.

A los docentes que he tenido a lo largo de mi vida, de los que tanto he aprendido. En particular a Mario Guerra y a Julio Borghi.

A los excelentes docentes que he tenido en la Universidad de la República. Menciono en particular a los que me inculcaron el gusto por la probabilidad y la estadística, en particular Gonzalo Perera y Chichi León. A Mario Wschebor y Gonzalo Pérez cuyo recuerdo y cuyo ejemplo perdura en mí. A Enrique Cabaña por todo lo que he aprendido de él a lo largo de los años; por estar siempre.

El sinuoso camino que he recorrido no me impide olvidar que académicamente soy hijo del Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias. Allí tuve el privilegio de tener excelentes docentes que moldearon mi forma de pensar y trabajar. Quiero destacar en particular a Fernando Abadie, Andrés Abella, Alfredo Jones y Walter Ferrer.

A Cristina Arruti, a Ruben Budelli y a Mario Otero a quienes tuve el privilegio de conocer, de quienes mucho aprendí y cuyo recuerdo me acompaña con afecto y admiración.

A la Facultad de Ingeniería, al Instituto de Matemática Prof. Ing. Rafael Laguardia y al Laboratorio de Probabilidad y Estadística, que me han brindado apoyo y libertad de trabajo. En particular a María Simon, Héctor Cancela, Marcelo Lanzilotta, Raúl Ures, Gonzalo Perera, Heber Enrich, Franco Robledo y Gonzalo Tornaría que me han brindado a lo largo de los últimos años el apoyo necesario para desarrollar mi trabajo,

en los buenos y malos momentos. A ellos mi gratitud y mi amistad.

A mis amigos Álvaro Moraes, Gustavo Guerberoff, Juan Kalemkerian y Marco Scavino, que me acompañan desde hace muchos años en la academia y en la vida.

Muchos de mis amigos han contribuido desde diversos lugares a la realización de este trabajo, agradezco entonces a Franco Robledo, Marcelo Lanzilotta, Juan Kalemkerian, Matilde Martínez, Elisa Rocha, Jana Rodríguez Herz, Mathias Bourel, Pablo Romero, Juan Piccini, Andrea Genta, Valeria Correa, Iván Falero, Iván Pan, Karine Ducloyer, Fernando Abadie, Alejandro Presto, Emilia Abin, Andrea Mesa, María José Bersais, Carolina Fernández, Martín Irisarri, Daniel Calcagno, Fernando Suárez, Mar Sáez, Fabiana Bennasar, Ana Godoy, Sandra Acosta, Francisco Costa, Mauro Clara, Andrés Valledor, Walter Reis, Rafael Parra, Leonardo Correa.

En mis visitas académicas a Francia muchas personas me han brindado su ayuda y su hospitalidad. Agradezco entonces a Fabienne Cuyolla, Federico Sismondi, Corentin Hardy, Nicolás Jara, Yenifer Astorga, Louisa Yala, Pierre-Yves Jonin, Yassine Hadjadj-Aoul, César Viho, Elise Planchat, Sandrine Breuillaud, Patrick Meurlet, Malena Meurlet, Laïs Meurlet, Eric Schmittheisler, Thierry Callens.

A Fernando Álvarez, Leonel Gómez, Héctor Musto y Héctor Romero, referentes académicos y amigos.

A Joseline Cortazzo, Maryori Guillemet, Jimena Rodríguez, Sandra Fleitas, Ana Chiriff, Claudia Alfonso, Raquel Álvarez, Sandra Álvarez, Hilda Bernardo y Silvana Velázquez por toda la ayuda y la amistad de tantos años.

Finalmente, agradezco a las siguientes instituciones. cuyo apoyo financiero y académico ha sido fundamental en la realización de este trabajo: IMERL, PEDECIBA, CSIC, Comisión Académica de Posgrado de la Universidad de la República, Instituto Franco Uruguayo de Matemática, INRIA, Embajada de Francia.

A todos, mi más sincero y cordial agradecimiento.



# Capítulo 1

## Introducción

Este trabajo versa sobre el *sistema semántico* la *memoria semántica*, un concepto introducido por Endel Tulving a fines de la década de 1960. Este tipo de memoria representa nuestro conocimiento del mundo y se define por oposición al concepto de *Memoria Episódica*, que abarca los episodios biográficos de una persona. Los tres elementos que han sido reconocidos desde la antigüedad como los fundamentos del proceso mnésico en general son: la *codificación*, el *almacenamiento* y la *evocación*. Platón consideraba la memoria como una tabla de arcilla en donde la información podía ser grabada, esta tabla era luego guardada de modo de tener la posibilidad de recurrir a ella en el futuro. El tema de la memoria ha despertado desde siempre el interés del hombre. Ha sido objeto de las más bellas metáforas, mitos, historias, desde Mnemosine, personificación de la memoria en la mitología griega hasta Munin, uno de los dos cuervos que acompaña a Odín en la mitología nórdica, desde Homero hasta Borges, pasando insoslayablemente por Proust, desde los poetas árabes hasta Giordano Bruno. En el mundo académico, una lista mínima podría incluir el trabajo de William James, los experimentos con extensas listas de palabras de Hermann Ebbinghaus, que dieron lugar a las curvas de memoria, los trabajos de Bartlett que lo llevaron a afirmar que la memoria es una mezcla de conocimiento e inferencia, los estudios de Lashley sobre la localización de la memoria, los trabajos de Hebb sobre el reforzamiento sináptico, el modelo de memoria de Atkinson y Shiffrin de fines de los años sesenta y, deteniéndonos caprichosamente en la década del setenta, los trabajos de Tulving que condujeron al concepto de *memoria semántica*.

## 1.1. Marco general

El capítulo 2 de este trabajo se concentra en la memoria semántica, en las enfermedades o accidentes que podrían afectarla y en cómo el estudio de sus manifestaciones y deterioros ha ayudado a comprender su funcionamiento.

El capítulo 3 se ocupa de modelos matemáticos neurosímiles y su diálogo con la realidad biológica en la que fueron inspirados. Es justo entonces remontarse a la década anterior al modelo de Tulving. A fines de la década de 1950 Frank Rosenblatt propuso un modelo de red neural, basado en el trabajo de Mc Culloch y Pitts, que constituye el origen de la disciplina llamada *Aprendizaje Estadístico* o *Aprendizaje Automático*. La red de Rosenblatt estaba constituida por el perceptrón, su unidad fundamental de cómputo, que en esencia era la unidad de cómputo booleana de Mc Culloch y Pitts. El modelo no era nuevo, la novedad y el aporte de Rosenblatt consistieron en plantearlo como un algoritmo informático y su implementación en un computador IMB 704.



Figura 1.1: La figura de la izquierda muestra a Rosenblatt con el sensor del Mark I, el hardware diseñado a principios de la década de 1960 para implementar el perceptrón. En la figura de la derecha se ve a Charles Wightman sosteniendo un conjunto de 8 potenciómetros que representaban los aportes sinápticos del perceptrón.

Rosenblatt publicó su trabajo en el libro *“Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms”* (Rosenblatt 1962). Algunos años más tarde Marvin Minsky presenta junto a Seymour Pappert, en su libro *“Perceptrons”* (Minsky, Pappert 1969) una serie de objeciones relacionadas con las limitaciones del perceptrón que perjudicaron mucho el avance en esta línea de trabajo durante años. La objeción se basa justamente en la incapacidad del perceptrón simple para implementar funciones booleanas como el “o exclusivo” (XOR) y su

función complementaria.

Sin embargo, sí es posible implementar la función XOR con una red muy sencilla de perceptrones y de la misma forma es posible resolver otros tantos problemas usando una red de perceptrones conectados en capas. Ése es el origen de las redes de neuronas que alcanzaron su madurez en la década de 1980. Un hecho de suma importancia en este proceso es la formulación del algoritmo de retropropagación que permitió ajustar los pesos sinápticos entre las neuronas artificiales de modo de resolver ciertos problemas computacionales específicos. Junto con éste, otros modelos matemáticos neuralmente inspirados han visto la luz: las memorias matriciales propuestas independientemente por Anderson, Kohonen y Cooper (Anderson 1972, Kohonen 1972, 1977, Cooper 1973), las memorias contextuales presentadas por Mizraji (Mizraji 1989) que utilizan, a modo de contexto, una herramienta poderosa como el producto matricial de Kronecker, los Mapas Autoorganizados propuestos en por Kohonen (Kohonen 1982).

El capítulo 3 de este trabajo se concentra en las herramientas matemáticas que se usarán en él, en particular en el modelo de Kohonen a través de su formulación y algunos ejemplos y en la *Descomposición en valores singulares*, poderosa herramienta algebraica que permite a la vez reducir la dimensionalidad de algunos problemas y extraer información básica de resumen para su comprensión.

En el capítulo 3 se trata un punto particular de la evaluación del estado de la memoria semántica: el test de Pirámides y Palmeras propuesto por Howard y Patterson en 1992 y algunos tests asociados. En dichos tests, al participante se le presenta un objeto de referencia y dos objetos entre los que debe elegir el que, a su criterio, está más asociado al objeto de referencia. Pirámides y Palmeras es el test clásico de evaluación de la memoria semántica y presenta dos modalidades: lingüística y pictórica. otros tests derivados ponen énfasis en distintos aspectos de la información semántica.

## 1.2. Sobre la experimentación en Neuropsicología

Una de las dificultades que presenta el estudio de la memoria y, en particular, el estudio de la memoria semántica es que no es algo que se pueda observar y medir directamente, sino indirectamente a través de

la realización de determinada tarea y en las alteraciones que se puedan presentar en la misma. El problema recuerda al sofisma sobre el estudio de la mente en general: *la mente humana no puede estudiarse a sí misma*. Este sofisma ha sido refutado por los hechos, en tal sentido, una de las primeras referencias experimentales a tener en cuenta es el trabajo de Franciscus Donders, oftalmólogo holandés del siglo XIX, que en 1868 llevó adelante, con los medios que la época permitía y con mucho ingenio, varios experimentos cognitivos.



Figura 1.2: Franciscus Donders 1818-1889.

Uno de los experimentos de Donders consistía en que un participante debía indicar, pulsando un dispositivo que registraba el tiempo, la percepción de una luz a la distancia. En otra instancia, se usaban dos luces y el participante debía pulsar uno de dos dispositivos, según cuál de las luces se encendía. Donders atribuyó el tiempo de decisión a la diferencia entre el tiempo que insume la segunda instancia (que implica la decisión seguida de la percepción) y el tiempo de la primera instancia (que implica sólo la percepción). Éste es uno de los primeros ejemplos del uso del tiempo de realización de una tarea para evaluar la complejidad de un proceso cognitivo.

Con el mismo espíritu, un siglo más tarde Collins y Quillian postulan un modelo jerárquico para la memoria semántica (Collins, Quillian 1969) reforzado por un experimento con control de tiempo. Los participantes debían responder sobre la veracidad de ciertas afirmaciones (cientos de afirmaciones), tarea en las que se les tomaba el tiempo. Según el modelo planteado en la figura 3, dada la distancia en el grafo, debería implicar menos tiempo responder la pregunta *¿el canario canta?* que responder la pregunta *¿el canario tiene alas?*. Dichas predicciones fueron confirmadas por los resultados del experimento que respaldó la organización jerárquica propuesta por los autores del modelo.

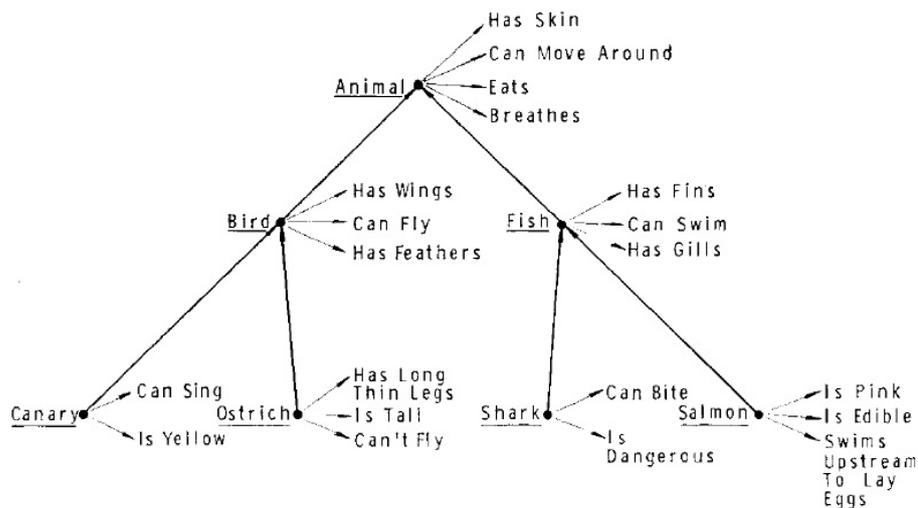


Figura 1.3: Parte de un grafo que representa el modelo jerárquico de Collins y Quillian de 1969.

A lo largo del Capítulo 3 de esta tesis se mencionan los resultados de varios estudios imagenológicos (Kable et al. 2002, Boronat 2005) que relacionan el conocimiento semántico, en particular el conocimiento de un objeto, con los aspectos motores que el objeto evoca en nuestra memoria: lo que suele llamarse “diseño de un plan motor para el objeto”. Sin embargo, esos resultados no dejan claro si la activación de engramas <sup>1</sup> motores tiene un rol causal en el proceso de reconocimiento semántico o si se trata de un epifenómeno. En tal sentido los estudios comportamentales llevados dentro del marco de la teoría de la *Cognición Corpórea* (*Embodied Cognition*) pueden arrojar luz sobre el asunto. Esta teoría sostiene que el conocimiento es *corpóreo*, es decir, se deriva de la naturaleza mecánica de los cuerpos y de los sistemas de percepción (Glenberg 1997, Barsalou 1999). Por ejemplo, en un ingenioso experimento (Glenberg 2002) se presenta a los participantes un conjunto de oraciones para que juzguen si las mismas tienen sentido o no. La mitad de las oraciones con sentido implican un movimiento hacia adentro, hacia el cuerpo (“abra el cajón”, “tóquese la nariz con el dedo”), la otra mitad implican un movimiento hacia afuera (“cierre el cajón”, “lleve su mano a la cani-

<sup>1</sup>Un Engrama es una estructura neuronal estable asociada a la activación de respuestas concretas sean inconscientes o conscientes, por ejemplo, motoras. El término fue introducido por el biólogo alemán Richard Semon (1859-1918) quien lo definiera como una “traza de memoria”. En 1950 el psicólogo conductista Karl Lashley (1890-1958) lo popularizó en su famoso artículo “En busca del Engrama”.

lla”). Según las instrucciones del experimento el hecho de que la oración tenga sentido se responde afirmativamente, en la mitad de los casos activando una palanca con un movimiento hacia el cuerpo y en la otra mitad, activando una palanca con un movimiento hacia afuera. Los resultados muestran que las respuestas son más rápidas cuando el sentido de la oración coincide con el de la activación de la palanca. Según los proponentes de la teoría, el conocimiento está íntimamente ligado a la acción: entender una oración cuyo sentido implica un movimiento “hacia adentro” implica una simulación neural de movimientos hacia el cuerpo, si esa simulación implica los mismos sistemas necesarios para la planificación de una acción real (mover la palanca) entender una oración que implica un movimiento “hacia adentro” debería interferir con la acción real de mover la palanca hacia afuera y viceversa. A esta interacción llama Glenberg *Efecto de compatibilidad acción-oración*.

### 1.3. Objetivos

Son objetivos del presente trabajo

- Recopilar la investigación reciente acerca de cómo se representa en el cerebro la información que constituye nuestro conocimiento del mundo y de qué forma se procesa la misma.
- Plantear un nuevo test cognitivo que se centre en la dualidad entre los conceptos de función y manipulación. Ponerlo en práctica con una población de control y con una población de pacientes afectados en el procesamiento motriz. Ver qué conclusiones se pueden extraer de dicho experimento y cuál es su alcance futuro.
- Estudiar de qué forma algunos modelos matemáticos neuralmente inspirados emulan esa representación, así como la realización de algunas tareas cognitivas, en particular de la realización del test FvM mencionado en el punto anterior.
- Estudiar similitudes y diferencias de esos modelos con la realidad, y algunas de sus posibles aplicaciones.
- Estudiar de qué forma la información proporcionada por la producción de lenguaje nos puede ayudar a entender el sistema semántico, estudiar la coherencia de las representaciones encontradas y sus posibles aplicaciones.

## 1.4. Trabajo realizado en el marco de esta tesis

En el final del capítulo 4 se presenta un nuevo test: el test de tríadas *Función vs. Manipulación* (FvM). Dicha prueba está inspirada por un lado en el *Test de Pirámides y Palmeras* para la evaluación del estado de la memoria semántica con una variante: hay dos modalidades posibles. Uno de los dos objetos que se proponen para la elección está asociado al objeto de referencia mediante la función; mientras que el otro está asociado por manipulación. La respuesta correcta en una versión es la respuesta incorrecta en la otra. Se obtiene de esta forma una prueba de dificultad mayor que la del resto de los tests presentados en el capítulo 4. Siguiendo la línea de experimentación de la corriente de *Cognición corpórea*, es interesante estudiar la diferencia en la performance entre ambas versiones de la prueba en poblaciones de control y en pacientes de enfermedades que afecten la parte motora. Esto se hace en el capítulo 5 con la correspondiente presentación de resultados.

Siguiendo el espíritu de los modelos neurosímiles mencionados, en el capítulo 6 se presenta un algoritmo para la resolución de los tests de tríadas: una red neural que usa un mecanismo de retropropagación. En dicho capítulo se describe además un experimento en el que se modifica la última capa de una red de identificación de imágenes para hacer el test de tríadas FvM, presentado en el capítulo 4, a partir de un conjunto de fotos de cada uno de los objetos involucrados.

En el capítulo 7 se analiza la representación de la información usada en los modelos matemáticos en la que cada objeto está representado por un vector matemático y se estudia la coherencia interna de la misma.

El lenguaje es una de las actividades más características del intelecto humano y el estudio de varios de sus aspectos proporciona rica información sobre la organización del conocimiento semántico. En tal sentido, el capítulo 8 muestra aplicaciones del estudio de la producción de lenguaje. En primer lugar veremos cómo la definición de grafos semánticos a partir de tests de asociación de palabras puede permitirnos predecir el comportamiento de un participante virtual ante una tarea cognitiva, en este caso los tests de tríadas presentados en el capítulo 4. Sobre el final del capítulo 8 se muestra cómo la descomposición en valores singulares, descrita en el capítulo 3, puede abstraer conceptos de un corpus de palabras y permitir el diseño de un generador de tríadas al estilo de los presentados en el capítulo 4.

Finalmente en el capítulo 9 se presenta un ejemplo de cómo el modelo de Kohonen podría emular un comportamiento observado en una de las enfermedades que afectan el sistema semántico: la *demencia semántica*, descrita en el capítulo 2.

## 1.5. Estructura de la tesis

### *Primera Parte*

La primera parte consiste de dos capítulos. En el capítulo 2 se presenta una revisión sobre la evolución del conocimiento acerca de la memoria semántica. En el capítulo 3 se presentan las herramientas matemáticas que se usarán a lo largo de la tesis.

### *Segunda Parte*

En la segunda parte se plantean las contribuciones presentadas en esta tesis. En el capítulo 4 se presenta un nuevo test cognitivo y en el capítulo 5 los resultados de su aplicación en una población de control y en una población de pacientes de la enfermedad de Parkinson. En el capítulo 6 se presenta un algoritmo matemático para la resolución de tests de tríadas, como el presentado en el capítulo 4. En el capítulo 7 se estudian algunas características de la representación vectorial de la información que se usa en el transcurso del trabajo de tesis. En el capítulo 8 se presentan algunos ejemplos de la relación entre grafos semánticos y cognición semántica. En el capítulo 9 se presenta un ejemplo basado en mapas de Kohonen, una de las herramientas presentadas en el capítulo 3 y el concepto de *familiaridad*, que es importante desde el punto de vista cognitivo. En el capítulo 10 se plantea una discusión final sobre los temas presentados en la tesis. En el capítulo 11 se presentan las conclusiones del trabajo y en el capítulo 12 las perspectivas de trabajo futuro.

## 1.6. Otras precisiones

El trabajo computacional ha sido realizado en el programa Matlab versión R2014a.

Con la excepción del algoritmo descrito en la sección 6.4, que fue implementado conjuntamente por Corentin Hardy (INRIA-Rennes) y el autor de la tesis, todos los ejemplos matemáticos han sido implementados por el autor de esta tesis, incluyendo los ejemplos de la sección sobre Mapas de Kohonen: originalmente tomados del libro de Ritter, Martinetz y Schulten (1992) y reescritos para el marco de este trabajo.

El test FvM presentado en el capítulo 4 fue diseñado por el autor de la tesis en consulta con el Dr. Sergio Dansilio del Hospital de Clínicas: Dr. Manuel Quintela. Los dibujos son originales y han sido hechos por Guillermo Echeverría. El conjunto de dibujos ha sido registrado bajo el programa de Protección de la Propiedad Intelectual de CSIC a nombre de Jorge Graneri, Sergio Dansilio y la Universidad de la República.

El equipo de trabajo que estuvo a cargo de la toma de tests en Buenos Aires fue coordinado por la Dra. Macarena Martínez Cuitiño en el Instituto de Neurociencias Cognitivas (INECO) y por la Dra. Lina Grasso en el Hospital Español de Buenos Aires. En este equipo participaron además los estudiantes avanzados de Psicología Patricia Mayorca, Florencia Colovitta y Nicolás Romero. El equipo de trabajo que estuvo a cargo de la toma de tests en Santa Fe (Argentina) fue coordinado por la Dra. Luciana Brasca y por la Lic. Soledad Cantore en el Centro de Rehabilitación Dr. Esteban Laureano Maradona. En este equipo participaron además la Lic. Melisa Altamirano, la Lic. Eliana Altamirano, la Lic. Cecilia Mogues, la Lic. Vanina Bertona, la Lic. Julieta Mordini y la Lic. Karen Basabilbaso. El equipo de trabajo que estuvo a cargo de la toma de tests en Montevideo fue coordinado por el Dr. Sergio Dansilio, por el Dr. Ignacio Amorín y por el autor de la tesis, que se encargó de la toma de los tests. En el equipo también participó la Lic. Francesca Mariani.

Con excepción de las fotografías biográficas y de las figuras cuyo origen se indica al pie, las figuras han sido realizadas por el autor de esta tesis.



# Primera parte



# Capítulo 2

## El Sistema Semántico

### 2.1. Introducción

Este trabajo versa sobre algunos aspectos del conocimiento y la memoria. Cualquier definición que se dé acerca de la memoria será pobre si tenemos en cuenta sus muchas posibilidades y lo que ésta abarca. A pesar de ello, comencemos dando la definición de la Enciclopedia Británica: *la Memoria es la codificación, el almacenamiento y la evocación en la mente humana de experiencias pasadas*. Sin embargo, la memoria implica mucho más que recordar experiencias pasadas: algunos aspectos de la memoria están relacionados con el lenguaje y la comunicación, otros con la correcta realización de tareas fundamentales para la supervivencia. Por otra parte, siempre que una experiencia anterior incide sobre la acción de alguien en un momento futuro, dicha influencia es una elaboración de la memoria. En busca de mayor precisión podemos citar la siguiente definición dada por el biólogo argentino Héctor Maldonado: *“la Memoria es una representación interna de una experiencia comportamental, codificada espacio-temporalmente en circuitos neurales mediante cambios en las propiedades reactivas de las neuronas, que puede guiar el comportamiento”*. (Maldonado 2008).

El estudio de la memoria ha sido un elemento fundamental para la comprensión de lo que actualmente sabemos sobre el conocimiento humano. El comienzo del estudio experimental detallado sobre la memoria comienza con el trabajo de Ebbinghaus en la segunda mitad del siglo XIX. Ebbinghaus estudió experimentalmente los porcentajes de retención en la memoria de una extensa lista de palabras sin sentido (sílabas combinación de consonante-vocal-consonante) al cabo de períodos que iban desde algunos minutos hasta un mes. A partir de sus estudios llegó a *“curvas de olvido”* con un comportamiento exponencial, cuyos parámetros dependían de la cantidad de repeticiones en el aprendizaje. Sus conclusiones se mantienen vigentes en la actualidad y presentan aplicaciones a diversos aspectos del aprendizaje (Ebbinghaus 1913). A los estudios de

Ebbinghaus, siguieron los trabajos de Bartlett realizados en la primera mitad del siglo XX. Bartlett experimentó haciendo recordar a sus sujetos de investigación pequeñas historias con sentido. Las conclusiones de su trabajo se pueden resumir en el concepto de *memoria constructiva*: en lugar de reproducir fielmente un evento o una historia, el individuo, al recordar, evoca en su memoria algunos elementos claves de la historia y la reconstruye siguiendo algunas especulaciones, supuestos y expectativas personales (Bartlett 1932). La siquiatra rusa Bluma Zeignarnik trabajó en la década de 1920 sobre la memoria. En sus experimentos puso diversas tareas a un grupo de individuos algunas de las cuales fueron interrumpidas arbitrariamente (como parte del propio experimento). El resultado fue que los individuos parecían recordar mejor las tareas interrumpidas que las realizadas. Este hecho y sus consecuencias sobre la posible estructura de la memoria tomó el nombre de *Efecto Zeigarnik*. (Mäntylä, Sgaramella 1997). Otros trabajos importantes que merecen ser citados son los de Franz y Lashley, que realizaron diversos experimentos con el objetivo de encontrar las trazas de memoria en el córtex. Franz trabajó a principios del siglo XX primero con gatos y luego con monos estudiando las consecuencias del daño cerebral realizado en el laboratorio en la realización de diversas tareas que involucraban la memoria; por ejemplo cómo escapar de un laberinto (Colotla, Bach-y-Rita 2002). Años después su colaborador Lashley, prosiguiendo la línea de Franz, llevó a cabo una serie de experimentos similares con ratas. En ninguno de los casos se llegó a encontrar un lugar específico para la memoria o *engrama*, término impuesto por Lashley inspirado en la definición dada por el biólogo alemán Richard Semon (Lashley 1950). En todos los casos el daño en el laboratorio fue producido después de que los animales aprendieran las tareas y previo a una segunda evaluación. Lo que pudieron concluir fue que el grado en el que las tareas y la memorización se veían afectadas no dependía del lugar en que el daño estaba localizado sino en la proporción del mismo. Años después algunos descubrimientos casuales como los de Scoville y Milner permitieron relacionar la memoria al hipocampo, luego de que una cirugía en la que se extirpara a un paciente las dos terceras partes del hipocampo y otras estructuras del lóbulo temporal produjera en éste severos problemas de memoria (Scoville, Milner 1957). El estudio de otros pacientes con problemas de memoria condujo a identificar otras zonas relacionadas con el problema en cuestión; en particular el lóbulo temporal. En lo que se refiere a la forma, en la década de 1960 Tulving introduce el concepto de memoria semántica, por oposición a la memoria episódica. La distinción entre memorias de corto y largo plazo ya se había hecho por parte de William James a fines del siglo XIX (James 1890).

Tulving introdujo la diferencia entre la memoria basada en hechos y datos y una memoria basada en acontecimientos (Tulving, 1972). La memoria



Figura 2.1: Endel Tulving

del segundo tipo fue llamada *memoria episódica* y está constituida por los episodios vividos por cada individuo y las relaciones temporales y espaciales entre esos episodios. La memoria del primer tipo fue llamada *memoria semántica* y está constituida por los hechos y datos que determinan nuestro conocimiento del mundo. “*La Memoria Semántica es la memoria necesaria para el uso del lenguaje. Es un tesoro mental, es el conocimiento organizado que una persona tiene sobre las palabras y otros símbolos verbales, sus significados y referentes, sobre las relaciones entre ellos, sobre las reglas, fórmulas y algoritmos para la manipulación de esos símbolos conceptos y relaciones*”. Según Tulving, la memoria episódica tiene contenido autobiográfico y la memoria semántica tiene contenido cognitivo (Tulving 1972).

La estructura del sistema semántico, la arquitectura neural que involucra, los procesos biológicos que permiten la integración de la información perceptual, la fijación y recuperación de los conocimientos, constituyen un tema fundamental y apasionante, en el que se ha ganado terreno en las últimas décadas, pero cuyos principales aspectos siguen siendo un enigma.

El conocimiento de las áreas del cerebro involucradas en la fijación y recuperación del conocimiento semántico es un aspecto muy importante de este problema. Hace más de siete siglos Tomás de Aquino nos proporcionó una hermosa metáfora relacionando la percepción con la memoria: “*la memoria es una reducción de la experiencia original*”. Un estudio hecho en los 90 por Martin (Martin et al 1995) basado en la técnica de *Tomografía por Emisión de Positrones* (en adelante PET, por su sigla en

inglés) muestra que la evocación de un concepto activa áreas idénticas o relacionadas a las específicas de percepción; en particular en materia de color (lóbulo occipital posterior) y otras características visuales de las imágenes (giro temporal medio, asociado al procesamiento de imágenes visuales). Otros autores obtuvieron resultados similares relacionados a movimiento, sonido, tamaño y forma.

Una pregunta natural es si los hechos mencionados son causales: es decir: si son parte del proceso o si son activaciones secundarias que acompañan el proceso de comprensión. Actualmente parece haber suficiente evidencia en favor de que tanto la información sensorial como la información motora ocupan un papel central tanto en la fijación como en la incorporación de conocimiento conceptual. Dicha dualidad entre función y manipulación es el sustento de las teorías que se han enunciado con respecto a este problema (Buxbaum et al 1997, 2002).

Muchas tareas necesarias para la supervivencia dependen fuertemente de la memoria semántica: en particular el reconocimiento y el uso de utensilios, herramientas, alimentos, etc. Esa no es una característica exclusiva del conocimiento humano, ya que otros animales la poseen en mayor o menor medida. Pero la forma de codificar y comunicar ese conocimiento mediante el lenguaje es un rasgo característico y muy rico que puede brindar valiosas pistas sobre la organización del sistema semántico.

Estudios imagenológicos de los últimos años han mostrado en tests de reconocimiento la activación de zonas específicas a cierta modalidad de información, como la activación de áreas no específicas que se supone importantes para la asociación y vitales para el sostén del sistema semántico. Esto permite establecer representaciones supramodales fundamentales para rasgos cognitivos como el reconocimiento y la manipulación de objetos, la cognición social, el lenguaje, la memoria en general, la creatividad y la capacidad de planificación a futuro.

## 2.2. Disociaciones. Las vías ventral y dorsal

Una parte importante de lo que hoy se sabe sobre las funciones cerebrales se aprendió del estudio de las disociaciones entre lenguaje, percepción y acción observadas como consecuencia de lesiones cerebrales. Dichas disociaciones se pueden dividir en tres: las afasias (del griego *a*: sin y *phainai*: hablar) las agnosias (término acuñado por Freud; del griego *a*: sin y *gnosis*: conocimiento) y las apraxias (del griego *a*: sin y *prassein*: hacer, llevar a cabo). La teoría clásica sitúa las tareas asociadas al lenguaje en

la región contigua a la cisura de Silvio, la percepción y el procesamiento visual en los lóbulos occipital y temporal inferior y el conocimiento sobre acciones en el lóbulo parietal y el córtex motor.

La llamada *teoría tripartita* (Rogers, Cox 2015) propone la existencia de tres subredes: una “léxica semántica”, una “visual perceptiva” destinada a procesar las propiedades visuales no-léxicas de los objetos y una de “acción semántica” destinada a procesar la interacción física con los objetos.

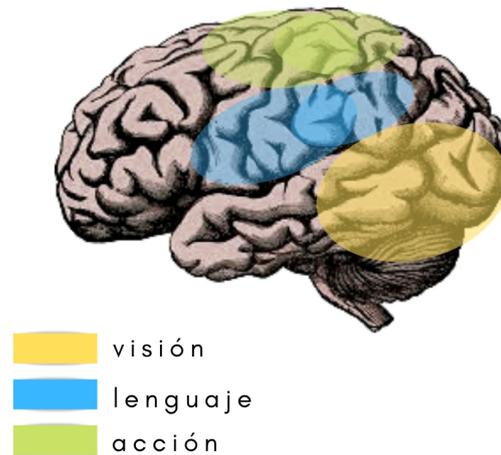


Figura 2.2: Las regiones cerebrales asociadas al lenguaje, la visión y la acción.

Las vías que transmiten la información visual en el cerebro y que parten del córtex visual (V1 o córtex estriado) se bifurcan esencialmente en dos: una vía superior que termina en el lóbulo parietal y una inferior que comunica con el lóbulo temporal. Estas dos vías son las llamadas respectivamente corriente (occipitoparietal) dorsal y corriente (occipitotemporal) ventral. Ungerleider y Mishkin propusieron (Ungerleider, Mishkin 1982) que dichas corrientes procesan diferente tipo de información: la ventral se especializa en la percepción y reconocimiento de objetos, mientras que la dorsal se especializa en la percepción espacial (por ejemplo para localizar la posición de un objeto y su relación espacial con otros objetos).

A propósito de estas dos vías cabe mencionar que las propiedades fisiológicas de las neuronas del lóbulo parietal son diferentes. Cerca del 60% de las neuronas del lóbulo parietal corresponden a un campo receptivo excéntrico que no incluye la fovea (Robinson et al 1978). Este tipo de estimulación es especialmente apropiado para la detección espacial de un objeto. Por su parte, las neuronas de la vía ventral tienen un campo receptivo comprendido en la fovea (Ito et al 1995). Esta re-

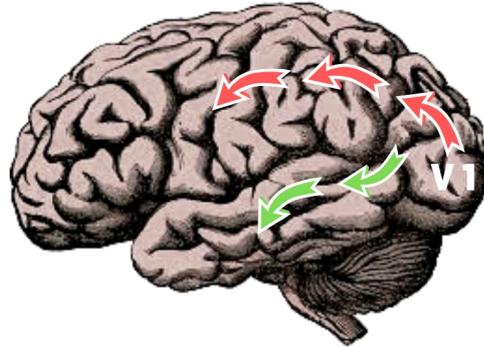


Figura 2.3: Las corrientes ventral y dorsal.

presentación central es muy adecuada para el reconocimiento de objetos.

En un estudio presentado por Kohler (Kohler et al 1995), a cada participante se le presentan dos láminas con tres objetos cada una. En la modalidad *posición* el participante debía contestar si las imágenes de ambas láminas estaban ubicadas en la misma posición, en la modalidad *objeto* el participante debía contestar si los tres objetos de las dos láminas eran los mismos o si había diferencias. Mientras hacían esa tarea se les realizaba un estudio con la tecnología PET. Durante la tarea *posición* el flujo sanguíneo fue mayor en el lóbulo parietal hemisferio derecho, mientras que durante la tarea *objeto* el flujo sanguíneo fue mayor en la zona occipito-temporal de forma bilateral.

### 2.3. Déficit categoriales y organización del conocimiento semántico

Los déficit categoriales, en los que los pacientes tienen dificultades para identificar objetos pertenecientes a una categoría determinada (animales, seres vivos, herramientas, etc.) proporcionan información útil que ha sido usada para elaborar teorías acerca de la organización del conocimiento semántico.

Dichas teorías se dividen en dos grupos: las que se basan en *el principio de estructura de correlación* y las que se basan en *el principio de estructura neural*.

Las teorías del primer grupo afirman que la organización del conocimiento semántico en el cerebro se basa en la distribución estadística de las

propiedades de los objetos representados. Por ejemplo la teoría OUCH (Organised Unitary Content Hypothesis: Caramazza et al 1990) propone que los objetos que comparten muchas propiedades son representados juntos y predice que las lesiones locales afectan por igual a todos los objetos vecinos según ese criterio estadístico. Según estos criterios cualquier categoría (estadística) suficientemente compacta es pasible de verse afectada por una lesión. Cabe resaltar que según esta teoría, la organización del conocimiento no es semántica sino estadística.

Las teorías basadas en *el principio de estructura neural* sostienen que la organización del conocimiento semántico depende de representaciones sujetas a las restricciones propias de la estructura del cerebro y su funcionamiento. Este grupo de teorías se divide en dos. Por un lado el representado por la SFT (Sensor Functional Theory. Warrington, Mc Carthy 1987) que afirma que los déficits categoriales tienen como origen una lesión que altera los sistemas de procesamiento del tipo de información más relevante y sensible para la categoría (propiedades visuales de forma y color para la identificación de animales, propiedades de manipulación para utensilios y herramientas, etc.). De acuerdo con esta teoría el conocimiento semántico está organizado topográficamente de acuerdo a las propiedades más características de cada categoría o a las más importantes durante la adquisición de los conceptos correspondientes. Dentro de este grupo Humphreys y Forde (2001) mencionan que dentro de la categoría de los seres vivos se presentan más similitudes visuales que dentro de la categoría de seres inanimados; de modo que una lesión en el sistema destinado al procesamiento visual resultará en un déficit que afecte de forma desproporcionada a la categoría de los seres vivos.

Por su parte, la teoría presentada por Martin, Ungerleider y Haxby (2000) SMT (Sensory Motor Theory) agrega la importancia de propiedades motoras relacionadas con la manipulación: en el caso de la identificación de herramientas y utensilios. Todas estas teorías del primer grupo de las basadas en el principio de estructura neural tienen en común el hecho de explicar un déficit categorial a partir de un sistema semántico que no es categorial y de una lesión que tampoco lo es y que involucra cierto tipo de información.

El segundo grupo de teorías basadas en *el principio de estructura neural* en el que se destaca la llamada DSK (Domain Specific Knowledge) y que fuera presentada por Caramazza, Shelton y Mahon (Mahon, Caramazza 2003; Caramazza, Shelton 1998) sostiene que el conocimiento semántico se procesa desde el punto de vista neural según algunas categorías que son, precisamente aquellas que han sido fundamentales para la evolución. Es precisamente la evolución que ha modelado algunos circuitos neurales que se especializan en algunas tareas de procesamiento perceptual y conceptual vitales para la supervivencia. Dentro de esas tareas hay tareas de

reconocimiento: reconocimiento de rostros, por ejemplo para la identificación de enemigos, reconocimiento de animales que puedan representar algún peligro, reconocimiento de plantas y otros alimentos que sean beneficiosos, o que puedan resultar tóxicos, reconocimiento de herramientas, etc.

Esta teoría tiene una serie de implicaciones que hay que tener en cuenta. En primer lugar, desde el punto de vista funcional, a diferencia de lo que afirman las teorías del primer grupo (SFT, SMT, etc.) no hay una asociación entre un déficit categorial y un déficit para una cierta modalidad de información. De acuerdo con esta afirmación, los datos que se han podido extraer del estudio sistemático de déficits categoriales (Capitani et al, 2003) muestran que la mayoría de los casos de pacientes con déficits en la identificación de seres vivos presentan un deterioro *visual/perceptivo* de proporciones similares al del deterioro *funcional/asociativo*.

Una segunda predicción de esta teoría es que las categorías que podrían verse afectadas por un déficit son precisamente aquellas que están relacionadas con tareas esenciales para la evolución.

Otra predicción de esta teoría es que en general hay malas perspectivas de recuperación de un déficit categorial.

Dentro de esta área de trabajo, los autores utilizan la etiqueta *funcional/asociativo* para referirse a distintos aspectos de un objeto, como ser: *para qué se utiliza, cómo se utiliza, dónde se encuentra, etc.* La palabra *perceptivo* se utiliza mayormente para abarcar la información visual que recibimos del objeto: *forma, tamaño, textura, etc.* como así también la información proporcionada por otros sentidos.

En particular, no está claro si la diferencia entre la información *funcional/asociativa* y la *perceptual* depende de por qué canales la información es adquirida o si depende de cómo la misma es codificada.

Se asume que la forma canónica de un objeto se almacena en forma separada de la información semántica en un sistema de descripción estructural que posee sólo las propiedades visuales del objeto. Se ignora hasta el momento la forma precisa en que dicho sistema interactúa con el sistema semántico en la realización de una tarea cognitiva.

La siguiente tabla muestra las predicciones de las distintas teorías.

Teoría	Categorías que pueden presentar déficits	Tipo de conocimiento afectado en la categoría defectuosa
del tipo OUCH	Cualquier categoría lo suficientemente compacta del espacio conceptual	Todo tipo de conocimiento
del tipo SFT	Toda categoría para la cual el conocimiento semántico crucial está afectado (ej. seres vivos)	Información semántica importante para la categoría afectada (ej. visual)
del tipo DSK	Toda categoría destacable evolutivamente (animales, frutas, individuos de la misma especie)	Todo tipo de conocimiento

## 2.4. Un hub semántico

La investigadora Sharon Thompson-Schill en un completo artículo sobre estudios imagenológicos y memoria semántica (Thompson-Schill, 2003) afirma que “*la busca del locus neuroanatómico de la memoria semántica nos ha conducido a todas partes y a ninguna*”.

La teoría tripartita, mencionada en la Sección 2.2, se basa en la independencia de las redes de procesamiento “semántica”, la “visual perceptiva” y la de “acción semántica”. La pregunta es: *¿alcanza con estas áreas distribuidas del cerebro y sus conexiones para explicar el sistema semántico?* Las llamadas *teorías distribuidas* responden en forma afirmativa a esta pregunta. La figura 2.4 ilustra este tipo de teoría.

Se opone a esta teoría la llamada *Distributed plus hub view*, que sostiene la existencia de un área central de procesamiento situada bilateralmente en el lóbulo temporal: un *hub* o zona de alta conectividad (figura 2.5).

El papel del hub en esta teoría es generalizar a partir de conceptos que tienen un significado semántico similar; pero diferentes propiedades específicas. Las lamparillas eléctricas y las peras tienen forma similar pero son cosas muy diferentes; los colibríes y los pingüinos difieren notablemente en forma y movimiento, pero ambos pertenecen a la categoría de las aves; una máquina de escribir y un lápiz difieren notablemente en forma y manipulación, pero ambos sirven para la misma función. El sistema semántico debe representar una estructura de similaridad que no necesariamente se refleja en las propiedades singulares de los objetos.

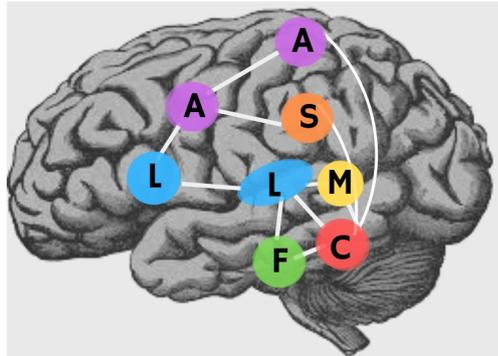


Figura 2.4: La teoría distribuida (distributed only view) en donde las letras indican las áreas asociadas a los distintos aspectos de la información semántica: C) Color F) Forma L) Lenguaje M) Movimiento S) Sonido A) Acción.

La existencia de un hub principal en el lóbulo temporal fue propuesto a partir del estudio de una enfermedad llamada *demencia semántica* y que se describirá en detalle en la próxima sección. Básicamente, esta enfermedad consiste en el deterioro progresivo del sistema semántico en todas sus formas con una preservación de la memoria episódica. Los pacientes de esta patología presentan una atrofia importante, en general bilateral, ubicada en el lóbulo temporal.

La verificación funcional de esta teoría, sin embargo, no es apoyada por estudios de resonancia magnética funcional (fMRI) tal vez debido a que el lóbulo temporal anterior presenta una señal muy ruidosa en este tipo de técnica (Boronat, 2005 ). Sin embargo, estudios hechos con la técnica PET parecen mostrar la existencia de una zona de gran actividad en el lóbulo temporal durante la realización de tareas cognitivas.

Una tercera teoría general pone énfasis, no en la independencia de las tres grandes subredes mencionadas, sino en las vías de asociación entre estas tres áreas. Esta teoría postula la existencia de zonas de convergencia o hubs que resultan fundamentales para procesamiento de la información semántica referida a ciertas categorías específicas. Es la llamada en inglés *Many hubs view* y fue propuesta por Damasio a fines de la década del 80 (Damasio 1989). Las figuras 2.6 y 2.7 ilustran dicha visión.

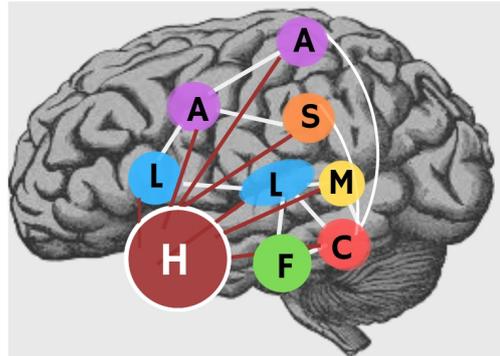


Figura 2.5: La teoría del hub principal (distributed plus hub view) en donde las letras indican las áreas asociadas a los distintos aspectos de la información semántica: C) Color F) Forma L) Lenguaje M) Movimiento S) Sonido A) Acción, mientras que la H corresponde al hub.

Esta teoría se basa en el estudio de pacientes con déficits categoriales y en experimentos cognitivos que incluyen estudios imagenológicos. Algunos autores han sugerido que el déficit en el reconocimiento de animales y seres vivos en general está estadísticamente relacionado con lesiones bilaterales en el córtex temporal ventral-inferior, con mayor daño en el hemisferio izquierdo. Por su parte el déficit en el reconocimiento de herramientas y utensilios está más bien asociado a lesiones en la zona contigua a la arteria cerebral media, es decir en regiones fronto-parietales y que podrían extenderse a la zona occipito-temporal-parietal (OTP) y al giro temporal medio. Estudios imagenológicos sobre un test de denominación de imágenes hecho a una población de control concuerdan con lo anterior mostrando mayor activación en el polo temporal inferior ante la tarea de nombrar personas, en el giro temporal medio al nombrar herramientas y en regiones occipitotemporales bilaterales al nombrar animales.

## 2.5. Alteraciones de la memoria semántica

Las alteraciones de la memoria semántica están asociadas a cuatro etiologías neurológicas básicas: la Demencia Semántica, la enfermedad de Alzheimer, infecciones virales (en particular la encefalitis producida por el virus *Herpes simplex*) y los accidentes cerebro vasculares. Todas ellas han aportado información sobre la organización del conocimiento semántico.

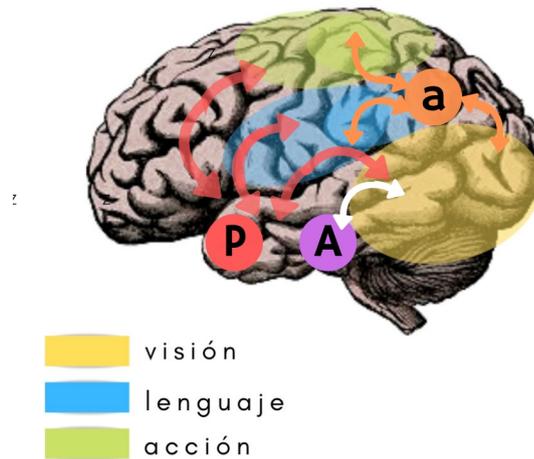


Figura 2.6: **La teoría de los hubs múltiples (many hubs view)** en donde las letras indican las áreas de convergencia: A) Identificación de animales, a) Hub de acción, P) Hub principal.

### 2.5.1. Demencia Semántica

La teoría del hub único se basa en el estudio de una enfermedad neurológica conocida como *Demencia Semántica* (Warrington, 1975). Se trata de una atrofia progresiva de los lóbulos temporales (lesión bilateral) que resulta en un deterioro progresivo del conocimiento semántico que podría abarcar todas sus formas: empobrecimiento del vocabulario que resulta en anomia, disminución de la comprensión, dificultades para diferenciar objetos reales de objetos quiméricos, ordenar palabras o imágenes en categorías, recordar los colores característicos de objetos familiares, asociar imágenes con sonidos característicos, recordar la manipulación de objetos familiares e identificar olores. El lenguaje, por su parte está bien preservado, fluído y sin errores ortográficos.

La enfermedad fue descrita en las últimas décadas por Warrington (Warrington 1975) y Mesulam (Mesulam 1982) a partir de tres y cinco pacientes respectivamente con trastornos progresivos del lenguaje. La enfermedad fue nombrada *Afasia Progresiva Primaria*, hasta que en 1989 Snowden y sus colegas acuñaron el nombre de *Demencia Semántica*. La denominación actual de la enfermedad es *Afasia Progresiva Primaria, Variante Semántica* (Gorno Tempini et al 2011). No obstante ello usaremos a lo largo del texto la expresión *Demencia Semántica*.

Recientemente se ha descubierto que la enfermedad está asociada a inclusiones intraneuronales positivas de ubiquitina como las que se observan en las enfermedades de la neurona motora.

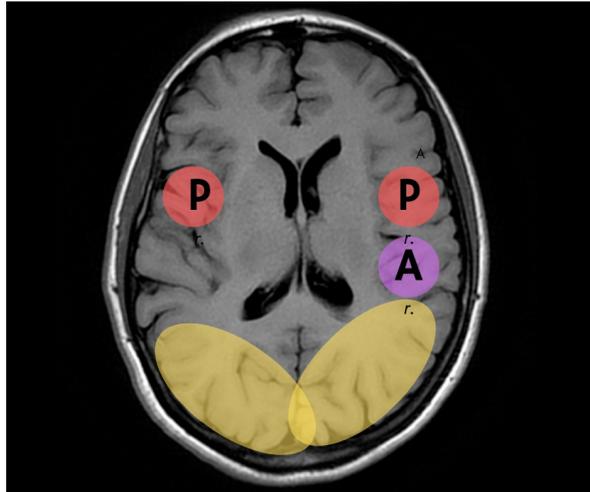


Figura 2.7: La teoría de los hubs múltiples (many hubs view) vista desde un corte axial en donde las letras indican las áreas de convergencia: A) Identificación de animales, P) Hub principal. En amarillo se indica el lóbulo occipital en el que se despliega la red visual; fundamental en el proceso de reconocimiento e incorporación de información.

La atrofia del lóbulo temporal que la causa es bilateral, pero en la mayoría de los casos con predominancia en el lado izquierdo. La atrofia es más pronunciada en las regiones inferolaterales de los lóbulos temporales anteriores, que se sabe son un centro importante para el conocimiento semántico.

La anomia es una de las características del discurso de los pacientes de demencia semántica. Cuando la palabra específica buscada no les viene a la mente, suelen usar una palabra general más común: “cosa” en lugar de “tenedor” o “botella”, “lugar” en lugar de “Buenos Aires” o “parque”, “hacer” en lugar de “pescar” o “regar”. Se muestra a continuación una tabla conteniendo algunas respuestas de un paciente de demencia semántica a la *Batería de Memoria semántica de Cambridge* (un corpus de 32 animales/seres vivos y 32 objetos domésticos/herramientas/vehículos/instrumentos). El patrón de errores y no respuesta es típico de la enfermedad.

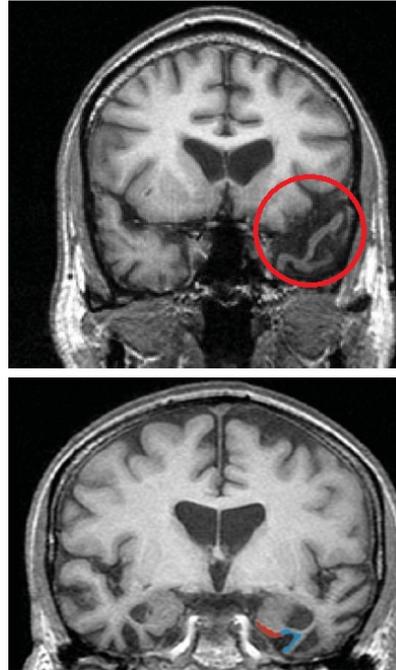


Figura 2.8: Imagen por resonancia magnética del cerebro de un paciente con demencia semántica. Nótese que la atrofia es mayor en el lóbulo temporal izquierdo (que se representa del lado derecho de la figura -tomado de Hodges, Patterson 2007).

	Entrevista 1	Entrevista 2	Entrevista 3	Entrevista 4
<b>Mamíferos</b>				
Cerdo	+	En granjas	Perro	Perro
Elefante	+	Caballo	Caballo	Animal
Ardilla	Gato	Pollo	Gato	Perro
<b>Aves</b>				
Pollo	Ave	Ave	Gato	Animal
Avestruz	Cisne	Ave	Gato	Animal
<b>Insectos</b>				
Hormiga	Ave	Ave	Gato	Animal
Abeja	Ave	Animal	Gato	No sé
<b>Animales acuáticos</b>				
Cocodrilo	Perro pequeño	Pez	Gato	Animal
Langosta	Para comer	No sé	No sé	No sé
<b>Frutas</b>				
Naranja	Manzana	Manzana	No sé	Comida
Ananá	Comida	Comida	Cultivo	No sé

<b>Partes del cuerpo</b>				
Mano	+	+	+	+
Labios	+	+	Para comer	Agujero
<b>Objetos domésticos</b>				
Silla	+	+	Tabla para sentarse	Para sentarse
Cocina	Radio	Radio	Caja	No sé
Sobre	+	Carta	Libro	No sé
<b>Instrumentos musicales</b>				
Violín	Música	Música	Música	No sé
Trompeta	Música	Sopla	Música	No sé
<b>Prendas de vestir</b>				
Media	Bota	Bota	Zapato	Bota
Sobretudo	Camisa	Chaqueta	Chaqueta	Saco
<b>Herramientas</b>				
Tijeras	+	+	Para cortar cosas	Máquina
Destornillador	Para desatornillar	Para desatornillar	Cuchillo	Cosa

Tabla 2.1: Algunas respuestas de un paciente de demencia semántica a la batería cognitiva de Cambridge. Nótese la sustitución de la palabra específica por un término general y el error de nombrar otro objeto, tal vez más frecuente, de la categoría en cuestión (tomado de Hodges, Patterson 2007). El signo + indica que la respuesta es correcta. Las entrevistas fueron espaciadas a lo largo de un período de 18 meses.

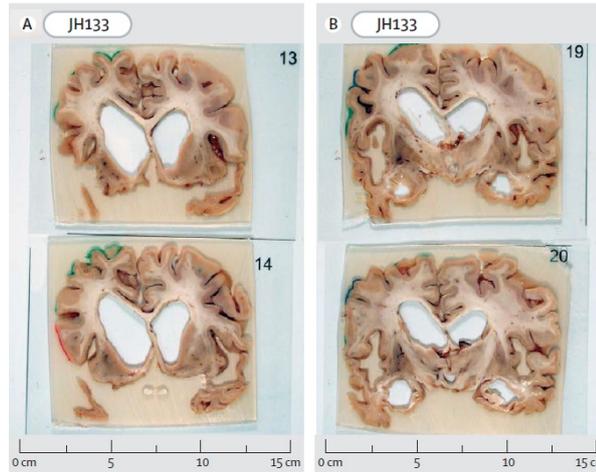


Figura 2.9: Cortes coronales de cerebros de pacientes de demencia semántica. Nótese la atrofia en los lóbulos temporales, en particular en el polo temporal -tomado de Hodges, Patterson 2007)

### 2.5.2. Enfermedad de Alzheimer

Esta enfermedad fue descubierta por el médico austriaco Alois Alzheimer a principios del siglo XX. En 1901 Alzheimer examinó a una paciente de 51 años en el hospital psiquiátrico de Frankfurt. Sus principales síntomas eran problemas de memoria y alucinaciones. Al cabo de cinco años (La paciente murió en 1906) su estado se fue deteriorando hacia una demencia profunda.

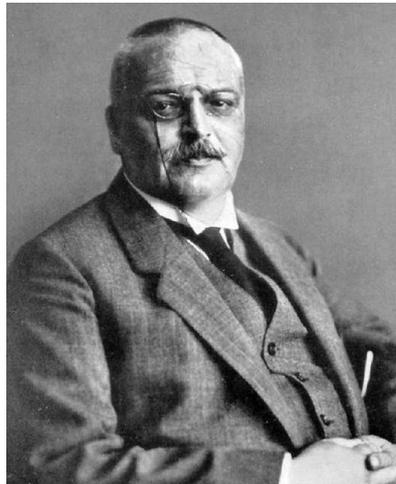


Figura 2.10: Alois Alzheimer.

En sus notas, Alzheimer escribió: “Desde el punto de vista clínico la paciente presenta un cuadro tan inusual que la enfermedad no se puede clasificar dentro de ninguna de las enfermedades conocidas. Los descubrimientos anatómicos son diferentes de los descritos hasta ahora en todas las enfermedades conocidas.” (Morris, Salmon 2007)

La enfermedad descubierta por Alzheimer afecta básicamente la memoria episódica y la capacidad para incorporar nueva información. Las causas parecen estar en una degeneración del hipocampo e hipometabolismo en varias zonas del cerebro: lóbulos temporales, tálamo, giro posterior cingulado y otras partes del sistema límbico que aparentemente son fundamentales para incorporar nueva información a la memoria (Delacourte et al, 1999; Nestor et al 2003). El examen post mortem de los cerebros de pacientes de esta enfermedad muestra una gran atrofia y el encogimiento que podría llevar al cerebro a pesar menos de un kilogramo.

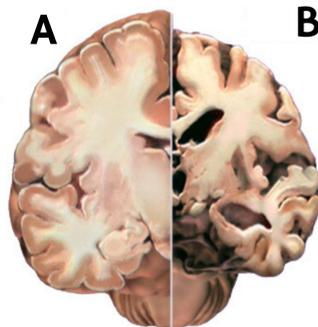


Figura 2.11: Sección de un cerebro normal (A) y uno correspondiente a un paciente de Alzheimer (B). Foto: <http://discovermagazine.com/2017/janfeb/12-big-data-may-lead-to-earlier-alzheimers-diagnosis>

La memoria semántica también se ve afectada en la enfermedad de Alzheimer; pero en mucho menor medida que la memoria episódica y también en mucho menor medida que en los pacientes de demencia semántica.

### 2.5.3. Herpes simplex Encefalitis

El virus *Herpes simplex* puede afectar el cerebro. Las conexiones del nervio auditivo con el lóbulo temporal hacen que éste sea un sitio en que el virus se aloja con frecuencia en este tipo de infecciones. Los principales síntomas son el deterioro de la memoria episódica y la incapacidad de incorporar nueva información a la memoria. El hipocampo, fundamental

para la incorporación de memorias, es uno de los lugares en los que frecuentemente se aloja el virus.

Cuando la memoria semántica se ve afectada, el deterioro es leve comparado con el de los pacientes de demencia semántica.

A diferencia de lo que se da en demencia semántica, el deterioro semántico en *Herpes simplex* encefalitis suele ser categorial, en general para animales y seres vivos con un conocimiento preservado de herramientas y utensilios.

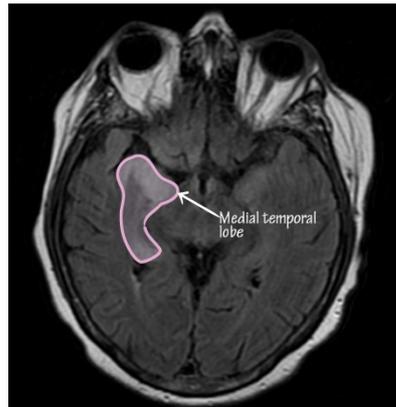


Figura 2.12: Imagen por resonancia magnética de un cerebro con Herpes simplex Encefalitis. Foto: <https://www.drawittoknowit.com/course/immunology/glossary/immunology-microbiology/hsv-encephalitis-herpes-simplex-encephalitis-type-1>

Una pregunta todavía abierta es si los animales y las herramientas están representados en distintos lugares del cerebro. La teoría de los múltiples hubs de Damasio, que se explicó en la sección anterior, propone una respuesta afirmativa a esa pregunta.

#### 2.5.4. Accidente cerebro-vascular (ACV)

Algunos accidentes cerebro-vasculares pueden afectar seriamente el manejo de la información semántica. En particular el que resulta en la llamada *Afasia Transcortical Sensorial*. Esta patología es causada por lesiones próximas al área de Wernicke: posiblemente en el lóbulo temporal o en la arteria cerebral posterior. En estos casos, tanto el área de Broca como la de Wernicke están preservadas, pero aisladas del resto del cerebro. En los tests neuropsicológicos esto se traduce en que el paciente puede repetir frases; pero tiene dificultades de comprensión al intentar

analizarlas. Si bien algunos de los síntomas son similares a los de demencia semántica, en los casos de anomia que se dan en esta patología (a diferencia de los de demencia semántica: Jeffereis, Lambon Ralph 2006; Jeffereis et al 2007) el dar una pista al paciente sobre la palabra buscada puede ayudar a encontrarla (por ejemplo “*elefante empieza con la letra e*”).

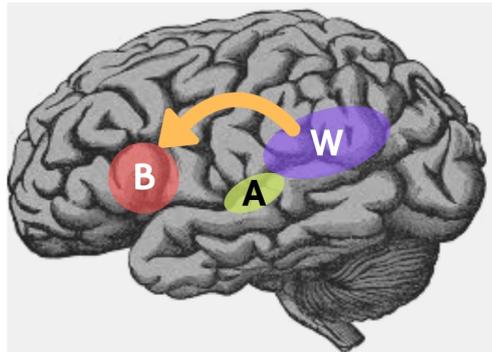


Figura 2.13: en la Afasia Transcortical Sensorial las áreas de Wernicke (W) y Broca (B) están preservadas y conectadas por el fascículo arqueado, representado por la flecha. Dichas áreas quedan aisladas del resto del cerebro, por lo cuál es posible la repetición de frases, pero su comprensión se ve afectada. En la figura se indica también el córtex auditivo.

## 2.6. Rol de los ganglios basales en el lenguaje y la semántica

Los ganglios basales consisten básicamente de tres estructuras: el *núcleo caudado*, el *putamen* y el *globo pálido*. El núcleo caudado tiene una extensión con forma de cola que se adentra en el lóbulo temporal (de allí su nombre, del latín: *cauda*). Estos órganos están muy conectados con el córtex motor. En las proximidades se encuentra la llamada *substantia nigra*. Desde su descubrimiento por Vesalio en el siglo XVI estos cuerpos han llamado la atención de los investigadores y mucho se ha especulado sobre su función.

Actualmente se sabe que los ganglios basales y la *substantia nigra* son fundamentales en la regulación de ciertos tipos de movimiento, en particular de la motricidad fina, en la que cumplen un rol fundamental de

equilibrio entre varios movimientos posibles. Las lesiones en estos cuerpos traen serios problemas de movimiento. En la enfermedad de Parkinson, por ejemplo, el paciente presenta temblores involuntarios y puede perder el control de ciertos grupos de músculos. En particular, el rol de los ganglios basales en el lenguaje viene siendo estudiado desde la época de Wernicke. Luego de una interrupción de varias décadas el tema fue refflotado a raíz de la conexión observada entre los palidotomías practicadas para aliviar los síntomas de los pacientes de la enfermedad de Parkinson y la afasia (Svennilson et al 1960). Por otra parte se observó que la estimulación del globo pálido producía interrupción del lenguaje (Hermann et al 1966) y la estimulación del núcleo caudado dominante provocaba frases incoherentes en el discurso (Van Buren 1963, 1966). Estudios llevados a cabo en las décadas del 70 y 80 mostraron que los infartos y hemorragias en los ganglios basales estaban correlacionados con casos de afasia (Brunner et al 1982, Cappa et al 1983).

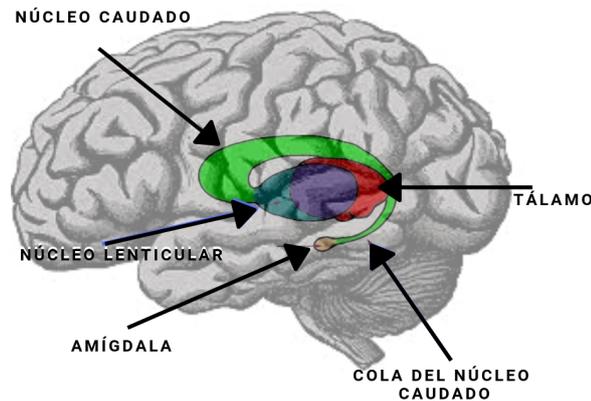


Figura 2.14: Los ganglios basales

Los ganglios basales no están directamente implicados en el lenguaje primario ni en las funciones cognitivas, sin embargo juegan un papel sutil en lo referente a la intención y a la atención y son un factor clave en la potenciación de ciertas acciones y conceptos y la supresión de otros. Esta estructura hace más preciso el foco de la actividad cognitiva aumentando el cociente señal-ruido en el procesamiento cognitivo y haciéndolo más preciso y eficiente. Los circuitos neurales de los ganglios basales tienen origen en el córtex, la mayoría en regiones frontales y se cierran en esas mismas regiones. En cada circuito se reconocen tres tipos de bucles: uno *directo*, cuya función se cree que es potenciar ciertas acciones y cogniciones, uno *indirecto* y uno *hiperdirecto*, cuyas tareas son suprimir acciones

y cogniciones que compitan con las que están siendo seleccionadas.

Se llama *atención* a la disposición a procesar información entrante y a la habilidad de seleccionar para su procesamiento una fuente de información entre varias. Se llama *intención* a la habilidad de seleccionar una acción entre muchas en respuesta a un proceso cognitivo. Por ejemplo, si tenemos la intención de realizar determinada tarea (ej. preparar una taza de té) tenemos que atender la posición de los elementos involucrados (la tetera, el té, la taza).

La *intención* está relacionada con la acción y ésta está muy ligada a los lóbulos frontales en donde reside la planificación y ejecución de acciones. Los ganglios basales están involucrados en la *intención* y a la *atención*; que también son importantes en la realización de tareas tales como la producción de conceptos por categoría. Para hacer referencia a una metáfora clásica sobre la memoria (Platón comparaba a la memoria con una gran jaula llena de pájaros y decía que evocar un recuerdo equivalía encontrar un pájaro específico dentro de esa jaula) supongamos que el individuo está resolviendo la tarea de nombrar palabras dentro de la categoría “aves”. Muchos factores pueden influir en la tarea, por ejemplo, la frecuencia o familiaridad con un cierto tipo de ave, o tal vez un proceso cognitivo reciente que hace que el concepto que más se active sea otra determinada especie de ave. Los ganglios basales potencian la tendencia a decir el nombre del ave seleccionada, aumentando el cociente señal-ruido del concepto a ser seleccionado con respecto a otros conceptos, suprimiendo a la vez conceptos (otras especies de ave) que compitan con él.

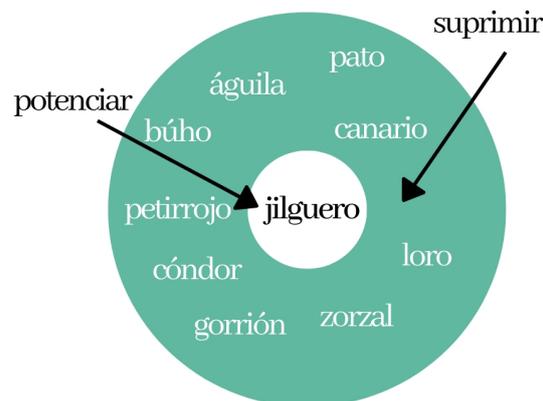


Figura 2.15: tarea de producción por categoría. El concepto del círculo blanco es potenciado gracias a la tarea de los ganglios basales, mientras que conceptos competidores como los del círculo verde son suprimidos.

Nambu realizó una serie de experimentos de estimulación del córtex motor (Nambu et al 2000) con el objetivo de estudiar los circuitos de los ganglios basales. El estudio destaca la estimulación/inhibición alternada de la actividad del globo pálido y el tálamo. Se cree que la transmisión tálamo-cortical está asociada con la potenciación de procesos cognitivos, mientras que la falta de actividad se asocia a la supresión de los mismos. Dicha alternancia puede describir parcialmente un modelo de realización de una tarea de fluencia verbal (Crosson, Benjamin, Levy 2007).

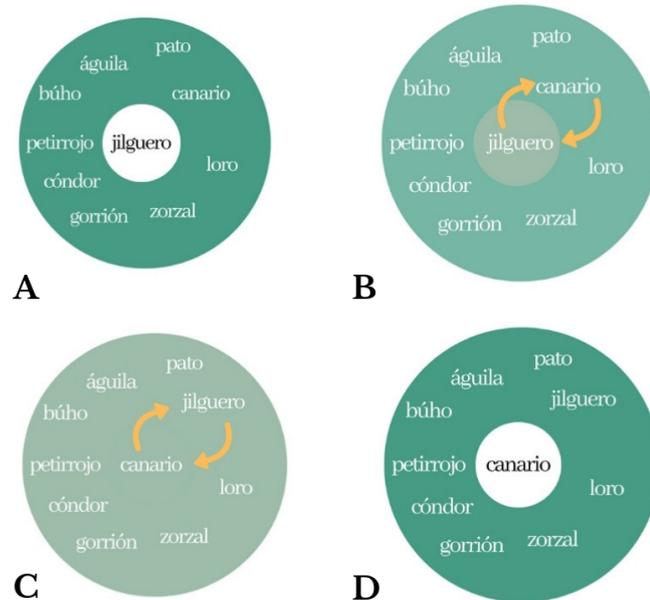


Figura 2.16: tarea de fluencia verbal. Descrita en cuatro tiempos consecutivos (A,B,C y D) las imágenes muestran la alternancia entre potenciación y supresión de conceptos.

Supongamos que la tarea consiste en nombrar la mayor cantidad de aves posible. El participante comienza por la palabra “jilguero” resaltada en el círculo blanco (figura 2.16-A). Los conceptos que están en el círculo verde están siendo suprimidos. Una vez mencionado el jilguero el participante debe dar otro nombre. Los circuitos de los ganglios basales se reinician. La supresión de los conceptos que estaban en verde se atenúa (indicado por el hecho de que el color verde es menos intenso: figura 2.16-B). En el instante siguiente el concepto *canario* reemplaza a *jilguero*. En el instante de tiempo siguiente la atención se concentra en el concepto *canario* destacado en el círculo blanco y la palabra “canario” es pronunciada (figura 2.16-D).

La enfermedad de Parkinson es una enfermedad neurodegenerativa caracterizada por el deterioro progresivo de los ganglios basales, hecho que compromete los circuitos estriatocorticales, fundamentales para las funciones motoras y aspectos finos de ciertas tareas cognitivas. Algunos de los síntomas característicos son temblores, movimientos involuntarios y cierta rigidez. La enfermedad no tiene cura y en las primeras etapas la medicación y ciertos procedimientos quirúrgicos pueden aliviar los síntomas que se acentúan con el paso del tiempo.

Se cree que el procesamiento de los verbos de acción está vinculado a los circuitos neurales motores (Pullvermüller et al 2005). La alteración de estos circuitos en los pacientes de Parkinson podría comprometer el procesamiento de estos verbos, tal como parecen sugerir algunos estudios (García et al, 2016; Cardona et al, 2013; García, Ibáñez, 2014).

Recientemente Abrebaya y sus colegas (Abrebaya et al, 2017) llevaron a cabo un estudio imagenológico sobre el procesamiento de verbos en pacientes de Parkinson e individuos de control. Los resultados parecen sugerir que, mientras en los individuos de control el procesamiento de los verbos de acción está relacionado con una mayor conectividad frontal, en los pacientes de Parkinson el procesamiento de esos verbos parece estar relacionado con regiones posteriores no-motoras.

Previamente García y sus colegas (García et al, 2016) realizaron un estudio, basado en *Análisis semántico latente* (ver capítulo siguiente) y obtuvieron que, a diferencia de lo que ocurre en la población de control, los conceptos más correlacionados con los primeros componentes principales son verbos que no son de acción, mientras que los conceptos menos representados son verbos de acción.



# Capítulo 3

## Herramientas Matemáticas

Se presentan a continuación algunas de las herramientas matemáticas que se utilizarán a lo largo del trabajo: por un lado los Mapas Autoorganizados introducidos por Kohonen en la década de 1980 que se utilizan en varias instancias, no sólo por sus propiedades de clasificación y organización, sino también por ser un algoritmo neuralmente inspirado. Por otro, la Descomposición en Valores Singulares, poderosa herramienta matemática que permite la reducción de la dimensionalidad en diversos contextos.

### 3.1. Mapas de Kohonen

Esta herramienta matemática biológicamente inspirada fue propuesta por Teuvo Kohonen a principios de la década de 1980 (Kohonen 1982, 1984). El algoritmo emula una propiedad observada en varias regiones del córtex cerebral: las neuronas de una capa coordinan su sensibilidad de modo que su respuesta a ciertos estímulos varía de forma regular según su posición en la capa. La importancia de este modelo se desprende naturalmente de los ejemplos biológicos que lo han inspirado:

- el mapa retinotópico que recibe estímulos provenientes de la retina y los transmite al córtex visual formando un mapa bidimensional,
- el mapa somatosensorial que transmite los estímulos de los centros táctiles de la piel al córtex somatosensorial,
- el mapa tonotópico que transmite los estímulos auditivos al córtex auditivo.

#### 3.1.1. El modelo

En el caso más simple, imaginemos que el problema involucra la posición de un estímulo en una superficie sensible como por ejemplo la retina;

otros ejemplos de mayor complejidad pueden involucrar el tono e intensidad de una señal sonora.

Describamos brevemente el modelo de Kohonen. Definamos un estímulo como un vector

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_M) \quad (3.1)$$

en donde las distintas componentes son las intensidades de los impulsos de  $M$  fibras aferentes. Por otro lado tenemos la capa de  $N$  neuronas, que supondremos se disponen en forma rectangular (o sea que tenemos un vector de  $M$  componentes que actúa sobre las  $n$  neuronas). Identificamos genéricamente a una neurona por su posición  $r$  en una grilla a la que llamaremos  $A$ . Cada neurona  $r \in A$  recibe del exterior la señal dada por las componentes del vector  $v$  que son ponderadas por los pesos sinápticos:

$$w_{r1}, w_{r2}, \dots, w_{rM}. \quad (3.2)$$

Dichos pesos representan las características de la sinapsis entre el axon y la neurona:  $w_{rl}$  es positivo en el caso de una sinapsis excitatoria y negativo para una sinapsis inhibitoria. La respuesta de la neurona  $r$  (si la consideramos aislada) a la señal exterior  $v$  viene dada por:

$$f_r(v) = \sigma \left( \sum_{l=1}^M w_{rl} v_l - \theta \right), \quad (3.3)$$

donde  $\sigma$  es una función sigmoideal, creciente entre  $-\infty$  y  $+\infty$ , con un cambio de concavidad en 0 y tal que  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \sigma(x) = 0$  y  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sigma(x) = 1$ . Tambi'en se puede considerar una función escalón:  $\sigma(x) = 0$  si  $x \leq 0$  y  $\sigma(x) = 1$  si  $x > 0$ . El parámetro  $\theta$  cumple una función de umbral de excitación.

Las neuronas a su vez se conectan entre sí mediante sinapsis de modo que hay un intercambio de información interno. Si designamos mediante  $g_{rr'}$  la fuerza sináptica de la neurona  $r'$  a la neurona  $r$ , la influencia de la neurona  $r'$  (dependiendo de su estado  $f_{r'}$ ) será  $g_{rr'} f_{r'}$ . La influencia de cada neurona se suma entonces a la contribución de la señal externa:

$$f_r = \sigma \left( \sum_{l=1}^M w_{rl} v_l + \sum_{r'=1}^N g_{rr'} f_{r'} - \theta \right). \quad (3.4)$$

Si consideramos un modelo en que las sinapsis son excitatorias para distancias pequeñas ( $g_{rr'} > 0$  si  $\|r - r'\| \leq a$ ) e inhibitorias para distancias mayores ( $g_{rr'} < 0$  si  $\|r - r'\| > a$ , para un cierto  $a > 0$ ) es posible mostrar que este modelo implica la restricción de la zona de excitación a un área acotada del retículo.

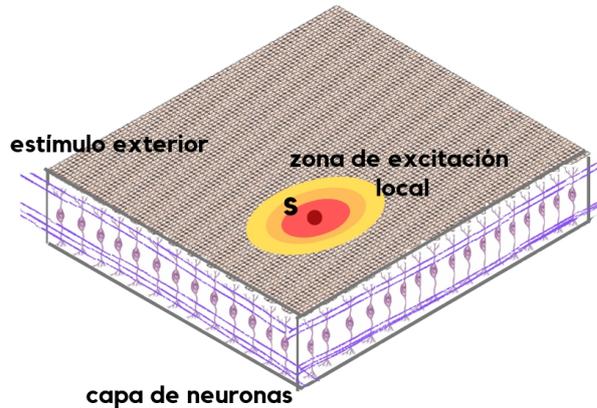


Figura 3.1: El modelo de Kohonen. Las fibras nerviosas transmiten el estímulo a las neuronas de la capa. Las interacciones entre las neuronas restringen la reacción a una zona acotada: la *zona de excitación*

Supongamos que  $\sigma$  es la función escalón descrita más arriba y que  $g_{rr'} = 1$  si  $\|r - r'\| \leq a$  y que  $g_{rr'} = -g$  si  $\|r - r'\| > a$ , para un cierto  $a > 0$ . Suponemos que  $g > 2a+1$ , que el espacio en el que están dispuestas las neuronas es unidimensional y que no hay influencia externa ( $v_l = 0$ ). Si definimos:

$$F = \sum_r f_r \quad (3.5)$$

y

$$F_r = \sum_{s=r-a}^{r+a} f_s, \quad (3.6)$$

tenemos

$$f_r = \sigma \left( (1+g) \sum_{r-a}^{r+a} f_r - g \sum_r f_r \right) = \sigma(g((1+g^{-1})F_r - F)). \quad (3.7)$$

Teniendo en cuenta que al ser  $\sigma$  la función escalón se tiene  $\sigma(gx) = \sigma(x)$  para  $g$  positivo, la ecuación nos queda:

$$f_r = \sigma((1+g^{-1})F_r - F). \quad (3.8)$$

Esta última ecuación, junto con las que definen  $F$  y  $F_r$ , constituyen un sistema de ecuaciones para el estado del grupo de neuronas en cuestión.

Mostraremos a continuación que, como consecuencia de la estructura y la naturaleza de las interacciones laterales, este sistema sólo admite soluciones en las que hay un intervalo de neuronas activas en las que  $f_r = 1$  y que fuera de ese intervalo se tiene  $f_r = 0$

**Lema** Si el conjunto de valores  $\{f_r\}$  constituye una solución del sistema anterior y si  $g > 2a + 1$ , se tiene que  $f_r = 1$  implica  $f_s = 0$  para todo  $s < r - a$  y  $s > r + a$

*Demostración*

De la ecuación

$$f_r = \sigma((1 + g^{-1})F_r - F) \quad (3.9)$$

deducimos que  $f_r = 1$  implica que  $(1 + g^{-1})F_r - F > 0$ , es decir,  $(1 + g^{-1})F_r > F$ . Por otro lado, de la definición tenemos

$$F_r = \sum_{r-a}^{r+a} f_s \leq \sum f_s = F. \quad (3.10)$$

De modo que se cumple:

$$F_r \leq F < F_r + F_r/g \leq F_r + (2a + 1)/g < F_r + 1. \quad (3.11)$$

La penúltima desigualdad se debe a que  $F_r$  es una suma de  $2a + 1$  términos, cada uno de los cuales está acotado por 1. En resumen, tenemos que  $F_r$  y  $F$  son dos enteros que cumplen:

$$F_r \leq F < F_r + 1. \quad (3.12)$$

De lo que deducimos  $F = F_r$ , lo que implica la tesis.

En dimensiones superiores se puede demostrar un resultado similar: una inhibición lateral lo suficientemente fuerte conduce a una respuesta local ante un estímulo específico.

En lugar de una función escalón, puede considerarse una función en un dominio bidimensional que tenga una forma similar a la densidad gaussiana bivariada, cuyo máximo local se encuentra en un punto que notamos  $r'$  y luego decrece a cero en forma radial (definida a partir de una función positiva  $\zeta$  decreciente, que converge a 0 en infinito).

1.  $\sigma(r) \geq 0, \forall r$

2.  $\max_r \{\sigma(r)\} = \sigma(r')$
3.  $\sigma(r) = \zeta(\|r - r'\|)$ .
4.  $d < d' \Rightarrow \zeta(d) > \zeta(d')$ .
5.  $\lim_{d \rightarrow +\infty} \{\zeta(d)\} = 0$ .

Al igual que en el caso unidimensional, se podría obtener el punto de mayor respuesta a un estímulo resolviendo un sistema no lineal como el de la ecuación 3.4. En lugar de esto Kohonen propone una simplificación de este paso que consiste en calcular el punto  $r'$  de mayor excitación teniendo en cuenta únicamente el estímulo externo:

$$\sum_{l=1}^M w_{r'l} v_l = \max_r \left( \sum_{l=1}^M w_{rl} v_l \right). \quad (3.13)$$

Desarrollemos la expresión

$$\|w_r - v\|^2 = \|w_r\|^2 + \|v\|^2 - 2\langle w_r, v \rangle \quad (3.14)$$

donde  $w_r$  es el vector de pesos sinápticos de la neurona  $r$  y  $v$  el vector de estímulos externos. Supongamos además que se cumple:

1.  $\|w_r\|^2 = \sum w_{rl}^2$  es constante como función de  $r$ . La “fuerza sináptica” total es la misma para todas las neuronas.
2.  $\|v\|^2 = \sum v_l^2 = 1$  todas las señales externas tienen la misma intensidad.

Bajo estas hipótesis hallar la neurona de máxima respuesta equivale a minimizar la expresión  $\|w_r - v\|$ . De modo que tenemos

$$\|w_{r'} - v\| = \min_r \|w_r - v\|, \quad (3.15)$$

lo que conduce a una simplificación del algoritmo.

Un elemento clave del algoritmo es la definición de la actividad post-sináptica ante cierto estímulo. Se asume que la actividad postsináptica de la neurona  $r$  ante el estímulo  $v$  viene dada por la siguiente fórmula:

$$\Delta w_{rl} = \epsilon (h_{rr'} v_l - h_{rr'} w_{rl}) \quad (3.16)$$

donde  $h_{rr'}$  es una función de  $r$  que depende del punto de máxima excitación  $r'$ . Por un lado esta forma de variar la actividad sináptica le da flexibilidad al sistema; por otro lado, a los efectos de darle estabilidad asintótica al mismo, podemos hacer que el coeficiente  $\epsilon$  sea una función que dependa del tiempo  $\epsilon(t)$  y tienda a cero cuando  $t \rightarrow +\infty$ .

### 3.1.2. Algoritmo matemático

Presentamos a continuación el algoritmo matemático a partir de las simplificaciones mencionadas anteriormente. Uno de los elementos importantes del mismo es la elección de la función  $h_{rr'}$ . Una elección adecuada al espíritu del modelo es la densidad gaussiana compuesta con la distancia:  $d(r, r') = \| r - r' \|$ .

$$h_{rr'} = \exp(- \| r - r' \|^2 / 2\sigma_E^2). \quad (3.17)$$

La “dispersión” de esta función influye fuertemente sobre la capacidad de establecer conexiones en el mapa. A los efectos de que la estructura se vaya afinando gradualmente podemos imponer que esa dispersión vaya disminuyendo con el tiempo  $\sigma_E = \sigma(t)$ .

El algoritmo se describe en los siguientes pasos

1. *Inicialización:* Se definen los pesos sinápticos  $\{w_{rl}\}$ . Esta elección de los pesos se podría hacer al azar.
2. *Estímulo:* El vector que representa el estímulo externo puede ser un vector aleatorio asociado a una cierta densidad de probabilidad  $f$ . En otros casos (asociados por ejemplo al aprendizaje estadístico) esa elección podría ser determinística (ver el ejemplo semántico de la sección siguiente).
3. *Respuesta:* Se busca el punto  $r'$  de mayor respuesta al estímulo según la fórmula

$$\| w_{r'} - v \| = \min_r \| w_r - v \| . \quad (3.18)$$

4. *Adaptación:* Se modifican los pesos sinápticos en una vecindad del punto más sensible al estímulo según la fórmula:

$$w_r^{new} = w_r^{old} + \epsilon h_{rr'}(v_l - w_r^{old}). \quad (3.19)$$

Este procedimiento se puede iterar hasta observar una estabilización del mapa (el estímulo más cercano  $v$  a cada neurona no cambia: se estabiliza) o se puede aplicar por un número predeterminado de pasos, según el contexto.

Si llamamos  $V$  al espacio de estímulos y  $A$  al espacio de neuronas, el mapa se podría esquematizar de la siguiente forma:

$$\Phi_w : V \rightarrow A, \quad v \mapsto \Phi_w(v), \quad (3.20)$$

donde  $\Phi_w(v)$  cumple

$$\| w_{\Phi_w(v)} - v \| = \min_{r \in A} \| w_r - v \| . \quad (3.21)$$

La figura siguiente muestra el algoritmo. Se elige un estímulo  $v$  del espacio de estímulos  $V$ , según el criterio indicado en el paso 2. Se encuentra la neurona  $s$  de mayor respuesta a dicho estímulo (indicada en rojo (este paso depende de los pesos sinápticos  $w$ ), las neuronas de su vecindad (indicadas en color naranja en  $A$ ; la vecindad es determinada por la función  $h$ ) intervienen en el paso de adaptación. El paso de adaptación consiste en modificar los pesos sinápticos de las neuronas involucradas para que se acerquen al estímulo  $v$ .

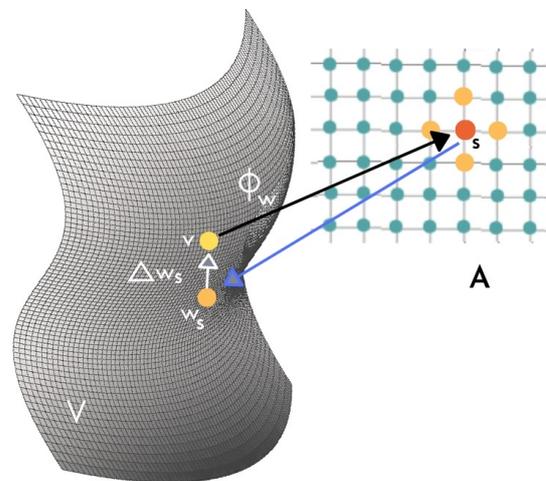


Figura 3.2: El modelo de Kohonen. El estímulo  $v$ , perteneciente al espacio  $V$  se presenta ante el retículo de neuronas. Las interacciones entre las neuronas restringen la reacción a una zona acotada: la *zona de excitación*: indicada por la neurona  $s = \Phi_w(v)$  (punto de mayor respuesta) y su vecindad (indicada en color naranja). Los puntos de la vecindad intervienen en el proceso de adaptación modificando sus pesos sinápticos para que se parezcan más al estímulo.

### 3.1.3. Algunos ejemplos

Se presentan a continuación algunos ejemplos de simulación de mapas de Kohonen. En todos ellos se pone de manifiesto la propiedad de auto-

organización de los mismos. En particular, en el último se ve claramente la inspiración biológica que está detrás de esta herramienta.

### Mapa sonoro

En este ejemplo se genera un mapa sonoro de una región determinada. Supongamos que partimos de una región bidimensional  $G$  como la de la figura (la región limitada por la parábola y el eje de las abscisas). En distintos puntos de dicha región se generan sonidos que son captados por un par de micrófonos situados en el eje de las abscisas y que distan respectivamente 1 y 2 unidades del origen.

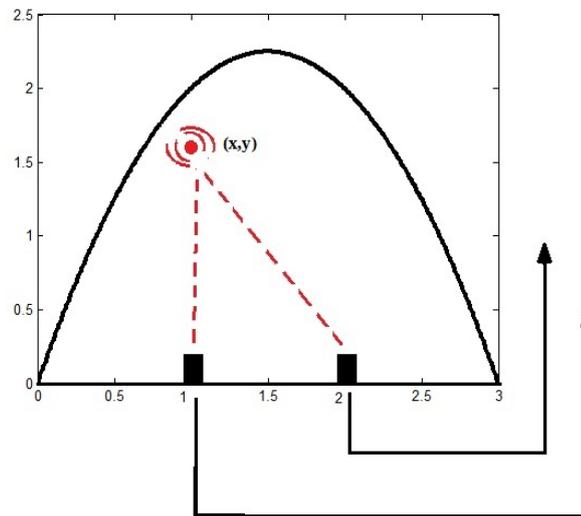


Figura 3.3: Sonidos en una región  $G$ . El sonido se genera en el punto de coordenadas  $(x, y)$ . Los micrófonos situados en 1 y 2 transmiten la información a una red de neuronas.

Dichos micrófonos transmiten la información sonora recibida mediante un amplificador logarítmico a una red de neuronas. Las neuronas están dispuestas en una red rectangular de  $40 \times 40$  y reciben como información el vector bidimensional:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\log[(x-1)^2 + y^2] \\ -\log[(x-2)^2 + y^2] \end{pmatrix}. \quad (3.22)$$

siendo  $(x, y)$  las coordenadas del punto de donde proviene el sonido. Las neuronas a su vez están caracterizadas por un par de números que en el inicio se eligen aleatoriamente (cada coordenada tiene distribución uniforme en el intervalo  $[0, 1]$ ). En el entrenamiento del mapa tomamos:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{-t/\lambda}, \quad (3.23)$$

$$\epsilon(t) = e^{-t/\lambda}, \quad (3.24)$$

donde  $\sigma_0 = 40/2 = 20$ ,  $\lambda = T/\log(\sigma_0)$  y  $T$  es el número de ejemplos que se presentan en cada simulación. Los ejemplos son puntos  $(x, y)$  elegidos independiente y uniformemente en la región  $G$  y luego amplificados de forma logarítmica.

Luego de cada simulación la capa rectangular de neuronas experimenta una transformación. Al final de cada simulación se puede establecer, para un gran conjunto de puntos distribuidos uniformemente en  $G$  cuál es el que está más cerca en las distancia cuadrática de cada neurona. En nuestro caso si unimos esos puntos de la misma forma en que están unidas las neuronas, obtenemos (para 10 repeticiones) la Figura 3.4:

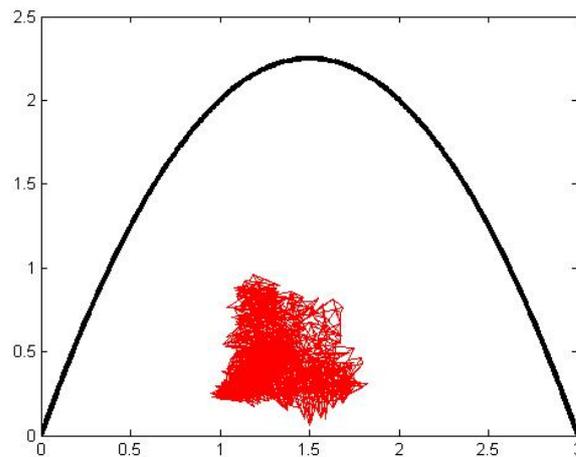


Figura 3.4: puntos más cercanos a cada neurona para 10 repeticiones.

En las figuras que siguen se ven los puntos más cercanos a cada neurona de la grilla, unidos de la misma forma que las respectivas neuronas para 50, 100, 500 y 10.000 repeticiones.

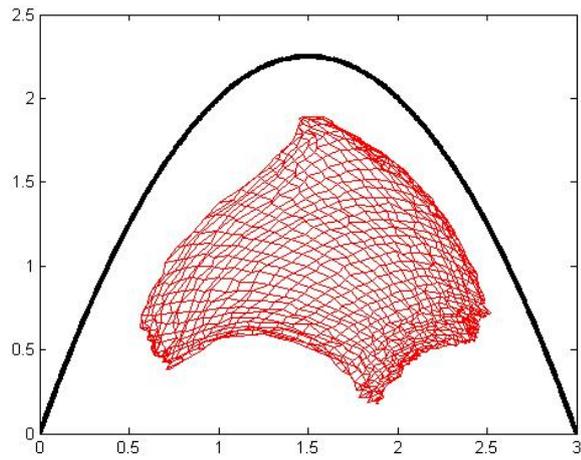


Figura 3.5: puntos más cercanos a cada neurona para 50 replicaciones.

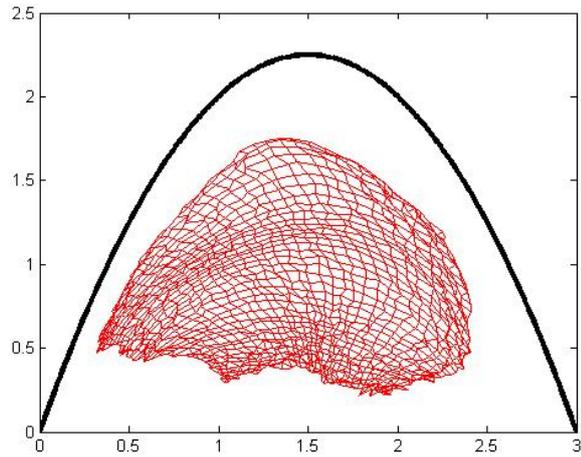


Figura 3.6: puntos más cercanos a cada neurona para 100 replicaciones.

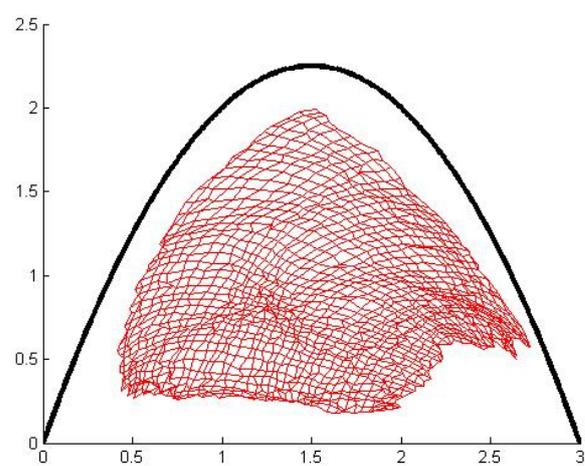


Figura 3.7: puntos más cercanos a cada neurona para 500 repeticiones.

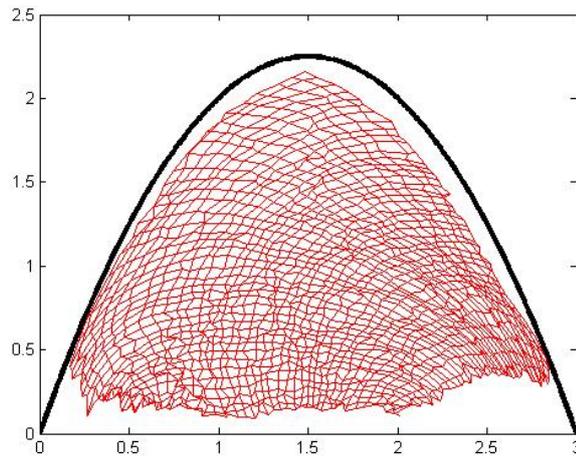


Figura 3.8: puntos más cercanos a cada neurona para 10.000 repeticiones.

A medida que se suceden las repeticiones se observa el proceso de autoorganización: las neuronas van coordinando sus campos receptivos de modo de establecer una correspondencia entre el retículo y un conjunto de puntos que tiende a cubrir la región  $G$  respetando las relaciones de vecindad de la red de neuronas. Este ejemplo no pretende ser un modelo realista de la representación de la percepción auditiva en el córtex cerebral, sino un ejemplo de juguete (de hecho partimos de un espacio bidimensional).

### Una curva de llenado de espacio

En el siguiente ejemplo se trata de proyectar un espacio bidimensional en una cadena unidimensional de neuronas. En él se generan en forma independiente datos uniformes en el cuadrado unitario y a partir de ellos se entrena una cadena de 10 mil neuronas dispuestas en forma lineal. Cada neurona está caracterizada por un vector bidimensional que se inicializa de forma aleatoria (cada coordenada tiene distribución uniforme en el intervalo  $[0, 1]$ ). En el entrenamiento del mapa tomamos:

$$\sigma(t) = 100 \cdot (0, 01)^{t/10^5}, \quad (3.25)$$

$$\epsilon(t) = e^{-t/2\sigma^2}. \quad (3.26)$$

La siguiente figura esquematiza el proceso de entrenamiento.

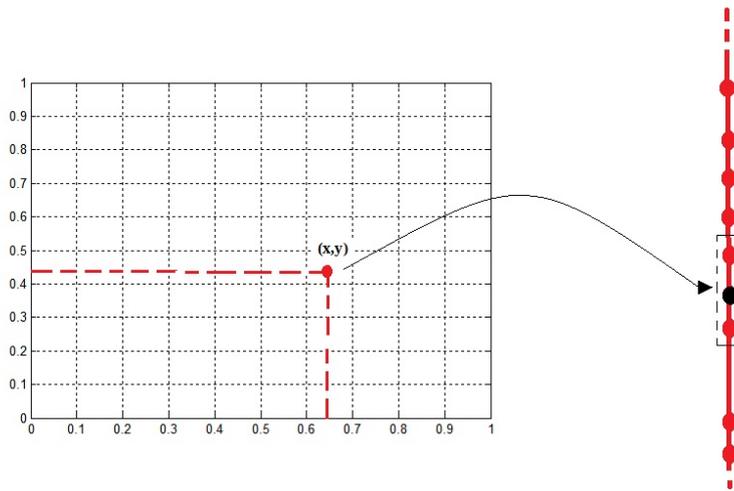


Figura 3.9: Una curva de llenado de espacio. Se genera uniformemente un punto aleatorio en el cuadrado unitario. Luego de determinar la neurona de la cadena más cercana al punto se modifica su vecindad siguiendo el algoritmo de Kohonen.

La figura que representa el inicio del proceso es una gran línea quebrada que une los puntos de una muestra aleatoria uniforme en el cuadrado; cada uno de ellos está asociado a una neurona. Los puntos son unidos según la estructura de conexidad de la cadena de neuronas. Es una gran línea quebrada que se entrecruza miles de veces y cuya estructura es visualmente indescifrable.

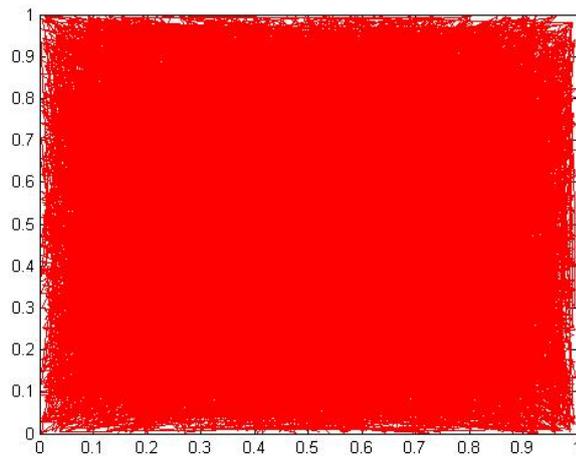


Figura 3.10: Una curva de llenado de espacio. En el comienzo las neuronas se inicializan aleatoria y uniformemente. La línea indescifrable une los puntos de una muestra aleatoria más cercanos a cada una de las neuronas.

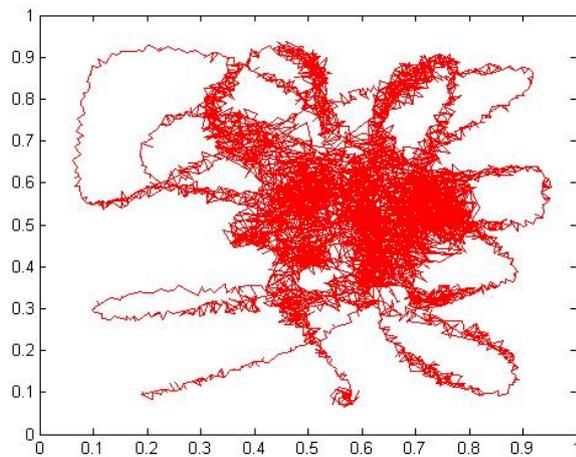


Figura 3.11: Una curva de llenado de espacio. El proceso de entrenamiento al cabo de 1000 pasos.

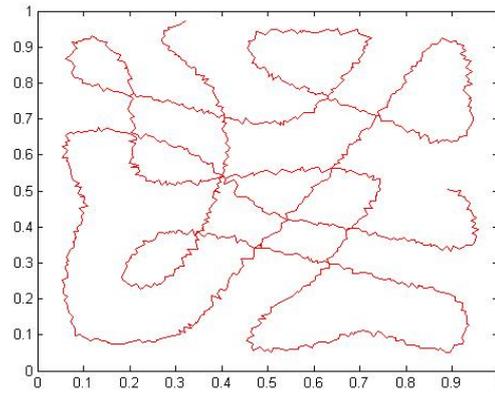


Figura 3.12: Una curva de llenado de espacio. El proceso de entrenamiento al cabo de 10.000 pasos.

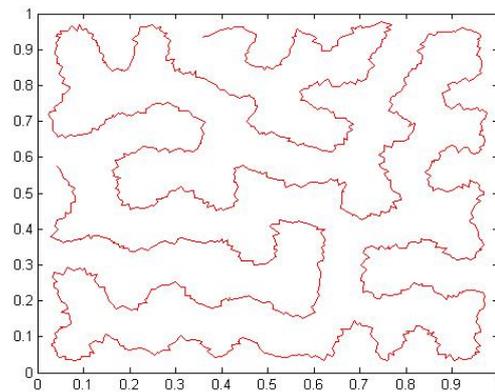


Figura 3.13: Una curva de llenado de espacio. El proceso de entrenamiento al cabo de 50.000 pasos.

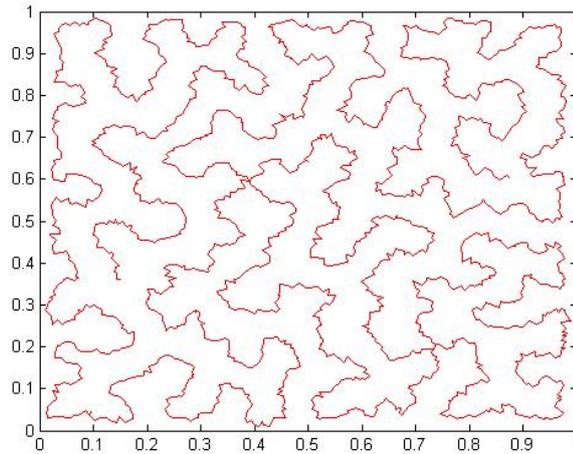


Figura 3.14: Una curva de llenado de espacio. El proceso de entrenamiento al cabo de 100.000 pasos.

Tanto los puntos del plano como las neuronas están caracterizados por dos coordenadas. Lo interesante de este ejemplo es la propiedad de autoorganización del mapa: a medida que se suceden las iteraciones la curva resultante se despliega dentro del cuadrado desarrollando cierta autosimilaridad y dando lugar a una especie de curva de Peano (figuras 3.10 a 3.14 ).

### El córtex auditivo de un murciélago

El siguiente ejemplo se basa en el córtex auditivo de la especie de murciélago *Pteronotus parnellii rubiginosus* (murciélago bigotudo). Dicha especie habita en Centroamérica y el norte de Sudamérica. La supervivencia de este animal depende de su capacidad de ubicarse y desplazarse en el espacio y de su capacidad de localizar a sus presas. Ambas cosas las logra a través del efecto Doppler del eco de sus emisiones sonoras.

Figura 3.15: *Pteronotus parnellii*.

En 1976 Suga y Jen condujeron un estudio en Panamá sobre esta especie de murciélago y llegaron a la conclusión de que, a diferencia de lo que ocurre en otras especies, el córtex auditivo primario de esta especie presenta una gran desproporción en favor a las frecuencias correspondientes a sus emisiones: 61 kHz. El animal emite sonidos a esa frecuencia para luego interpretar el eco de esa emisión sonora. Para este proceso es fundamental que el córtex auditivo primario sea capaz de discriminar muy finamente entre las frecuencias del entorno de los 61 kHz (pudiendo detectar diferencias del orden del 0,02 %).

Suga y Jen estudiaron mediante microelectrodos las reacciones de diferentes zonas del córtex auditivo primario de varios ejemplares de esta especie frente a diferentes estímulos auditivos.

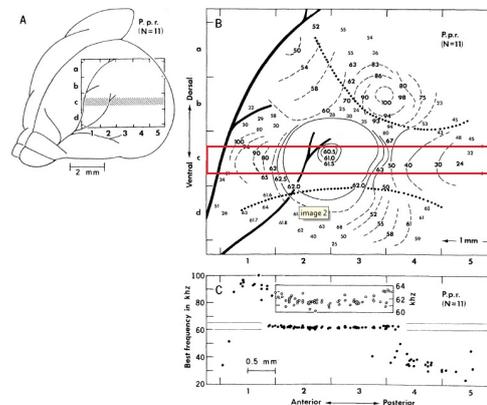


Figura 3.16: Estudio de Suga y Jen (1976).

En la parte A de la Figura 3.16 se indica una zona rectangular del córtex auditivo, en la parte B se muestra más en detalle la zona cercana y en la parte C se puede apreciar la distribución de frecuencias preferidas en la dirección anteroposterior dentro del rectángulo sombreado en la parte A.

En este ejemplo se simularon sonidos en forma independiente con una distribución que es una mezcla: con probabilidad 0,05 es una variable uniforme en el intervalo [20 kHz, 100 kHz] y con probabilidad 0,95 es una normal con media 61 kHz y desvío estándar 0,05 kHz.

Para facilitar la visualización usaremos para dicho rango de frecuencias el código de colores que se muestra en la Figura 3.17.

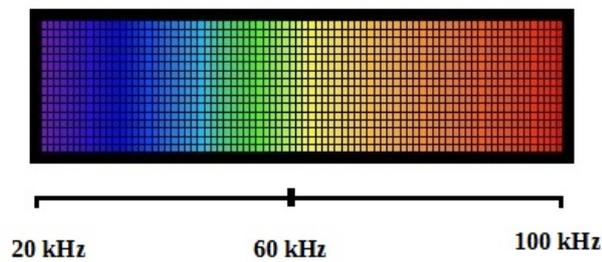


Figura 3.17: Código de colores para las frecuencias del ejemplo.

Con estos sonidos simulados se entrena un mapa de  $25 \times 5$  neuronas (cuya forma está inspirada en la de la zona destacada en la figura 3.16) según el algoritmo de Kohonen. En el entrenamiento del mapa tomamos una muestra de datos independientes e idénticamente distribuidos con distribución uniforme en el intervalo [20 kHz, 100 kHz] para la distribución unicial de las neuronas y los parámetros de entrenamiento:

$$\sigma(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + e^{-5 \cdot (t/10^5)^2}\right), \quad (3.27)$$

$$\epsilon(t) = e^{-t/2\sigma^2}, \quad (3.28)$$

Las siguientes figuras muestran el proceso de entrenamiento.

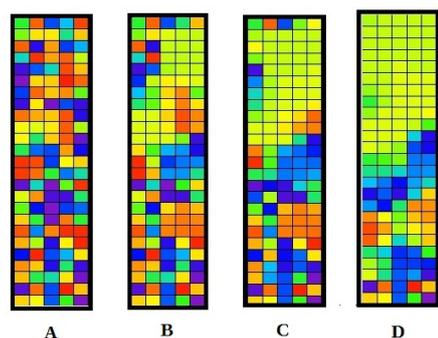


Figura 3.18: Proceso de entrenamiento del mapa auditivo. En la figura se aprecian distintas etapas del entrenamiento del mapa auditivo de  $25 \times 5$  neuronas. Según el código de colores establecido (A) configuración inicial, (B) configuración al cabo de 10 repeticiones, (C) configuración al cabo de 50 repeticiones, (D) configuración al cabo de 100 repeticiones.

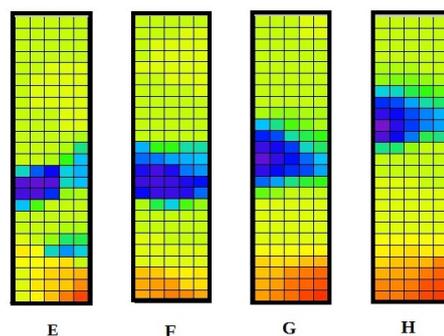


Figura 3.19: Proceso de entrenamiento del mapa auditivo. En la figura se aprecian distintas etapas del entrenamiento del mapa auditivo de  $25 \times 5$  neuronas. Según el código de colores establecido (E) configuración al cabo de 500 repeticiones, (F) configuración al cabo de 1.000 repeticiones, (G) configuración al cabo de 5.000 repeticiones, (H) configuración al cabo de 10.000 repeticiones.

Al cabo del proceso de entrenamiento obtenemos una desproporción de las frecuencias preferidas que tienden a estar en un entorno del valor 61 kHz. Las frecuencias preferidas por las diferentes neuronas están representadas en el gráfico de la figura 3.20.

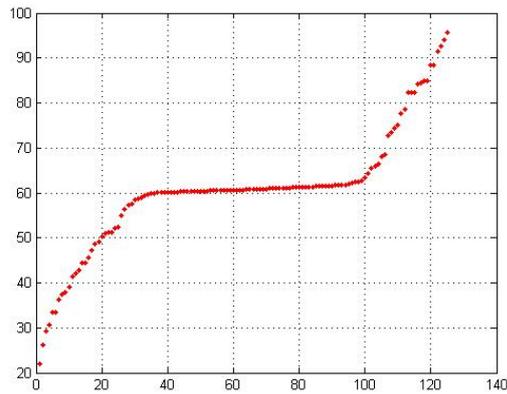


Figura 3.20: Distribución de las frecuencias preferidas en el mapa auditivo al cabo de 10.000 replicaciones. En la figura se aprecian las frecuencias preferidas por las distintas neuronas al final del proceso de entrenamiento. El resultado emula las observaciones de Suga y Jen (1976) en las que aproximadamente la mitad de los puntos estudiados corresponden a un pequeño entorno de la frecuencia 61 kHz.

### Un ejemplo semántico

Los mapas de Kohonen fueron propuestos a principios de la década de 1980. El siguiente ejemplo tomado de un artículo de Ritter y Kohonen de fines de esa década (Ritter, Kohonen 1989) presenta un problema semántico: la ordenación bidimensional de una colección de conceptos, representados por vectores. Las consideraciones hechas por los autores se ocupan por un lado del problema de la codificación de la información semántica y por otro muestran las posibilidades de los mapas autoorganizados como herramientas de clasificación.

Partimos en primer lugar de un conjunto de animales, descritos por un conjunto de propiedades. Cada animal está representado por un vector en el que los unos indican la presencia de ciertas propiedades y los ceros la ausencia de otras.

	dove	hen	duck	goose	owl	hawk	eagle	fox	dog	wolf	cat	tiger	lion	horse	zebra	cow
small	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
is medium	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
big	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2 legs	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 legs	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
has hair	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
has hooves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
has mane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
has feathers	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
likes hunt	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
likes run	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
to fly	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
to swim	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Fig. 1.** Animal names and their attributes

Figura 3.21: Animales y sus propiedades. Figura original del artículo de Ritter y Kohonen (1989).

Para visualizar mejor los resultados de simulación, asignamos un color a cada animal.

	paloma
	gallina
	pato
	ganso
	búho
	halcón
	águila
	zorro
	perro
	lobo
	gato
	tigre
	león
	caballo
	cebra
	vaca

Figura 3.22: Código de colores.

Con estos datos se entrena un mapa de  $20 \times 20$  neuronas según el algo-

ritmo de Kohonen. En el entrenamiento del mapa tomamos una muestra i.i.d. con distribución uniforme en el intervalo  $[0,1]$  para la distribución inicial de las neuronas y los parámetros de entrenamiento:

$$\sigma(t) = 10 \cdot e^{-\log(10) \cdot t/T}, \quad (3.29)$$

$$\epsilon(t) = e^{-\log(10) \cdot t/T}, \quad (3.30)$$

donde  $T = 500$  es el número de repeticiones hechas. La siguiente figura muestra el mapa resultante.

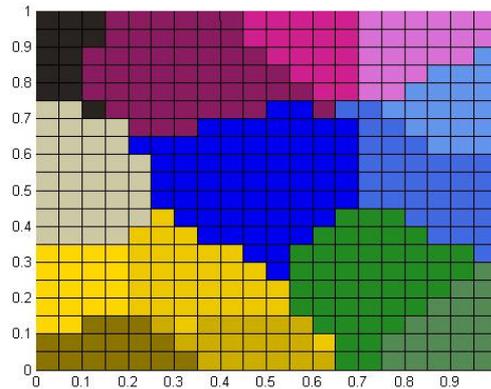


Figura 3.23: El mapa de animales al cabo de 500 repeticiones.

## 3.2. Descomposición en Valores Singulares

La Descomposición en Valores Singulares (*SVD* por su sigla en Inglés) es una descomposición de carácter general de una matriz y tiene muchas aplicaciones útiles, en particular en aquellos aspectos del procesamiento de datos que requieran una reducción de la dimensionalidad del problema de interés. La misma se apoya en el teorema que enunciaremos más adelante, el llamado: *Teorema de los Valores Singulares* en cuya demostración usaremos el enunciado del *Teorema Espectral*.

### Teorema Espectral

Sea  $A$  una matriz simétrica de tamaño  $n \times n$ . Entonces existen dos matrices  $Q$  y  $D$  de tamaño  $n \times n$  tal que:

- $Q$  es ortogonal;  $Q \cdot Q^t = Q^t \cdot Q = I_n$ ;
- $D$  es diagonal;
- $A = Q \cdot D \cdot Q^t$ .

La última condición implica que para todo  $i$  la  $i$ -ésima columna de  $Q$  (notación  $Q_i$ ) es vector propio de la matriz  $A$  con valor propio real  $\sigma_i$ ,  $i$ -ésimo elemento de la diagonal de  $D$ :

$$A.Q_i = \sigma_i.Q_i. \quad (3.31)$$

Necesitaremos además el siguiente teorema, cuya demostración es muy sencilla.

### Teorema

Sea  $A$  una matriz real de  $m$  filas y  $n$  columnas. Las matrices  $A^t.A$  y  $A.A^t$  son no-negativas y tienen el mismo rango que  $A$ . En particular, son definidas positivas si y sólo si  $A$  es invertible.

#### Demostración

Tenemos que  $(A^t.A)^t = A^t.(A^t)^t = A^t.A$ , o sea que  $A^t.A$  es simétrica y en consecuencia, autoadjunta (y lo mismo vale para  $A.A^t$ ).

Por otra parte, si  $v \in R^n$  tenemos  $\langle A^t.A.v, v \rangle = \langle A.v, A.v \rangle \geq 0$ . Eso prueba que  $A^t.A$  es no negativa. Sólo resta probar que su rango es el mismo que el de  $A$ . Para ello probaremos que los núcleos son iguales:  $N(A^t.A) = N(A)$ . La inclusión  $N(A) \subseteq N(A^t.A)$  es trivial; hay que probar la inclusión recíproca.

$$v \in N(A^t.A) \Rightarrow A^t.A.v = 0 \Rightarrow A.v \in N(A^t) = \text{Im}(A)^\perp \quad (3.32)$$

$$\Rightarrow A.v \in \text{Im}(A) \cap \text{Im}(A)^\perp = 0 \quad (3.33)$$

En resumen

$$v \in N(A^t.A) \Rightarrow v \in N(A). \quad (3.34)$$

Hemos probado entonces la igualdad de los núcleos.

Por el *Teorema de las Dimensiones*:

$$\dim(\text{Im}(A^t.A)) = n - \dim(N(A^t.A)) = n - \dim(N(A)) = \dim(\text{Im}(A)). \quad (3.35)$$

**Q.E.D.**

Estamos, ahora sí, en condiciones de demostrar el *Teorema de los Valores Singulares*.

### Teorema de los valores singulares

Sea  $A$  una matriz real de  $m$  filas y  $n$  columnas de rango  $r$ . Existen entonces tres matrices reales  $U$ ,  $V$  y  $D$  tales que:

- $U$  es ortonormal con  $m$  filas y  $m$  columnas,
- $V$  es ortonormal con  $n$  filas y  $n$  columnas,
- $D$  es diagonal con  $m$  filas y  $n$  columnas, con  $r$  elementos no nulos en la diagonal, llamados los *valores singulares de  $A$* ;
- $A = U.D.V^t$ .

Estas afirmaciones implican que:

- Las columnas de  $V$ ,  $\{V_1, \dots, V_n\}$ , forman una base ortonormal de  $R^n$ .
- Las columnas de  $U$ ,  $\{U_1, \dots, U_m\}$ , forman una base ortonormal de  $R^m$ .
- Para cada  $i = 1, \dots, r$  se tiene  $A.V_i = \lambda_i.U_i$ , donde  $\lambda_i$  es el  $i$ -ésimo elemento de la diagonal de  $D$ .
- $A.V_i = 0$  y  $A^t.U_i = 0$  para  $i > r$ .

#### *Demostración*

Por el teorema anterior la matriz  $A^t.A$  es no negativa y tiene rango  $r$ . Por el Teorema Espectral existe una matriz ortonormal  $V$  tal que sus columnas forman una base de  $R^n$  y son los vectores propios de  $A^t.A$ :

$$A^t.A.V_i = \sigma_i.V_i, \quad (3.36)$$

donde  $\sigma_i > 0$  si  $i \leq r$  y  $\sigma_i = 0$  si  $i > r$ .

Si consideramos los productos internos, tenemos

$$\langle A.V_i, A.V_j \rangle = \langle V_i, A^t.A.V_j \rangle = \langle V_i, \sigma_j.V_j \rangle = \sigma_j \cdot \langle V_i, V_j \rangle. \quad (3.37)$$

En consecuencia los vectores  $\{A.V_1, \dots, A.V_r\}$  son ortogonales dos a dos y no nulos ya que sus valores propios correspondientes son no nulos. Si escribimos

$$\|A.V_i\|^2 = \langle A.V_i, A.V_i \rangle = \sigma_i \cdot \langle V_i, V_i \rangle = \sigma_i > 0, \quad (3.38)$$

para  $i \leq r$  y definimos los vectores  $\{U_1, \dots, U_r\}$  de modo que  $A.V_i = \lambda_i.U_i$ , donde  $\lambda_i = \sqrt{\sigma_i}$ . Por otra parte, al ser (por el teorema anterior)  $N(A) = N(A^t.A)$  tenemos que  $A(V_i) = 0$  si  $i > r$ .

En el espacio de llegada  $R^m$  tenemos un conjunto ortonormal  $\{U_1, \dots, U_r\}$  que constituye una base de  $Im(A) = N(A^t)^\perp$ . si completamos este conjunto hasta formar una base ortonormal  $\{U_1, \dots, U_m\}$  de  $R^m$ , se cumplirá que  $A^t.U_i = 0$  si  $i > r$ .

**Q.E.D.**

Los números positivos  $\lambda_i$  son los llamados *valores singulares* de  $A$ .

Hemos demostrado los teoremas fundamentales de la descomposición en valores singulares de una matriz. Las aplicaciones de estos resultados son muy variadas y presentan ventajas en lo relativo a la complejidad de los cálculos y la reducción de la dimensionalidad de ciertos problemas asociados a matrices de gran tamaño. Mencionaremos tres posibles aplicaciones: la compresión de imágenes, el procesamiento de datos estadísticos, correspondientes a distintas variables y la reducción de la dimensionalidad en problemas de espacios semánticos. El primero de los ejemplos mencionados será mostrado a continuación, mientras que el último forma parte de los resultados de esta tesis. Sobre el segundo ejemplo, el procesamiento de datos estadísticos nos limitaremos a decir que la descomposición que aquí se muestra es la misma que surge naturalmente en el *Análisis de Componentes Principales*. En dicho tipo de análisis se utiliza la descomposición espectral de la matriz de covarianzas muestral de los datos contenidos en una tabla (matriz) cada una de cuyas columnas corresponde a una variable de interés dentro del contexto de un problema. Si esa matriz (a la que llamaremos  $X$ ) ha sido previamente estandarizada (de modo que la suma de sus columnas dé 0) entonces su matriz de covarianzas muestral es proporcional a  $X^t \cdot X$  y las consideraciones matemáticas que se hacen son equivalentes a las de la demostración que aquí figura y los vectores principales del espacio de partida son los vectores singulares de la discusión precedente.

### 3.2.1. Ejemplo: Compresión de Imágenes

Se muestra a continuación una imagen de la actriz Louise Brooks (1906-1985). La información contenida en esta foto en escala de grises corresponde en MATLAB a una matriz  $A$  de 1600 filas por 1186 columnas, equivalente a  $1600 \times 1186 \times 8 = 15.180.800$  bytes.

Si consideramos la descomposición en valores singulares de  $A$ :

$$A = U \cdot D \cdot V^t. \quad (3.39)$$

donde  $U$  es una matriz cuadrada de tamaño 1600,  $V$  es una matriz cuadrada de tamaño 1186 y  $D$  es una matriz diagonal de 1600 filas por 1186 columnas; podemos truncar las bases de vectores singulares a los efectos de ahorrar espacio de almacenamiento.

Por ejemplo si consideramos sólo 10 vectores singulares  $\{V_1, \dots, V_{10}\}$  que forman las columnas de la matriz que llamaremos  $V_{10}$  y los correspondientes vectores  $\{U_1, \dots, U_{10}\}$  que forman las columnas de la matriz que



Figura 3.24: Louise Brooks.

llamaremos  $U_{10}$ ; podemos tratar de reconstruir una matriz cercana a  $A$  usando la descomposición:

$$A_{10} := U_{10}.D_{10}.V_{10}^t. \quad (3.40)$$

En este caso la información necesaria para la reconstrucción estará contenida en las matrices  $U_{10}$  que tiene 1600 filas y 10 columnas,  $V_{10}$  que tiene 1186 filas y 10 columnas y  $D_{10}$  es una matriz diagonal de 10 filas por 10 columnas. El espacio de almacenamiento será entonces: el requerido por  $U_{10}$ :  $1600 \times 10 \times 8 = 128.000$  bytes, el requerido por  $V_{10}$ :  $1186 \times 10 \times 8 = 94.880$  bytes más los 10 valores singulares 80 bytes. De modo que el espacio requerido es 222.960 bytes que corresponden a 1,47% del espacio de almacenamiento de  $A$ .

Si usáramos 20 vectores singulares en lugar de 10 tendríamos la descomposición

$$A_{20} := U_{20}.D_{20}.V_{20}^t. \quad (3.41)$$

que requiere un espacio  $(1600+1186+1) \times 8 \times 20 = 445.920$  bytes; que corresponden a 2,94% del espacio de almacenamiento de  $A$ . Las imágenes correspondientes a estas dos reconstrucciones se muestran en la siguiente figura.



Figura 3.25: Reconstrucción de la foto de Louise Brooks con 10 y 20 vectores singulares respectivamente

Las compresiones correspondientes de 30 y 50 vectores singulares ocuparían respectivamente  $3 \times 1,47\% = 4,41\%$  y  $5 \times 1,47\% = 7,35\%$  del espacio de almacenamiento de  $A$ . Las imágenes correspondientes a estas dos reconstrucciones se muestran en la siguiente figura.



Figura 3.26: Reconstrucción de la foto de Louise Brooks con 30 y 50 vectores singulares respectivamente

# Segunda parte



# Capítulo 4

## Tests de Tríadas

### 4.1. Introducción

Tal como se menciona en la sección 2.5, el conocimiento semántico puede verse afectado en diversas condiciones patológicas, tanto en procesos degenerativos como la demencia semántica (Hodges, Patterson 2007; Yang, Guo, Bi 2015; Landin-Romero et al 2016), como en otros casos de daño encefálico extendido, tales como en traumatismos encefalo-craneanos y encefalitis, generando limitaciones e invalidez en los pacientes (Patterson, Nestor y Rogers, 2007). Diversas disociaciones en la organización del sistema semántico han sido descritas en pacientes (Devlin et al 2002; Bright, Moss, Tyler 2004; Patterson, Nestor, Rogers 2007.), por lo cual puede inferirse que este sistema sigue una arquitectura de organización diferenciada. La adecuada comprensión de dicha organización (Keil 1989; Rogers, McClelland 2004), así como los mecanismos que pueden afectarla, no solamente contribuye al conocimiento de la problemática presentada por los pacientes, sino que posee un interés especial en la adquisición del sistema semántico. Es así que una detallada y empíricamente fundamentada teoría al respecto es relevante también para el dominio del aprendizaje y la educación, como se vislumbra en trabajos de años atrás (Keil, 1989). La especificidad en la estructura del sistema semántico puede tener su correlato neural (Devlin et al, 2002), y su estudio se ha visto enriquecido por el abordaje de las teorías del procesamiento distribuido en paralelo (Rogers, & Mc Clelland, 2004).

El estado de la memoria semántica se puede evaluar de distintas formas; una de ellas consiste en hacer preguntas directas: *¿El gato es un mamífero? ¿Los patos vuelan? ¿De qué material está hecho un martillo? ¿Cuál es la capital de Francia?*

Otra forma posible y complementaria es a través de los tests de denominación, por ejemplo el *Boston Naming Test* (Kaplan, Goodglass y Weintraub, 1983) o la lista de imágenes de Snodgrass y Van der Vaart

(Snodgrass, Van der Vaart, 1980). Dependiendo de la modalidad, se le muestra al paciente una imagen y se le pide que nombre el objeto en cuestión. Se pueden dar al participante pistas fonéticas o semánticas según la modalidad y el tipo de test.

Otra modalidad de evaluación está en los tests de fluencia verbal, en los que al paciente se le pide que nombre la mayor cantidad de elementos de una categoría semántica en un tiempo dado.

Otra posibilidad está en las pruebas de asociación. El test por excelencia en esta categoría es el de Pirámides y Palmeras (Howard & Patterson, 1992 – en adelante PPT). Existe una versión lingüística y una versión pictórica. En la primera, a un individuo se le muestran en cada instancia tres dibujos, uno de referencia y otros dos entre los que debe elegir, luego de comparar la información semántica contenida en ellos, el más cercano al objeto de referencia. Hay 52 tríadas a partir de las cuales se definen valores de referencia para una población de control. La prueba es sensible para detectar desórdenes cognitivos como la demencia semántica y está ampliamente difundida y aceptada. En las figuras 4.1 y 4.1 se muestran dos tríadas de la prueba de Pirámides y Palmeras.

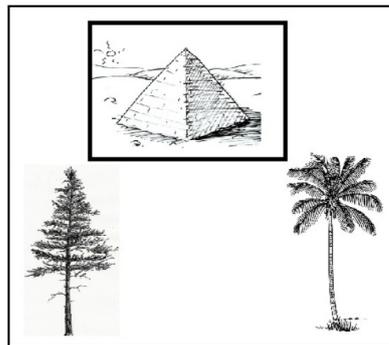


Figura 4.1: La terna que da nombre al test de Pirámides y Palmeras. La pirámide es el objeto de referencia; si el paciente recuerda que en el Egipto hay pirámides y palmeras, deberá elegir la palmera.

La utilización del Test de Pirámides y Palmeras, poco extendida en poblaciones latinoamericanas, requiere de normas adaptadas a factores culturales específicos para poder discriminar (Gudayol-Ferre et al, 2008). El Test de Pirámides y Faraones (Martínez-Cuitiño, Barreyro 2010) es una versión reducida del Test de Pirámides y Palmeras adaptada al Español Rioplatense. La prueba consta de 20 ternas (elegidas por ser las más sensibles en un conjunto de 66) en donde algunas de las ternas de

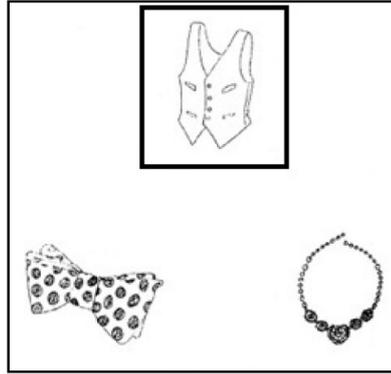


Figura 4.2: Una terna del test de Pirámides y Palmeras: el corbatín es el objeto más cercano al chaleco.

la prueba PPT fueron modificadas sustituyendo un objeto por un objeto culturalmente más cercano al ámbito regional y en otros casos para que el nuevo objeto esté representado por una sola palabra (por ejemplo en la sustitución *pájaro carpintero -woodpecker en Inglés-* por *canario*). La nueva prueba es sensible y eficiente, además de breve (hecho que simplifica mucho su toma). Se muestran a continuación algunas ternas de la prueba.

En 2003 Bak y Hodges desarrollaron una prueba de tríadas para verbos (*Kissing and Dancing Test*, Bak y Hodges 2003), inspirados por el conocimiento acerca de una variante frontal de la Demencia Frontotemporal (fvFTD) y por evidencia que parece relacionar ciertos déficits en el procesamiento de verbos y lesiones en el lóbulo frontal. La prueba propuesta por ellos consiste en 52 tríadas de acciones, con una versión lingüística y una versión pictórica. En la imagen siguiente se muestra una de las tríadas de dicho test.

Bak y Hodges, además de establecer valores de referencia para una población de control, sometieron el test a un grupo de pacientes de la variante frontal de Demencia Frontotemporal (fvFTD) y a un grupo de pacientes de Demencia Semántica. Las lesiones de los pacientes (mayoritariamente en el lóbulo frontal para el primer grupo y en el lóbulo temporal para el segundo) sugerían la posibilidad de que a los del primer grupo les fuera

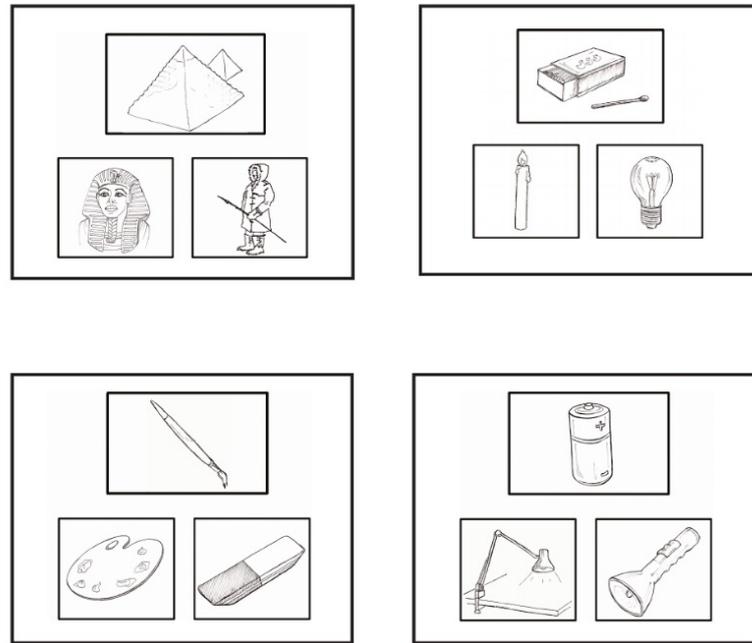


Figura 4.3: Algunas ternas del test de Pirámides y Faraones

peor que a los del segundo en el procesamiento de verbos/acciones (Kissing and Dancing Test) y que a los del segundo grupo les fuera peor que a los del primero en la prueba de Pirámides y Palmeras, que está hecha a partir de sustantivos/objetos. Los resultados confirmaron estos hechos.

El Test Kissing and Dancing posee una importancia adicional ya que incluye en los criterios categoriales no sólo acciones y funciones sino también gestos de naturaleza práxica, lo cual no solamente proporciona una nueva dimensión semántica sino que permite evaluar el sistema semántico en condiciones donde se afecta el sistema motor, como en la enfermedad de Parkinson (Portin et al 2000; Watters, Patel 1999a y b).

A pesar de los avances en este sentido y de la importancia de los mencionados tests, el sistema semántico es muy rico y de carácter multidimensional y la especificidad de ciertos déficits (algunos de los cuales se describen en la literatura científica a partir de estudios de un solo paciente) hacen que los tests mencionados no abarquen la memoria semántica en toda su complejidad.

En este sentido, tests complementarios, que combinen diversos aspectos del problema, pueden contribuir a un mejor entendimiento del mismo.

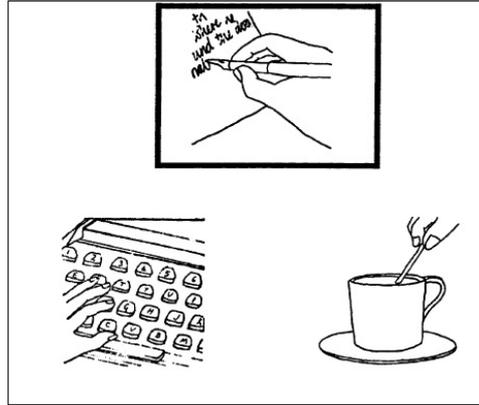


Figura 4.4: una terna del Kissing and Dancing test: (escribir, escribir a máquina y revolver el café).

En los últimos años, un grupo de investigadores propuso nuevos tests para complementar el conocimiento del sistema semántico proporcionado por los anteriores (Guo et al 2013). En tal sentido propusieron una prueba de tríadas (el Object Function Matching Test) para evaluar el conocimiento de un paciente acerca de la función de un objeto, y otra prueba de tríadas (el Object Manipulation Test) para evaluar el conocimiento de un paciente sobre la manipulación de un objeto.

El interés de Guo y sus colegas por la posible disociación entre manipulación y función tiene un antecedente en el trabajo de Boronat (Boronat et al 2005), quien junto a algunos colegas estudió experimentalmente las regiones cerebrales que se activaban en un grupo de pacientes al realizar tareas que versaban sobre la manipulación de objetos, por oposición a tareas que versaban sobre la función.

En este sentido, distintos estudios han mostrado pacientes con lesiones en el lóbulo temporal en un cuadro típico de Demencia Semántica que presentan un déficit importante en la identificación de herramientas y utensilios por su nombre y función, pero que han preservado el conocimiento acerca de la manipulación de esos objetos (Buxbaum et al 1997, Schwartz et al 1979). Otros estudios han mostrado pacientes apráxicos (que habían perdido el conocimiento sobre la manipulación) con lesiones en el lóbulo parietal, que han preservado el conocimiento sobre la función de herramientas y utensilios. Basten estos ejemplos para dar una idea de la complejidad del contexto. En este sentido, un estudio realizado por Buxbaum y colaboradores (Buxbaum 2002) muestra los resultados de aplicar algunos tests sobre función, manipulación, la combinación de estos dos aspectos, conocimiento de animales y conocimiento de partes del cuerpo, a un grupo de 13 pacientes afásicos como consecuencia de

ACVs. La figura 4.5 muestra una terna representativa del test de función (arriba), del de manipulación (centro) y de un test combinado de ambos aspectos (abajo).

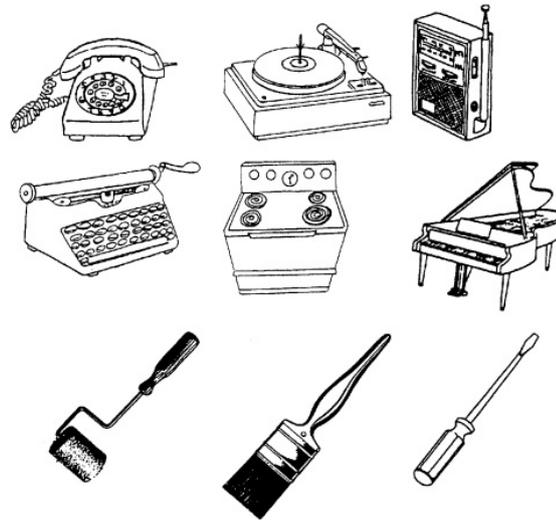


Figura 4.5: Tres ternas del estudio de Buxbaum (2002)

Los resultados se pueden resumir en el hecho de que a los pacientes apráxicos les ha ido peor que a los otros en los tests de conocimiento de herramientas, partes del cuerpo y manipulación de objetos. Más allá de lo esperado, a los pacientes no apráxicos les ha ido peor en los tests de conocimiento de animales y función de objetos. Dentro de este contexto, Kable y sus colaboradores (Kable et al. 2002) han realizado un estudio similar en que a los pacientes se les presentan tríadas del estilo de la prueba de Pirámides y Palmeras, algunas conteniendo tres acciones y otras conteniendo tres objetos. El estudio mediante resonancia magnética funcional arrojó algunas áreas diferenciales de activación al realizar una y otra tarea. La mayor activación del lóbulo temporal medial y medial superior, y de regiones vecinas del lóbulo temporal posterior, en el caso de acciones en comparación con objetos, parece sugerir que el conocimiento de acciones involucra algunos aspectos del movimiento.

La estrecha relación entre el conocimiento de las herramientas y su manipulación podría ser explicada por un modelo distribuido en que las estructuras de la vía dorsal de procesamiento, son fundamentales no sólo para la codificación motora sino para el almacenamiento de la información referida a las acciones relacionadas con objetos y partes del cuerpo. Una teoría distribuida para la representación semántica tiene además el interés de mantener, en algún sentido, una continuidad evolutiva referida

a los animales en general, que no son capaces de adquirir un conocimiento del mundo mediante el lenguaje, sino a través de sus habilidades sensoriales y que interactúan con él de forma motora. Sin haber perdido esas capacidades, el ser humano las ha extendido mediante el lenguaje.

En el estudio de Boronat (Boronat 2005) se muestra a los pacientes una serie de pares de dibujos y se pide que establezcan si el par de objetos tiene la misma función o bien si el par de objetos admite una manipulación similar, y paralelamente se realiza a los pacientes una resonancia magnética funcional a los efectos de estudiar las zonas del cerebro que se activan según la tarea que se esté realizando.

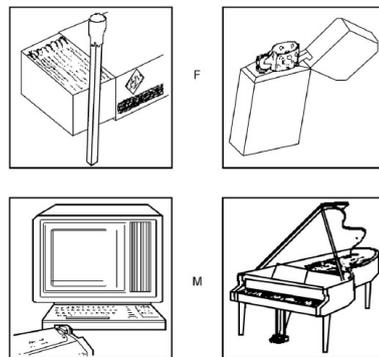


Figura 4.6: Dos pares de figuras del estudio de Boronat: figuras del estudio de Boronat (2005). Los dos objetos de arriba tienen la misma función, mientras que los dos objetos de abajo se manipulan de manera similar.

El estudio mostró que varias zonas de activación son comunes a la tarea de función (F) y a la de manipulación (M) incluyendo el Córtex Premotor ventral (PMv), el Giro Temporal Medio Posterior (PMTG) y el Lóbulo Parietal Inferior. Estos datos coincidieron con los de estudios imagenológicos previos y mostraron coherencia con evidencia clínica de déficits basados en lesiones en el córtex prefrontal, en el córtex premotor, en el lóbulo parietal y en el giro temporal medio posterior.

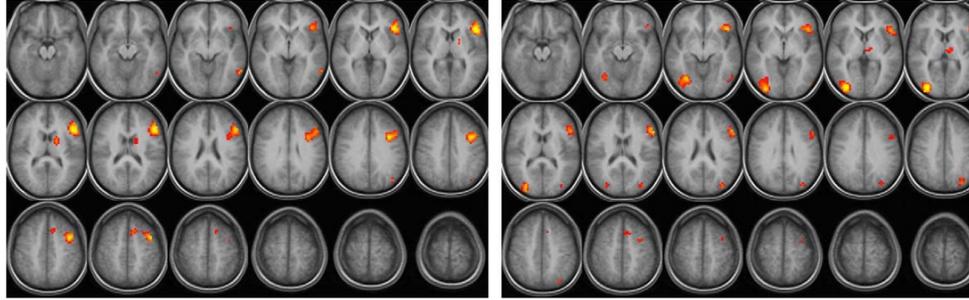


Figura 4.7: Zonas de activación en el estudio de Boronat (2005) para la tarea de función con palabras (izquierda) e imágenes (derecha). Además de la activación frontal y temporal, la versión pictórica provoca activación occipital derecha (el hemisferio derecho está representado a la izquierda de cada imagen y viceversa). Imagen tomada de Boronat (2005). Ver Apéndice E.

La activación para la tarea de función (F) de zonas que se creían únicamente asociadas a las tareas de manipulación ha llamado la atención de los investigadores en este tema. Aparentemente, la presentación de imágenes y nombres de objetos manipulables activa representaciones gestuales-motoras, independientemente de si la tarea es sobre función o manipulación.

Por otra parte, el hecho de que, más allá de algunas diferencias particulares, la activación de las zonas antes mencionadas se dé tanto para la versión pictórica como para la versión lingüística, parece sugerir que no toda la activación en el lóbulo parietal se puede pensar como respuestas motoras automáticas ante el estímulo visual de objetos, sino más bien que se está ante una representación más abstracta e independientemente de la modalidad.

Más allá de estas consideraciones, la mayoría de las zonas activadas ante la tarea de función (F) son un subconjunto de las activadas ante la tarea de manipulación (M). Este hecho es consistente con estudios previos que afirman que la información sobre manipulación, más que la de función, es la fundamental para la representación de objetos manipulables.

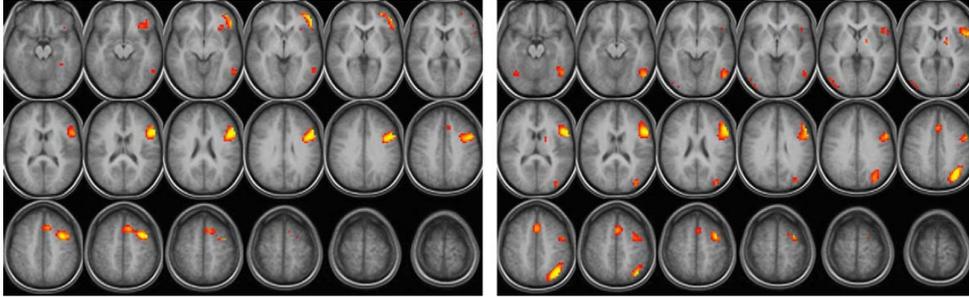


Figura 4.8: Zonas de activación en el estudio de Boronat (2005) para la tarea de manipulación con palabras (izquierda) e imágenes (derecha). El patrón de activación en la figura de la izquierda es similar al correspondiente a la prueba de función con un par de diferencias: no se observa activación en el giro caudado y sí se observa activación en el giro orbital izquierdo. Para la versión pintórica (derecha) se observa activación en el lóbulo occipital. Ver Apéndice E.

## 4.2. El test FvM

Basados en estos estudios y consideraciones previas, hemos propuesto un test de tríadas que enfatice las diferencias entre función y manipulación. Se trata de un test de 30 tríadas en las que se da un objeto de referencia y dos objetos entre los que se debe elegir el más cercano al primero, ya sea teniendo en cuenta la función (versión F del test) o la manipulación (versión M del test). Por ejemplo, considérese la tríada de la figura 4.9.

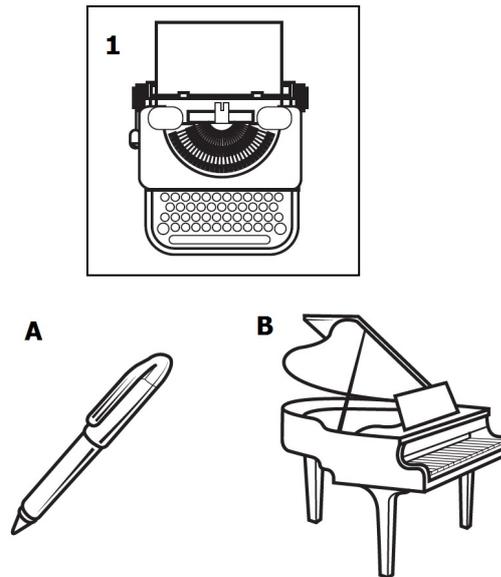


Figura 4.9: Una tríada típica del test Función vs. Manipulación.

El objeto de referencia es una máquina de escribir. Si debiéramos contestar cuál de los objetos de abajo está más relacionado al de referencia en lo que respecta a función (versión F) deberíamos elegir la lapicera (A), mientras que si se nos pregunta cuál de los dos está más relacionado en lo que atañe a la manipulación, la respuesta correcta es el piano (B). De la misma forma, en todas las ternas que se presentan, la respuesta correcta es una en la versión F y la contraria en la versión M.

El test propuesto tiene un grado de dificultad mayor, ya sea en la evaluación del aspecto funcional de los objetos, como en la manipulación, dado que, como se explica en el párrafo precedente, el distractor está en algún sentido relacionado con el objeto de referencia (en la función cuando se evalúa manipulación y en la forma de manipularlo cuando se evalúa la función).

Los dibujos de la prueba son originales y han sido realizados por un dibujante profesional. Los mismos han sido hechos a partir de diversas imágenes de un mismo objeto y tratan de representarlos con trazos simples y de la forma más clara posible.

La especificidad de algunos objetos y su forma de manipularlos hacen que hayamos optado por no hacer una versión de este test para palabras. Por otra parte, el hecho de que el mismo esté basado en figuras y su disposición, facilitan su práctica en caso de limitaciones motoras importantes en el que sólo se pueden obtener respuestas pidiéndole al paciente que señale una figura.

Las figuras a partir de las cuales se hace este test han sido sometidas

a la consideración de una población de personas: 70 en Uruguay, 30 en Francia y 19 en China, que nos han permitido ver cuáles imágenes no estaban lo suficientemente claras a los efectos de modificarlas. En el caso del estudio exploratorio en China, también ha servido para ver cuáles imágenes no estaban claras, no por su representación sino debido a diferencias culturales entre los países. Esas consideraciones nos han servido para sustituir esos objetos por otros, a los efectos de lograr un test culturalmente más robusto.

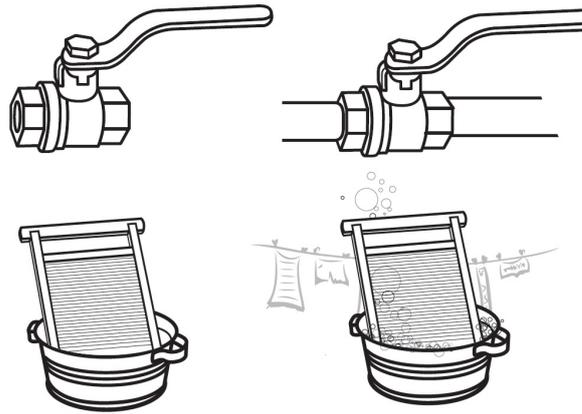


Figura 4.10: Algunas figuras que han sido cambiadas.

Con respecto a los cambios realizados. En la parte superior izquierda de la figura 4.10 se aprecia una llave de paso, que en el estudio exploratorio presentó algunos problemas de comprensión por parte de la población piloto. Varias de las personas que vieron la imagen sin identificarla respondieron, al ser consultadas posteriormente, que si en el dibujo se hubiera agregado un caño, además de la pieza en cuestión, habrían podido identificar la imagen, que en un principio les resultó dudosa. La nueva imagen se muestra en la parte superior derecha de la figura. Ocurre algo similar con la tina y la tabla de lavar ropa que se encuentran en la parte inferior izquierda en donde el agregado de unas pompas de jabón y una soga con ropa tendida en trazo gris más claro (indicando que los objetos principales representados son la tina y la tabla) hace más claro el dibujo. Al igual que en el caso de la tina, en otros casos se han agregado algunas pistas a las imágenes con el objetivos de hacerlas más claras, tal como se aprecia en la figura 4.11.

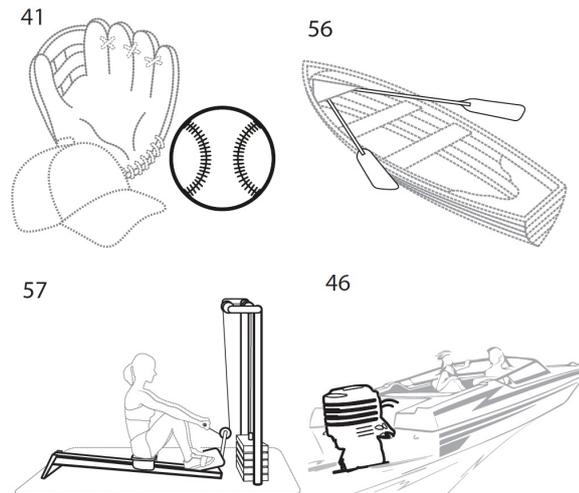


Figura 4.11: Algunas imágenes que han sido acompañadas de pistas para facilitar su comprensión.

En la imagen 4.11 se representa una pelota de baseball. Para aclarar que se trata de una pelota de baseball cuya manipulación es notoriamente distinta que la de una pelota de tenis, se han agregado en línea punteada un guante y una gorra de baseball.

En la imagen 56 se representan los remos de un bote. Como al dibujarlos aislados podrían dejar dudas sobre el objeto representado, se ha agregado el bote en línea punteada. Se ha hecho algo similar en la figura 57, que representa un remo de gimnasio y en la 46, que representa un motor fuera de borda, que aislado podría resultar confuso.

Los objetivos del experimento realizado a partir de este test son los siguientes:

1. establecer valores de referencia para una población de control,
2. ver de qué forma diferentes parámetros tales como el género, la edad y los años de estudio, influyen o no sobre la realización del test,
3. estudiar si el test puede servir como herramienta de evaluación de algunas enfermedades, mediante su realización en pacientes con demencia semántica, enfermedad de Alzheimer y enfermedad de Parkinson por ejemplo.

Los resultados de este test se presentan en el siguiente capítulo.



# Capítulo 5

## Resultados del Test FvM

### 5.1. Introducción

En éste capítulo y en los que siguen, se describen distintos experimentos relacionados con la memoria semántica. En particular, en este capítulo se presenta el resultado del test *Función vs. Manipulación* aplicado en diversos contextos.

### 5.2. Resultados del test FvM

El test FvM ha sido tomado a diversos grupos de pacientes y grupos de control. En primer lugar se comparan los resultados de un grupo de pacientes de la Enfermedad de Parkinson con un grupo de control. En segundo lugar se comparan los tiempos empleados en cada una de las modalidades en dos subgrupos de los mencionados arriba.

#### 5.2.1. Caso 1: Pacientes de Parkinson y grupo de control: scores

A todos los individuos se les tomó la prueba MMSE: Minimal State Examination (Folstein et al 1975). Fueron descartados aquellos individuos que obtuvieron un puntaje menor a 26 en un total de 30; los individuos de ambos grupos que se describen a continuación son los que quedaron luego de dicho filtro. Se tomó la prueba a un grupo de 29 pacientes de Parkinson (10 mujeres, 19 hombres, edad media: 68,62 años, desvío estándar de edades: 7,68 años) y un grupo de control de 31 personas (22 mujeres, 9 hombres, edad media: 72,35 años, desvío estándar de edades: 7,79 años). Los pacientes fueron tratados en INECO (Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional, Conicet, Buenos Aires, Argentina), Hospital Español (Buenos Aires, Argentina), Centro de Rehabilitación Esteban Laureano Maradona (Santa Fe, Argentina), Hospital de Clínicas

	Controles	Pacientes
$s_F > s_M$	9	25
$s_F = s_M$	11	1
$s_F < s_M$	11	3
$\bar{s}_F$	32,74	30,16
$\bar{s}_M$	29,28	25

Tabla 5.1: Estadísticas de pacientes y controles para el test FvM. Notación:  $s_F$ : puntaje en la versión Función,  $s_M$ : puntaje en la versión Manipulación,  $\bar{s}_F$  Promedio de puntajes en la versión Función,  $\bar{s}_M$  Promedio de puntajes en la versión Manipulación.

(UDELAR, Montevideo). Todos los pacientes estaban en tratamiento y bajo los efectos de la medicación correspondiente a su tratamiento en el momento de la prueba. Todos hicieron ambas versiones de la prueba. A 16 de ellos se les tomó en primer lugar la versión Manipulación y a 13 se les tomó primero la versión Función. Los individuos del grupo de control no tienen signos de alteración mental ni antecedentes de enfermedades neurológicas y fueron entrevistados por estudiantes avanzados de Psicología en diversos ámbitos. A 7 de ellos se les tomó en primer lugar la versión Manipulación y a 24 se les tomó primero la versión Función.

## Resultados

Los participantes del grupo de control tienen, en promedio, un puntaje mayor que los pacientes en ambas modalidades de la prueba. Por otra parte, mientras que en la muestra de control las relaciones de menor, igual o mayor para los puntajes de ambas pruebas se distribuyen aproximadamente en tercios, en la muestra de pacientes casi todos tienen mayor puntaje en la versión Función que en la versión Manipulación. La tabla 5.1 resume esos resultados.

A continuación se aplica la prueba de Wilcoxon, Mann y Whitney para comparar los rangos de controles y pacientes en ambas versiones. Por ejemplo, en la prueba de Función, si ordenamos de menor a mayor los puntajes de la muestra conjunta de controles y pacientes observamos la situación descrita en la tabla 5.2.

La tabla está dividida en sectores de tres filas, en cada uno de ellos

<i>s</i>	19	22	25	25	26	26	26	26	27	27	27	28
<i>EP</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
<i>R</i>	1	2	3.5	3.5	6.5	6.5	6.5	6.5	10	10	10	13
<i>s</i>	28	29	30	30	31	31	32	32	32	32	32	33
<i>EP</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
<i>R</i>	13	14	16	16	18	18	21	21	21	21	21	27
<i>s</i>	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34
<i>EP</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>R</i>	27	27	27	27	27	36	36	36	36	36	36	36
<i>s</i>	34	34	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>R</i>	36	36	36	36	36	46	46	46	46	46	46	46
<i>s</i>	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
<i>EP</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	46	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55

Tabla 5.2: Tabla: Puntajes ordenados y rangos para la muestra conjunta, para la versión F del test. *s* que representa el puntaje (nótese que los puntajes están ordenados de menor a mayor de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo), *EP* que indica si el individuo en cuestión es un paciente (en cuyo caso figura un 1) o si forma parte del grupo de control (en cuyo caso figura un 0) y *R* que es el rango correspondiente a la observación.

figura  $s$  que representa el puntaje (nótese que los puntajes están ordenados de menor a mayor de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo),  $EP$  que indica si el individuo en cuestión es un paciente (en cuyo caso figura un 1) o si forma parte del grupo de control (en cuyo caso figura un 0) y  $R$  que es el rango correspondiente a la observación: el lugar que ocupa el individuo en la muestra ordenada (nótese que los empates se resuelven promediando las posiciones. Por ejemplo el puntaje 25 aparece dos veces en los lugares 3 y 4; por lo tanto el rango correspondiente es  $\frac{3+4}{2} = 3,5$ ).

El test de Wilcoxon Mann y Whitney se basa en una idea muy simple: si una de las submuestras está estadísticamente por encima o por debajo de la otra, eso se podrá detectar en la suma de rangos. En nuestro caso, la tabla parece sugerir que los puntajes de los pacientes están en general por debajo de los puntajes de la muestra de control. En nuestro caso, la suma de los rangos de los puntajes de los pacientes (llamémosle  $W$  por ser el estadístico del test) da  $W=645$ . Se puede probar que el valor esperado de este estadístico en una situación aleatoria en que no hubiera diferencia entre las submuestras es  $\frac{29(60-1)}{2} = 855,5$ . ¿Cuán significativo es el valor obtenido  $W=645$ ? Se realizó una simulación de valores uniformes con dos submuestras de 29 y 31 datos respectivamente y 100.000 replicaciones, en sólo 17 de ellas  $W$  tomó un valor menor o igual que 645; por lo tanto el  $p$ -valor vale  $17/100.000=1,7 \times 10^{-4}$ . Al ser el  $p$ -valor menor que 0,05 (de hecho es despreciable) rechazamos la hipótesis de que ambas muestras son estadísticamente equivalentes y que el bajo valor de  $W$  se debió al azar y atribuimos ese valor tan bajo a una diferencia que subyace a las muestras: a los pacientes les va significativamente peor en la prueba de función que a los individuos del grupo de control.

De forma similar, la suma de los rangos de los pacientes en la versión M del test es  $W=545$  (que tiene un  $p$ -valor prácticamente nulo), cosa que también nos hace afirmar a los pacientes les va significativamente peor en la prueba de manipulación que a los individuos del grupo de control; hecho que también se da en la suma de ambas versiones (F y M) con una suma de rangos  $W=605$  (que tiene un  $p$ -valor  $10^{-4}$ ).

El trabajo descrito fue realizado con 36 tríadas, algunas de las cuales son muy similares y fueron incluidas pensando en hacer una selección a posteriori.

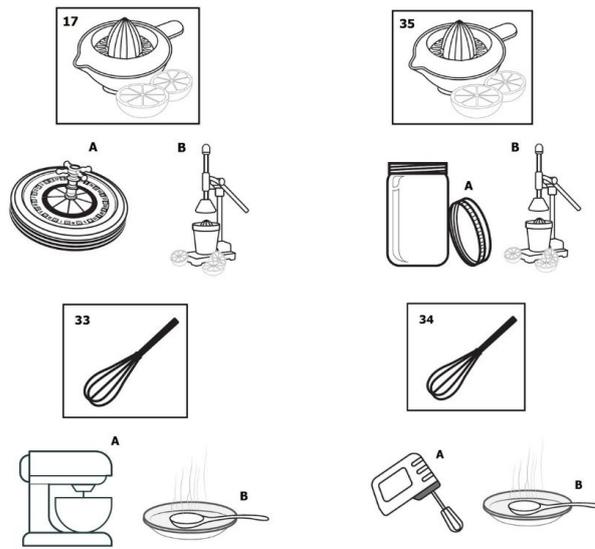


Figura 5.1: Dos pares de ternas similares.

Si para cada una de estas 36 ternas registramos el porcentaje de errores cometidos por el grupo de pacientes y el grupo de controles (para la suma de ambas pruebas) y calculamos sus diferencias (en todos los casos el porcentaje de errores de los pacientes es mayor que el del grupo de control) podemos ver los resultados en el gráfico de barras de la figura 5.2.

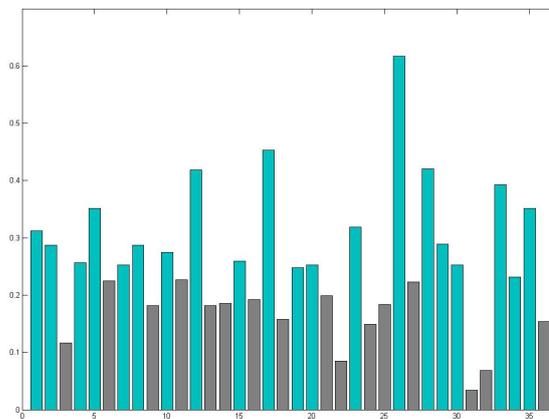


Figura 5.2: Diferencias entre los porcentajes de error entre pacientes y controles para ambas versiones discriminados por terna (se indican en verde las más significativas).

Según esto las 20 ternas que presentan mayor diferencia en el porcentaje de errores son las que se muestran en la tabla 5.3.

1	2	4	5	7	8	10	12	15	17
19	20	23	26	28	29	30	33	34	35

Tabla 5.3: las 20 ternas que presentan mayor diferencia entre pacientes y controles.

1	2	4	5	7	12	14	16	15	17
19	20	23	25	26	28	29	30	33	35

Tabla 5.4: las 20 ternas definitivas.

De este conjunto de ternas eliminamos la 8 y la 10 por entender (luego de varias consideraciones hechas a posteriori) que están mal planteadas y la 34 que es equivalente a la 33. Agregamos, para completar un conjunto de 20, las ternas 14, 16 y 25 que se destacan en la versión M por las diferencias de porcentaje. Obtenemos así un conjunto de 20 ternas.

Con este conjunto de propiedades podemos representar los rangos de la suma de los puntajes en ambas pruebas.

Las figuras 5.3, 5.4 y 5.5 representan los datos referidos (pacientes en rojo, controles en verde)

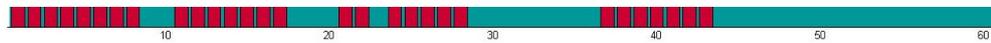


Figura 5.3: Rangos de los puntajes de la prueba F para pacientes y controles

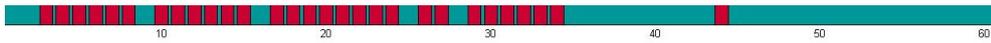


Figura 5.4: Rangos de los puntajes de la prueba M para pacientes y controles

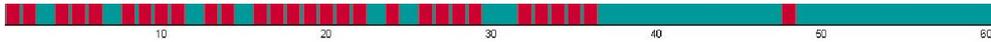


Figura 5.5: Rangos de la suma de los puntajes F y M para pacientes y controles

<i>s</i>	9	12	12	13	13	14	14	15	15	15	16	16
<i>EP</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>R</i>	1	2.5	2.5	4.5	4.5	6.5	6.5	9	9	9	11.5	11.5
<i>s</i>	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	19
<i>EP</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
<i>R</i>	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	22	22	22	30
<i>s</i>	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
<i>EP</i>	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
<i>s</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>EP</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>R</i>	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5
<i>s</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5

Tabla 5.5: Puntajes ordenados y rangos para la muestra conjunta, para la versión F del test con 20 ternas (rigen las mismas convenciones que para la Tabla 5.2).

<i>s</i>	2	3	5	5	6	7	7	7	9	10	11	13
<i>EP</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>R</i>	1	2	3.5	3.5	5	7	7	7	9	10	11	14
<i>s</i>	13	13	13	13	14	14	15	15	15	15	16	16
<i>EP</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>R</i>	14	14	14	14	17.5	17.5	20.5	20.5	20.5	20.5	24	24
<i>s</i>	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18
<i>EP</i>	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>R</i>	24	27	27	27	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
<i>s</i>	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>R</i>	33.5	33.5	41	41	41	41	41	52	52	52	52	52
<i>s</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52

Tabla 5.6: Puntajes ordenados y rangos para la muestra conjunta, para la versión M del test con 20 ternas (rigen las mismas convenciones que para la Tabla 5.2).

<i>s</i>	19	20	20	22	22	22	22	23	23	24	24	26
<i>EP</i>	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
<i>R</i>	1	2.5	2.5	5.5	5.5	5.5	5.5	8.5	8.5	10.5	10.5	12
<i>s</i>	28	28	28	30	31	31	32	32	33	33	33	34
<i>EP</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>R</i>	14	14	14	16	17.5	17.5	19.5	19.5	22	22	22	24.5
<i>s</i>	34	36	36	36	36	36	36	37	37	37	38	38
<i>EP</i>	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
<i>R</i>	24.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	33	33	33	38.5	38.5
<i>s</i>	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	40
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>R</i>	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	45	45	45	45	45	54
<i>s</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<i>EP</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R</i>	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54

Tabla 5.7: Puntajes ordenados y rangos para la muestra conjunta, para la suma de ambas versiones del test con 20 ternas (rigen las mismas convenciones que para la Tabla 5.2).

$n$	<i>errores P</i>	<i>errores C</i>
17	0.3103	0.1613
18	0.2414	0.1935
19	0.0345	0.3226

Tabla 5.8: probabilidad de error según puntos de corte (versión M).

$n$	<i>errores P</i>	<i>errores C</i>
36	0.3448	0.1935
37	0.2069	0.2581
38	0.1034	0.2581

Tabla 5.9: probabilidad de error según puntos de corte (suma de ambas versiones).

Si quisiéramos establecer un punto de corte a los efectos de llamar la atención sobre posibles trastornos cognitivos asociados a la parte motriz, los datos presentados sugieren considerar la versión M del test, o bien la suma de puntajes de ambas versiones del test. Por ejemplo, si consideramos los posibles puntos de corte 17, 18 y 19 para la prueba M, tenemos la tabla 5.8.

Por ejemplo, tomando 18 como corte, el 24,14 % de los pacientes tiene un puntaje mayor o igual a 18 en la prueba M y que un 19,35 % de los controles tiene un puntaje estrictamente menor que 18. Si consideramos los puntos de corte 36, 37 y 38 para la suma de puntajes de ambas pruebas, tenemos la tabla 5.9.

Por ejemplo: tomando 38 como corte: el 10,34 % de los pacientes tiene un puntaje mayor o igual a 38 en la suma de ambas pruebas (el 89,66 % de los pacientes tiene un puntaje menor que 38) y que un 25,81 % de los controles tiene un puntaje estrictamente menor que 38 (el 74,19 % de los controles tiene un puntaje mayor o igual a 38).

Si consideramos el  $\alpha$  de *Cronbach* como medida de coherencia del test (Cronbach, 1951) definido por

$$\frac{n}{n-1} \left( 1 - \frac{\sum_i V(T_i)}{V(T)} \right) \quad (5.1)$$

donde  $V(T_i)$  es la varianza del vector de ceros y unos correspondiente a la pregunta  $i$  del test y  $V(T)$  es la varianza del puntaje total. Se puede mostrar que el valor del  $\alpha$  está entre 0 y 1 (vale 0 en el caso en que las variables  $T_i$  sean independientes y está más cerca de 1 cuanto más correlacionadas estén las variables. Por ejemplo, en el caso extremo en que los  $T_i$  sean idénticos y  $T$  sea en consecuencia un múltiplo  $T = n.T_1$ ,

versión	P	C
F	0.0975	0.4931
M	0.4730	0.4598
F+M	0.2420	0.4396

Tabla 5.10: p-valores del test de Wilcoxon, Mann y Whitney para comparar los puntajes de mujeres y hombres para nada uno de los grupos en cada una de las modalidades del test FvM.

el cociente  $\frac{\sum_i V(T_i)}{V(T)}$  valdría  $\frac{1}{n}$  y el  $\alpha$  de Cronbach valdría 1). La fórmula anterior surge de escribir las covarianzas de los distintos ítems del test y de la propiedad subyacente que cada uno intenta medir en función de las varianzas de cada uno de los ítems y la varianza total del test. Se tiene que el  $\alpha$  de Cronbach para la versión F del test es 0,8564, el  $\alpha$  de Cronbach para la versión M del test es 0,9267 y el  $\alpha$  de Cronbach para la suma de ambos puntajes del test es 0,9307.

### 5.3. Diferencias entre sexos

Dado que las muestras de pacientes y de control no tienen la misma cantidad de hombres que de mujeres, es necesario hacer un test para verificar que no hay diferencias estadísticas significativas entre los puntajes de las mujeres de los de los hombres. A tales efectos se hizo para cada modalidad de la prueba (función, manipulación y la suma de ambas) y para cada grupo (control y pacientes) un test de Wilcoxon, Mann y Whitney para comparar los puntajes de mujeres y hombres. En ninguno de los casos el test da significativo. La tabla 5.10 muestra los percentiles en cada caso.

### 5.4. Conclusiones del capítulo

Se ha propuesto un test de categorización semántica, basado en el test de Pirámides y Palmeras, referido a la dualidad entre función y acción mediante la modalidad visual. Se han establecido valores de referencia basados en el estudio de una muestra de control. Se han comparado esos valores con los que surgen del estudio de una población, como la de los pacientes de la Enfermedad de Parkinson, que presentan un compromiso motor y se ha observado que la puntuación de este grupo es significativamente más baja que la de la población de control, de la misma forma que el tiempo insumido en la realización de las pruebas del grupo de pacientes es mayor que la del grupo de control. Estos resultados sugieren que el test presentado podría ser incorporado satisfactoriamente en una

batería de tests cognitivos orientados a diferentes patologías.



# Capítulo 6

## Un algoritmo matemático para los tests de ternas

### 6.1. Introducción

Presentamos a continuación un algoritmo matemático para resolver los test de tríadas. En este contexto, cada objeto estará representado por un vector de ceros y unos, en el que los unos representan la presencia de ciertas propiedades y los ceros representan la ausencia de otras. En el contexto de los test de Pirámides y Palmeras, Kissing and Dancing Test, Test de Función (Object Function Matching Test) y Test de Manipulación (Object Manipulation Test) la colección total de objetos consiste en 134 vectores de 210 componentes. El análisis de esta representación se hará en la sección siguiente.

Por el momento pensemos que tenemos tres objetos: un objeto de referencia representado por el vector  $x$  y dos objetos ( $y$  y  $z$ ) de entre los cuales se debe elegir el que esté semánticamente más próximo a  $x$ .

La “proximidad” entre un objeto y otro se mide mediante una distancia cuadrática entre los vectores de representación de los objetos:

$$d^2(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i (x_i - y_i)^2. \quad (6.1)$$

Los coeficientes  $a_i$  representan pesos que indican cuáles son las propiedades más importantes a tener en cuenta en la representación elegida. El algoritmo propuesto es equivalente a una red neural monocapa. En la misma se calculan los valores

$$l_1 = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^n a_i (x_i - y_i)^2)}. \quad (6.2)$$

y

$$l_2 = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^n a_i (x_i - z_i)^2)}. \quad (6.3)$$

y se elige el vector  $y$  como más próximo a  $x$  en el caso en que  $l_1 < l_2$ , mientras que se considerará que el vector más próximo es  $z$  cuando  $l_2 < l_1$ .

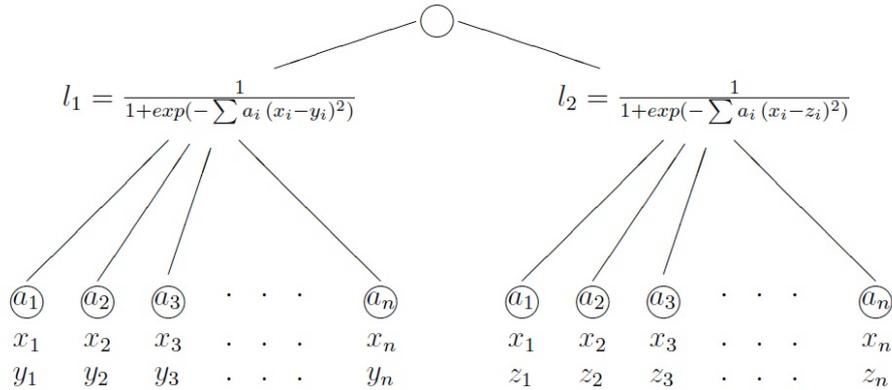


Figura 6.1: El algoritmo matemático propuesto para resolver tests de tríadas. Los pesos  $a_i$  definen la distancia entre dos vectores.

Esta red puede ser entrenada por un mecanismo de retropropagación en el que los pesos  $a_i$  se van modificando a los efectos de obtener la mayor cantidad de respuestas correctas en un test de tríadas determinado.

Con la notación

$$h_1 = \sum_{i=1}^n a_i (x_i - y_i)^2 \quad (6.4)$$

$$h_2 = \sum_{i=1}^n a_i (x_i - z_i)^2 \quad (6.5)$$

$$\Delta_1^2 = \frac{1}{1 + e^{-h_1}} - d_1 \quad (6.6)$$

$$\Delta_2^2 = \frac{1}{1 + e^{-h_2}} - d_2 \quad (6.7)$$

$$\Delta^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 \quad (6.8)$$

donde  $(d_1, d_2)$  es la respuesta correcta en el caso de la comparación de los vectores  $y$  y  $z$  con el vector de referencia  $x$ , es decir:  $(d_1, d_2) = (0, 1)$  si  $y$  está semánticamente más cerca de  $x$  que  $z$  y  $(d_1, d_2) = (1, 0)$  si  $z$  está semánticamente más cerca de  $x$  que  $y$ , tenemos que:

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial a_j} = 2\Delta_1(x_j - y_j) \frac{1}{1 + e^{-h_1}} + 2\Delta_2(x_j - z_j) \frac{1}{1 + e^{-h_2}}. \quad (6.9)$$

A partir de esta fórmula planteamos el algoritmo de aprendizaje.

Para evaluar el algoritmo precedente presentamos a continuación un proceso evolutivo virtual propuesto por el biólogo Joseph Camin.

## 6.2. Ejemplo: Los Caminálculos

Los Caminálculos son organismos imaginarios creados por el biólogo Joseph Camin de la Universidad de Kansas en la década de los 60. Camin creó sus organismos dentro del contexto de una filogenia, obteniéndolos a partir de graduales modificaciones morfológicas, según principios de consenso de la biología evolutiva. Hay 29 especies recientes y 48 especies fósiles de Caminálculos de las que se muestran 7 en la siguiente figura. La intención de Camin fue usar sus criaturas y la correspondiente filogenia para someter a prueba ciertos métodos de análisis como los fenéticos o los cladísticos.

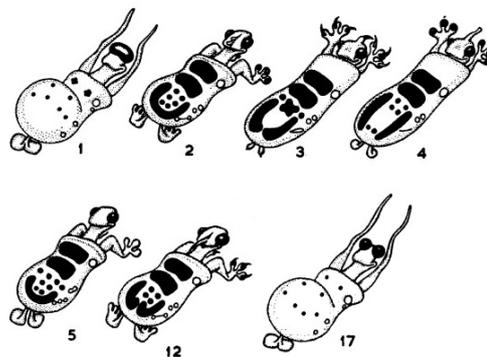


Figura 6.2: Algunas especies de Caminálculos.

En la figura 6.3 se muestra un extracto de la tabla de propiedades de los Caminálculos, en la que los individuos se indican en la primera fila y las propiedades (26 de las 105 definidas por el autor) se indican en la primera columna. El 1 significa que la propiedad en cuestión está presente en la especie, el 0 significa que está ausente y la X que no se sabe si la especie presenta la propiedad. Camin concibió en su colección varias especies fósiles.

A partir de los ejemplares descritos en la figura 6.2 se definieron 14 ternas de Caminálculos a las que se aplicó el algoritmo de comparación de triadas definido en esta sección. En este caso cada individuo estaba representado por un vector de dimensión 25 que representa las primeras 25 propiedades que aparecen en la tabla precedente. El programa resolvió en fracciones de segundo 12 de las 14 ternas presentadas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

TABLE 1. Data matrix of 77 Recent and fossil Caminalcules.\*

	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-77
1	11111	11111	11111	11111	11110	11111	11111	11101	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11
2	11111	01110	01111	11111	0111X	11111	11111	111X1	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11
3	XXXXX	1X0X0	0XXXX	XXXXX	1XXXX	XXXXX	XX									
4	00110	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00010	00000	00001	00
5	XX10X	XXXXX	XX													
6	10000	12200	00220	10011	00004	10310	10000	00050	00000	00001	00000	01002	00001	00010	21000	00
7	X1111	10111	11112	X1122	11110	2X121	21111	11101	11111	1X112	11111	11111	12111	111X1	02111	11
8	XXXXX	XXXXX	XXXX1	XXX01	XXXXX	0X0X0	0XXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	X0XXX	XXXXX	X0XXX	XX
9	00000	01000	00000	00000	00001	00000	00000	00010	00000	00000	00000	00000	00000	00000	10000	00
10	11111	10111	11010	11111	11110	11011	11111	11101	11111	11111	11111	11101	10111	11111	00111	11
11	20000	0X000	00X0X	30000	0000X	01X00	00000	000X0	00000	01000	00000	000X0	0X000	00010	XX000	00
12	00000	00000	00000	00011	00000	10010	10000	01100	00000	00101	00000	00000	00000	00001	01000	00
13	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXX5	XXXXX	5X3X3	5XXXX	X01XX	XXXXX	XX3X3	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	X4XXX	XX
14	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	1X0X0	2XXXX	X00XX	XXXXX	XX0X0	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	X0XXX	XX
15	12001	10000	02000	01011	01001	10011	10010	10110	11000	00101	10201	01000	10000	11011	01000	00
16	X1XXX	XXXXX	X0XXX	XXXXX	X0XXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XX						
17	01000	00000	01000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00
18	11111	10111	11110	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11
19	54444	4X034	4400X	56378	53350	75063	71334	21202	32322	35415	20412	23000	20434	44553	06013	32
20	01001	0X000	0100X	00000	01000	00000	00000	00000	10000	00000	00100	00000	00000	10000	00000	00
21	01111	0X000	0100X	00100	01100	00001	00001	10000	10100	10010	00101	11000	00011	11000	00001	10
22	1XXXX	1X221	1X22X	21X22	0XX12	2222X	2213X	X2222	X3X33	X22X2	32X2X	XX222	321XX	XX122	2222X	X3
23	X1111	XXXXX	X1XXX	XX1XX	X01XX	XXXXX	XXXX1	0XXXX	1X1XX	1X0X0	XX1X0	10XXX	XXXX1	10XXX	XXXX1	1X
24	X0100	XXXXX	X1XXX	XX0XX	X0XXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	0XXXX	0XXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XX
25	X1010	XXXXX	X0XXX	XX0XX	X0XXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	0XXXX	0XXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XX
26	0XXXX	0X000	0X00X	00X11	0XX00	1001X	1000X	X0100	X0X00	X01X1	00X0X	XX000	000XX	XX001	0100X	X0

Figura 6.3: Algunas de las propiedades de los Caminálculos. Los individuos se indican en la primera fila y las propiedades (26 de las 105 definidas por el autor) se indican en la primera columna (Sokal 1983).

En la tabla 6.1 se muestra el resultado de aplicar el algoritmo de comparación a 14 ternas de Caminálculos. El algoritmo resuelve correctamente 12 de las 14 ternas. En la figura 6.4 se presenta parte de una posible filogenia presentada por Sokal a partir de 104 propiedades (Sokal 1983) en la que se ve que los ejemplares 3 y 4 están en un pequeño cluster, al igual que los ejemplares 12 y 2, el ejemplar 5 no está lejos de ellos, mientras que los ejemplares 1 y 17 están en un cluster más lejano correspondiente a otro género de la clasificación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	2	2	4	1	4	1	2	4	3	4	3	2	12
3	12	12	3	17	3	17	12	2	2	2	2	3	4
1	4	3	2	4	5	5	5	1	1	17	17	17	1
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	✓

Tabla 6.1: Resultado de aplicar el algoritmo de comparación a 14 ternas de Caminálculos. Este es sólo un ejemplo de una ronda de entrenamiento del algoritmo presentado. En la primera fila se indica el número de terna. En las filas 2, 3 y 4 de cada columna se indican las especies que forman la terna (en la 2 la especie de referencia y en la 3 la especie más cercana de las dos que se presentan; que es la respuesta correcta). Finalmente, en la fila 4 se indica con un tick o una cruz si el algoritmo resolvió la terna correctamente o no.

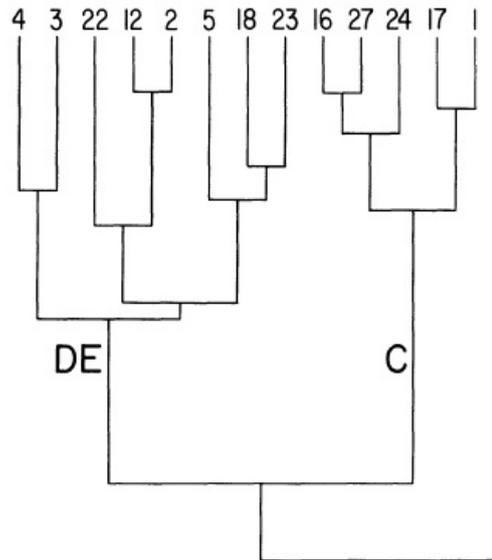


Figura 6.4: Fragmento de una posible filogenia de los Caminálculos (Sokal 1983). En ella se distinguen claramente dos grupos DE y C. En el caso de nuestros especímenes, el aspecto morfológico en la figura 6.2 parece sugerir que 2, 3, 4, 5 y 12 pertenecen a un grupo y 1 y 17 pertenecen a otro.

test	$m_1$	$m_2$	n. ternas
PPT	8.33	17.48	18
KDT	5.77	11.95	12
OFMT	6.16	11.96	12
OFT	5.80	11.97	12

Tabla 6.2: Promedios de respuestas correctas con pesos aleatorios antes ( $m_1$ ) y luego del entrenamiento ( $m_2$ ) para los cuatro tests: PPT (Test de Pirámides y Palmeras), KDT (Kissing and Dancing Test), OFMT (Object Function Matching Test), OMT (Object Manipulation Test).

### 6.3. Aplicación del algoritmo a los test de tríadas

Volviendo a nuestro problema, vamos a aplicar el algoritmo propuesto para los tests de tríadas mencionados en el capítulo 4. Para los cuatro tests mencionados se realizaron simulaciones de 100 replicaciones en cada una de las cuales se calcularon, en primer lugar, los valores  $l_1$  y  $l_2$  definidos en la sección 6.1, con pesos aleatorios uniformes entre -0,5 y 0,5 y a continuación se entrenó la red con el algoritmo descrito arriba. La tabla 6.2 muestra los promedios de respuestas correctas con pesos aleatorios antes ( $m_1$ ) y luego del entrenamiento ( $m_2$ ).

En el caso particular de las pruebas más localizadas, el test de función (OFMT) y el test de manipulación de objetos (OMT), se tiene que el vector de pesos en el que todas las componentes son cero, excepto las de función (entre la 104 y la 149) a las que asignamos el valor 1, resuelve correctamente sin necesidad de entrenamiento el test de función (OFMT), mientras que el vector de pesos en el que todas las componentes son cero, excepto las relacionadas con la manipulación (entre la 155 y la 192) a las que asignamos el valor 1, resuelve correctamente sin necesidad de entrenamiento el test de manipulación de objetos (OMT).

La tabla 6.3 muestra 18 ternas 11 de las cuales fueron escogidas del test de Pirámides y Palmeras y 7 de las cuales fueron agregadas respetando el espíritu de dicha prueba.

1	Lentes	<i>Ojo</i>	Oreja	✓
2	Manos	<i>Guantes</i>	Pantunflas	✓
3	Almohada	<i>Cama</i>	Silla	✓
4	Esquimal	<i>Iglú</i>	Edificio	✓
5	Pirámide	<i>Palmera</i>	Pino	✓
6	Monja	<i>Iglesia</i>	Torre	✓
7	Anillo	<i>Dedo índice</i>	Pulgar	✓
8	Soldado	<i>Iglesia</i>	<i>Torre</i>	✓
9	Lana	<i>Perro</i>	<i>Oveja</i>	✓
10	Murcielago	<i>Búho</i>	Pájaro carpintero	✓
11	Taladro	<i>Tornillo</i>	Clavo	✓
12	Anillo	<i>Brazalete</i>	Tenedor	✓
13	Tenedor	<i>Cuchara</i>	Martillo	✓
14	Pantalones	<i>Chaleco</i>	Cepillo	✓
15	Martillo	<i>Pinzas</i>	Tenedor	✓
16	Omnibus	<i>Tren</i>	Barco	✓
17	Capa impermeable	<i>Botas de lluvia</i>	Collar	✓
18	Capa impermeable	<i>Paraguas</i>	Pantunflas	✓

Tabla 6.3: Algunas ternas seleccionadas del Test de Pirámides y Palmeras. Las ternas 7 y 11 no pertenecen al test y fueron concebidas con el mismo espíritu.

La tabla 6.4 muestra 12 ternas 7 de las cuales fueron escogidas del Kissing and Dancing Test y 5 de las cuales fueron agregadas respetando el espíritu de dicha prueba.

1	Enseñar	<i>Aprender</i>	Comer	✓
2	Barrer el piso	<i>tirar la basura</i>	Tocar el piano	✓
3	Lavarse la cara	<i>Lavarse los dientes</i>	Usar zapatos	✓
4	Correr	Cantar	<i>Caminar</i>	✓
5	Escribir	Salvar	<i>Borrar</i>	✓
6	Escalar	Llorar	<i>Resbalar</i>	✓
7	Cantar	Escalar	<i>Bailar</i>	✓
8	Dibujar	<i>Escribir</i>	Cantar	✓
9	Pintar	<i>Esculpir</i>	Nadar	✓
10	Nadar	<i>Correr</i>	Cantar	✓
11	Quebrar	<i>Rasgar</i>	Tocar el piano	✓
12	Lavar	<i>Planchar</i>	Comer	✓

Tabla 6.4: 12 ternas seleccionadas del Kissing and Dancing Test. Las ternas 5 y 7 no pertenecen al test y fueron concebidas con el mismo espíritu.

La tabla 6.5 muestra 12 ternas escogidas del Objetc Function Matching Test. La tabla 6.6 muestra 12 ternas escogidas del Objetc Manipulation Test

## 6.4. Test de tríadas a partir de imágenes

Como una extensión al algoritmo anterior, se realizó para algunas tríadas en particular el test a partir de imágenes. Se tomaron ocho tríadas del test y, para cada uno de los conceptos involucrados se descargaron diez fotografías que lo representen (se buscaron fotografías no sujetas a derechos de autor en las que el ángulo en que el objeto estaba representado no fuera siempre el mismo). Dichas imágenes se pasaron por una red que es la versión modificada de la red *Inception*. La red *Inception* es una red profunda de neuronas, con varias versiones cuyo número de capas es de una veintena, de tipo convolucional especializada en el procesamiento de imágenes (Szegedy 2016). El número de parámetros de este tipo de redes es de aproximadamente 5 millones, sensiblemente menor que el de sus predecesoras en computación visual y clasificación de imágenes. Su arquitectura se basa en el conocimiento del córtex visual inspirado por los trabajos de Wiesel y Hubel (Hubel y Wiesel, 1959) que pusieron de relieve el carácter local de los campos receptivos de las neuronas del córtex visual (dependiendo de su ubicación) y su especialización en la detección de patrones. Esto inspiró a los investigadores en computación visual a principios del siglo XXI a diseñar redes más eficientes, no tan densamente conectadas como las que se venían usando, lo que permitió el

1	Brazalete	<i>Collar</i>	Sobre	✓
2	Pizarron	Torre	<i>Cartel de PARE</i>	✓
3	Cámara	Taladro	<i>Cámara de video</i>	✓
4	Carpa	<i>Edificio</i>	Estatua	✓
5	Lentes	<i>Lupa</i>	Flash de fotografía	✓
6	Ventilador	<i>Aire acondicionado</i>	Horno microondas	✓
7	Castillo	Edificio	<i>Torre</i>	✓
8	Tren	<i>Omnibus</i>	Pared	✓
9	Paraguas	<i>Capa impermeable</i>	Cinturón	✓
10	Cuchillo	<i>Tijeras</i>	Látigo	✓
11	Calefacción	<i>Aire acondicionado</i>	Cartel de PARE	✓
12	Hacha	Llave inglesa	<i>Sierra</i>	✓

Tabla 6.5: 12 ternas seleccionadas del Object Function Matching Test.

1	Brazalete	<i>Reloj</i>	Bowl	✓
2	Sobre	<i>Billetera</i>	Goma de borrar	✓
3	Martillo	<i>Hacha</i>	Llave inglesa	✓
4	Pinzas	<i>Forceps</i>	Tenedor	✓
5	Tijeras	<i>Pinzas</i>	Cuchillo	✓
6	Llave inglesa	Cuchara	<i>Llave de paso</i>	✓
7	Álbum	Sobre	<i>Calendario</i>	✓
8	Reel de pesca	<i>Látigo</i>	Tenedor	✓
9	Bufanda	<i>Collar</i>	Cámara	✓
10	Cepillo	<i>Goma de borrar</i>	Bowl	✓
11	Engrapadora	<i>Pinzas</i>	Goma de borrar	✓
12	Piano	<i>Máquina de escribir</i>	Lapicera	✓

Tabla 6.6: 12 ternas seleccionadas del Object Manipulation Matching Test.

diseño de redes más anchas y profundas con una reducción significativa del número de parámetros.

Para hacer este experimento se partió de diez imágenes de cada uno de los objetos involucrados. Para cada uno de los 24 tipos de objeto se entrenó la red modificando la última capa para que cada categoría estuviera representada por el vector de ceros y unos que representaba al objeto correspondiente en la sección anterior (un vector de longitud 244). Luego se pasó individualmente cada una de las 240 imágenes por la red, previamente entrenada por las otras 239 imágenes, obteniéndose así un vector de longitud 244 cuyas componentes están en el intervalo  $[0, 1]$  (ninguna de las componentes de ninguno de los 240 vectores vale 0 ni 1).

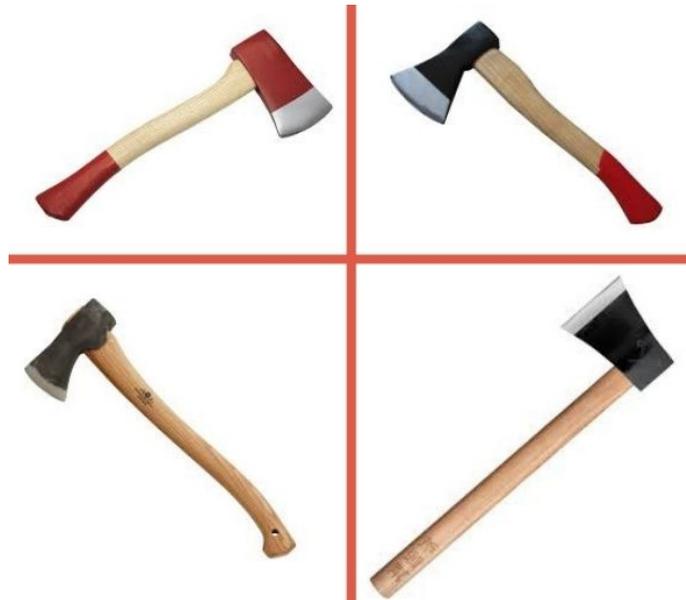


Figura 6.5: Algunas de las imágenes usadas para representar el concepto *Hacha*.



Figura 6.6: Algunas de las imágenes usadas para representar el concepto *Martillo*.



Figura 6.7: Algunas de las imágenes usadas para representar el concepto *Serrucho*.

Los vectores así obtenidos son comparados usando los pesos obtenidos luego del entrenamiento de la red de ternas descrita en la sección anterior (la red fue entrenada con los vectores de ceros y unos descritos en la sección anterior que dan lugar a un conjunto de pesos de ponderación para cada una de las distintas 244 propiedades definidas). Cada una de las ternas admite entonces 1000 comparaciones: por ejemplo cada una de las diez imágenes de hachas se comparan con cada una de las diez imágenes de martillo y cada una de las diez imágenes de serrucho.

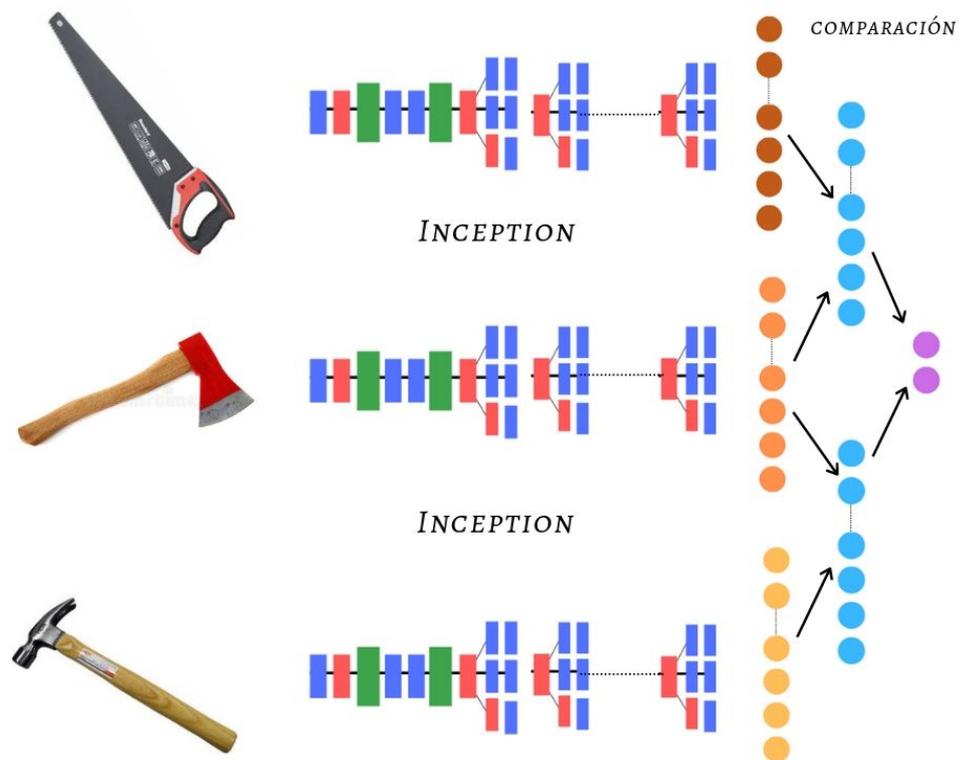


Figura 6.8: Las imágenes pasan primero por la red *Inception* y luego son comparadas usando los pesos obtenidos en el entrenamiento de la red de ternas. Las redes están desproporcionadas en la representación: la red *Inception* es enorme comparada con la pequeña red de ternas. Han sido dibujadas con esos tamaños para favorecer la representación.

La Tabla 6.7 muestra el porcentaje de respuestas correctas en cada terna, en que la red de comparación fue entrenada para la opción *Función*:

1	Máquina de escribir	<i>Lapicera</i>	Piano	100 %
2	Hacha	<i>Serrucho</i>	Martillo	100 %
3	Tijeras	<i>Cuchillo</i>	Pinzas	87 % (*)
4	Timbre de mesa	<i>Campana</i>	Engrapadora	95 %
5	Granada	<i>Rifle</i>	Pelota de baseball	100 %
6	Pinza para papeles	<i>Clip</i>	Palillo de ropa	100 % (*)
7	Exprimidor	<i>Exprimidor tipo prensa</i>	Ruleta	98 %
8	Batidora manual	<i>Batidora elctrica</i>	Tenedor	86 % (*)

Tabla 6.7: Porcentaje de respuestas correctas en cada una de las terna. Estos porcentajes se hicieron sobre un total de 1000 comparaciones, salvo en los casos indicados por (\*) en los que, debido a errores en la identificación de las imágenes (posiblemente debido a su calidad) se tomaron 7 imágenes por cada concepto lo que genera 343 comparaciones.

Más allá de que el problema de clasificación de imágenes no está directamente relacionado con este trabajo de tesis o con las cuestiones que aquí se plantean, el ejemplo es válido en el sentido que representa todo el proceso que se inicia desde la percepción visual hasta la comparación. Tal como se menciona arriba, la red de clasificación está inspirada en parte del conocimiento adquirido por los científicos sobre el córtex visual; la parte final del algoritmo no pretende reflejar con precisión el proceso neural, sino que se postula como un mecanismo sencillo que emula una realidad compleja.

## 6.5. Conclusiones del capítulo

Los algoritmos matemáticos, en particular los neuralmente inspirados pueden ser de utilidad para entender los aspectos esenciales de determinados procesos cognitivos. La representación de la información basada en las propiedades de los objetos, la ponderación de las distintas propiedades según el contexto del problema que se quiera resolver son elementos importantes que ayudan a la resolución de un problema cognitivo. Para problemas de emparejamiento o de clasificación (como los planteados en el contexto de esta tesis) la representación y el cálculo de distancias ponderadas (independientemente del método de ponderación) son parte de una solución satisfactoria que emula los procesos cognitivos en cuestión (como los ejemplos presentados en la sección 6.3). Por otra parte la complementación entre un algoritmo de identificación de imágenes con un algoritmo de emparejamientos como el presentado al principio de este capítulo resuelve satisfactoriamente (como se ve en el ejemplo de la sección 6.4) la realización del test FvM a partir de distintas combinaciones

de fotografías.

# Capítulo 7

## La estructura de los datos y la representación de las propiedades

La representación de la información es un punto fundamental de las teorías cognitivas mencionadas, un punto esencial del problema sobre el que volveremos al final de este capítulo. Pero vale la pena hacer un alto para hablar de las descripciones hechas en los ejemplos de simulación que se han implementado. Los programas matemáticos para la red de ternas se han basado en primer lugar en un conjunto de propiedades definidas por el autor de esta tesis. Más precisamente, se usó un conjunto de 210 propiedades para los objetos de los test de tríadas utilizados frecuentemente: el test de Pirámides y Palmeras, Kissing and Dancing Test, Test de Función (Object Function Matching Test) y Test de Manipulación (Object Manipulation Test). Las propiedades para definir los vectores para la realización de estos tests se muestran en el Apéndice A. Para el nuevo test FvM propuesto se definió de la misma forma un conjunto de 244 propiedades. Las propiedades para este test se muestran en el Apéndice B.

Una forma de mostrar la coherencia y la validez de esta representación es usar la misma para la resolución de un problema de clasificación. Se parte entonces, en el conjunto de conceptos que se utiliza con los primeros cuatro tests de tríadas de seis categorías: animales, herramientas, partes del cuerpo, vestimenta, vehículos y construcciones. Los conceptos en cuestión se detallan en la Tabla 7.1.

A partir de los vectores correspondientes a estos conceptos podemos generar un dendrograma o árbol jerárquico de los mismos. Dicho gráfico se muestra en la figura 7.1.

<i>Animales</i>	<i>Vehículos</i>	<i>Partes del cuerpo</i>
Perro	Avión	Oreja
Ratón	Tren	Ojo
Oveja	Barco	Manos
Búho	Omnibus	Dedo mayor
Murciélago	Paracaídas	Pulgar
		Dedo anular
<i>Herramientas</i>	<i>Construcciones</i>	<i>Vestimenta</i>
Hacha	Castillo	Cinto
Martillo	Iglesia	Pantalones
SERRUCHO	Casa	Impermeable
Llave inglesa	Torre	Chaleco
Pinzas	Pirámide	Botas de lluvia
Engrapadora	Pared	Bufanda
Tijeras	Cúpula	Pantufas
Fórceps	Iglú	
Taladro	Carpa	

Tabla 7.1: Seis categorías de conceptos

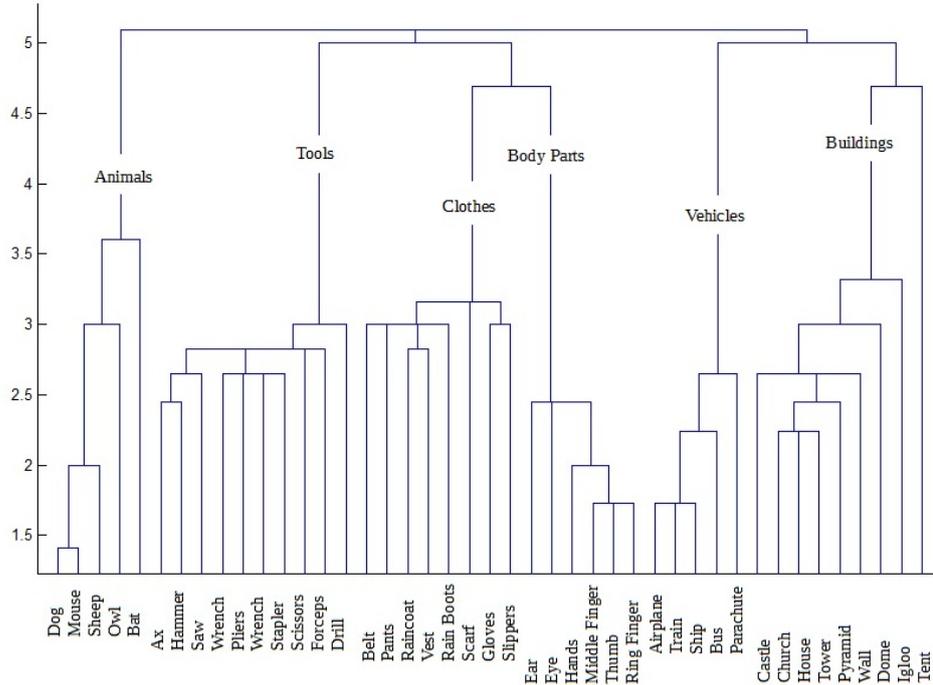


Figura 7.1: Dendrograma para el conjunto de conceptos mencionado arriba. La altura de cada bucle en forma de  $\sqcap$  que conecta dos conceptos es igual a la distancia entre los mismos.

Nótese la cercanía entre las categorías *Partes del Cuerpo* y *Vestimenta* (la vestimenta está naturalmente referida a partes del cuerpo).

Otra posibilidad de clasificación la ofrecen los mapas de Kohonen, descritos en el capítulo 3. Para el mismo conjunto de objetos, si pintamos de un color diferente los objetos de cada categoría para su representación y entrenamos un mapa de Kohonen tomando:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{-t/\lambda},$$

$$\epsilon(t) = e^{-t/\lambda},$$

donde  $\sigma_0 = 20/2 = 10$ ,  $\lambda_0 = T/\log(\sigma_0)$  y  $T$  es el número de ejemplos que se presentan en cada simulación; obtenemos la siguiente figura,

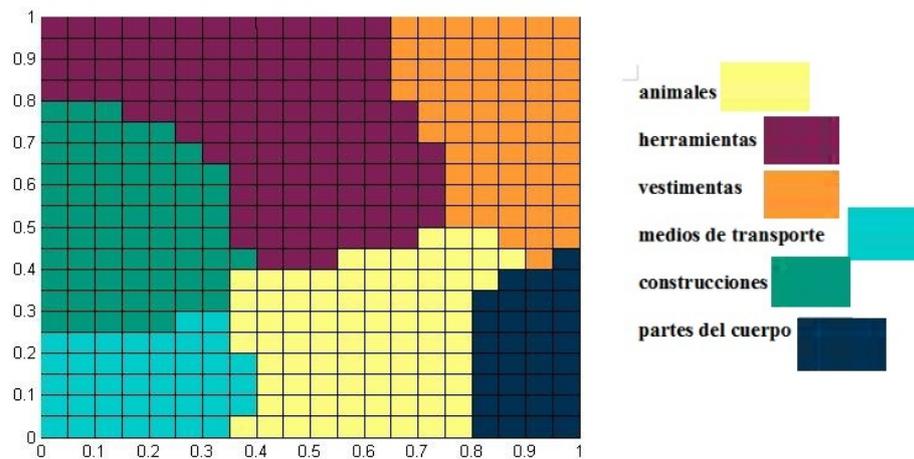


Figura 7.2: Una realización de un mapa de Kohonen para los conceptos mencionados en la tabla anterior. Cada categoría está definida por un color. Nótese aquí también la contigüidad entre *Partes del Cuerpo* y *Herramientas* y entre *Partes del Cuerpo* y *Vestimenta*.

## 7.1. Conclusiones del capítulo

La representación vectorial de objetos y conceptos (que se puede relacionar naturalmente al procesamiento neural de la información) permite diversos tratamientos matemáticos. En este capítulo se presentan dos de ellos: los dendrogramas y los mapas de Kohonen. Ambos permiten hacer una clasificación coherente y fácilmente generalizable a contextos más ricos de conceptos. Hay otras tantas posibilidades de representar la información; una de ellas es la que se basa en los conceptos asignados por un grupo de participantes en una prueba de asociación de palabras. Las posibles formas de hacerlo y de procesar la información para extraer conclusiones se describen en el siguiente capítulo.

# Capítulo 8

## Grafos semánticos y tests cognitivos

### 8.1. Introducción

La producción de lenguaje (y el lenguaje en sí) es una de las actividades más características del intelecto humano y brinda información que podría arrojar luz sobre ciertos aspectos del funcionamiento del cerebro, al menos al nivel de asociación. En particular, los tests de asociación de palabras proporcionan una rica información sobre la estructura del lenguaje, su uso y forma de pensarlo, y las alteraciones que pueden presentarse en caso de ciertas formas de deterioro cognitivo.

### 8.2. Realización del test FvM usando grafos semánticos

#### 8.2.1. Participantes

Se realizó un primer experimento de asociación de palabras. Los participantes son estudiantes de distintos Centros de Formación Docente y estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Con un promedio de edades de 22,94 años y un desvío estándar de 5,75 años. De la población total de 84 estudiantes 39 son mujeres con un promedio de edades de 24,38 años y un desvío estándar de 7,07 años y 45 son hombres con un promedio de edades de 21,69 años y un desvío estándar de 3,95 años. La participación de todos ellos fue voluntaria y los objetivos del estudio les fueron explicados en forma previa a la realización del test.

Auto	31	Basura	36	Cortar	44	Ropa	53
Mar	31	Deporte	36	Piso	44	Madera	56
Mano	32	Viento	36	Tiempo	44	Fuerza	58
Barco	33	Hora	40	Jugo	45	Trabajo	64
Escribir	33	Metal	40	Juego	49	Sonido	74
Papel	33	Cocina	41	Dinero	51	Ruido	82
Cumpleaños	35	Comida	41	Aire	52	Hoja	87
Jabón	35	Limpieza	42	Fiesta	52	Música	104
Limpiar	35	Herramienta	43	Pelo	53	Agua	127

Tabla 8.1: Las palabras más repetidas en el primer experimento de asociación de palabras.

### 8.2.2. Procedimiento

A cada participante se le mostró una serie de imágenes (21 en promedio) creadas ad hoc para el test de ternas FvM, se le pidió que escribiera el nombre del objeto en cuestión y que escribiera algunas palabras (entre una y cinco) que le parecieran naturalmente asociadas a cada objeto. A partir de sus respuestas se generó un corpus de oraciones, en donde cada oración consiste del conjunto de palabras que un participante en particular asoció a un objeto en particular a las que se agrega el nombre del objeto.

### 8.2.3. Procesamiento de datos

Del procedimiento anterior surge una tabla de seis columnas (alguna de las cuales puede estar en blanco) y 1578 filas cada una de ellas correspondiente a uno de los 86 objetos de la lista. Luego de aplicar algunos filtros (se corrigieron faltas de ortografía, salvo excepciones se pasaron a singular las palabras que aparecen en singular y en plural, etc.) se obtiene una tabla en la que figuran 8.803 palabras, correspondientes a un diccionario de 1778 palabras distintas, con un promedio de repeticiones de 4,85 y un máximo de repeticiones de 127.

La tabla 8.1 muestra una lista de las palabras más repetidas:

A partir de la tabla en cuestión se puede definir un grafo semántico en el que los nodos son las distintas palabras del diccionario y cada arista entre dos nodos tiene un peso igual a la cantidad de veces que esas dos

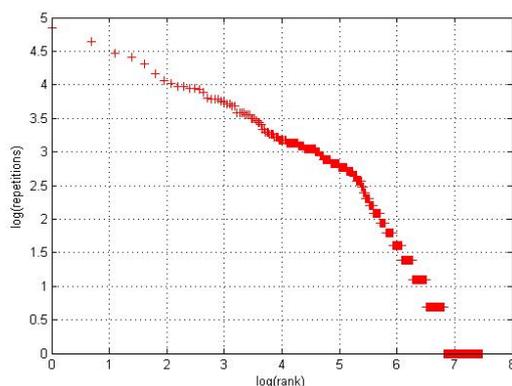


Figura 8.1: Gráfico del logaritmo del número de repeticiones de cada palabra en función del logaritmo del rango. Si se cumpliera una ley de potencia, debería ser posible aproximar la nube de puntos representados por una recta. Este gráfico no parece sugerir eso.

palabras han sido relacionadas (pudiendo ser cero). También se puede definir un grafo no pesado en el que entre dos nodos hay una arista sólo si las palabras correspondientes forman parte de al menos una oración de la tabla de asociación. En este caso, si graficamos el logaritmo de la conectividad contra el logaritmo del rango de la conectividad de cada nodo, la figura sugiere claramente una ley de potencia, como suele ocurrir en los grafos construidos de esta forma.

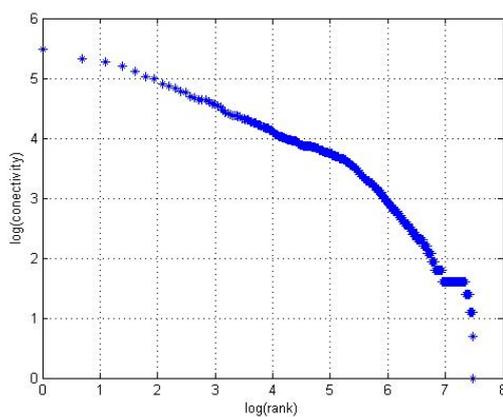


Figura 8.2: Gráfico del logaritmo de la conectividad de cada nodo en función del logaritmo del rango.

Una vez construido el grafo semántico podemos definir una distancia entre dos nodos que estén conectados, simplemente conviniendo en primer lugar que la longitud de las aristas es inversamente proporcional a la cantidad de asociaciones observadas entre los extremos (si bien, por un problema de construcción, esto no está reflejado en la figura 8.3) y buscando entonces el camino más corto entre los nodos en cuestión. Consideremos por ejemplo el grafo de la figura 8.3. Dicho grafo no responde al resultado de ningún experimento, sino que ha sido definido arbitrariamente con el propósito de explicar cómo se definen las distancias entre las palabras.

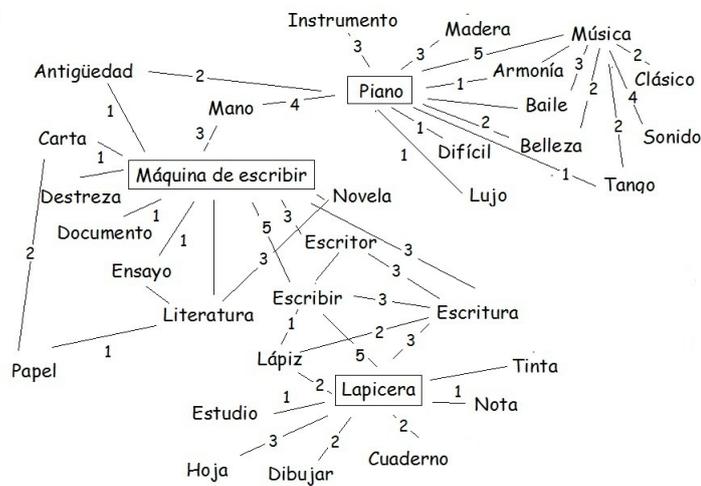


Figura 8.3: Un grafo para medir distancias .

Los pesos de las aristas están indicados. De modo que si quisiéramos calcular la distancia entre *Máquina de escribir* y *Piano* tenemos dos caminos posibles:

- *Máquina de escribir* → *Antigüedad* → *Piano*. Cuya distancia es  $1 + \frac{1}{2}$ .
- *Máquina de escribir* → *Mano* → *Piano*. Cuya distancia es  $\frac{1}{3} + \frac{1}{4}$ .

De modo que el camino más corto es el segundo y la distancia entre *Máquina de escribir* y *Piano* vale  $\frac{1}{3} + \frac{1}{4}$ .

De la misma forma, si quisiéramos calcular la distancia entre *Máquina de escribir* y *Lapicera* tenemos varios caminos posibles, algunos de los cuales son:

- *Máquina de escribir* → *Escritor* → *Escritura* → *Lapicera*. Cuya distancia es  $\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}$ .
- *Máquina de escribir* → *Escritura* → *Lapicera*. Cuya distancia es  $\frac{1}{3} + \frac{1}{3}$ .
- *Máquina de escribir* → *Escribir* → *Lápiz* → *Lapicera*. Cuya distancia es  $\frac{1}{5} + 1 + \frac{1}{2}$ .
- *Máquina de escribir* → *Escribir* → *Lápiz* → *Escritura* → *Lapicera*. Cuya distancia es  $\frac{1}{5} + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ .
- *Máquina de escribir* → *Escribir* → *Lapicera*. Cuya distancia es  $\frac{1}{5} + \frac{1}{5}$ .

Es fácil ver en este caso que el camino más corto es *Máquina de escribir* → *Escribir* → *Lapicera* y la distancia entre *Máquina de escribir* y *Lapicera* vale  $\frac{2}{5}$ .

O sea que, según estos criterios el nodo *Lapicera* está más cerca de *Máquina de escribir* que *Piano*.

De la misma forma podemos proceder usando el grafo generado por la tabla de asociación para comparar las distancias entre los distintos objetos de cada terna. El cálculo de distancias, análogo al que se hace en el ejemplo precedente se realiza mediante el algoritmo de Dijkstra. Este algoritmo determina el camino más corto entre un nodo de partida y todos los demás nodos del grafo, recalculando la distancia recorrida cada vez que llega a un nodo que ya ha sido visitado y actualizándola en caso de que el nuevo recorrido implique una distancia más corta. De esa forma, al final del algoritmo, tendremos las distancias más cortas a los nodos conectados con el nodo de partida. Procediendo de esta manera obtenemos por un lado la tabla 8.2 en que, en cada terna, el primero de los dos objetos entre los que se debe elegir está más cerca del objeto de referencia.

Por otro lado tenemos una lista de las ternas, representadas en la tabla 8.3, en las que el segundo de los objetos entre los que se debe elegir está más cerca del objeto de referencia que el primero.

1	Máquina de escribir	<i>Lapicera</i>	Piano
2	Hacha	<i>Serrucho</i>	Martillo
3	Tijera	<i>Cuchillo</i>	Pinza
4	Timbre de mesa	<i>Engrapadora</i>	Campana
5	Gato palanca	<i>Gato giratorio</i>	Tragamonedas
6	Inflador pedal	<i>Inflador mano</i>	Papelera
7	Molinillo café	<i>Gato giratorio</i>	Licuadora
8	Granada	<i>Rifle</i>	Pelota béisbol
9	Insecticida aerosol	<i>Desodorante</i>	Matamoscas
10	Secador mano	<i>Secador casco</i>	Revolver
11	Pinza papeles	<i>Clip</i>	Palillo
12	Auricular	<i>Parlante</i>	Estetoscopio

Tabla 8.2: Ternas en las que el primero de los dos objetos entre los que se debe elegir está más cerca del objeto de referencia.

13	Caña	Látigo	<i>Red de pesca</i>
14	Timón	Morsa	<i>Vela</i>
15	Llave de paso	Llave inglesa	<i>Llave de paso circular</i>
16	Acordeón	Elásticos musculación	<i>Guitarra</i>
17	Exprimidor manual	Ruleta	<i>Exprimidor prensa</i>
18	Jeringa	Decorador tortas	<i>Pastilla</i>
19	Despertador manual	Ratón a cuerda	<i>Reloj</i>
20	Clarín	Globo	<i>Guitarra</i>
21	Afeitadora manual	Limpiavidrios	<i>Afeitadora eléctrica</i>

Tabla 8.3: Ternas en las que el segundo de los dos objetos entre los que se debe elegir está más cerca del objeto de referencia.

En resumen, siguiendo este procedimiento vemos que, salvo en tres ternas (4,7 y 9) en todas las demás (18 de un total de 21) el objeto que tiene la misma función que el objeto de referencia es el que está más cerca. Esto sugiere que, en la producción de lenguaje, la funcionalidad de un objeto tiene más importancia que la forma de manipularlo.

#### 8.2.4. Una forma de verificación

Esto sugiere además que si hacemos una versión del test de tríadas en el que damos a elegir a cada participante uno de los dos objetos A o B, el participante va a elegir con una alta probabilidad el objeto relacionado por la función.

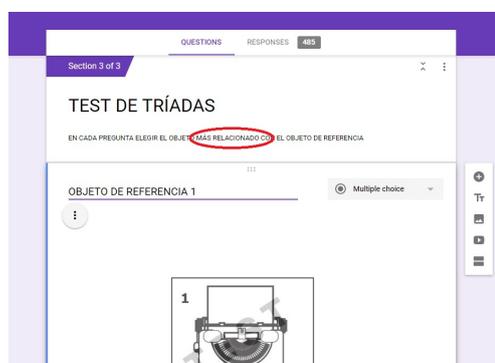


Figura 8.4: Imagen correspondiente al test FvM sin premisas que se difundió a través de internet.

### Resultados

Sobre una muestra de 50 mujeres y 50 hombres con edades entre 16 y 69 años, un promedio de edades 40,43 años y desvío estándar de las edades: 12,55 años; en todas las ternas menos en una la gente eligió la opción “función”.

Las que presentaron mayor cantidad de respuestas por la opción “manipulación” son las ternas: 3, 21, 14, 30, 18, 16 y 10.

Si estudiamos las respuestas por participante:

- El promedio de respuestas por la opción “manipulación” es 3,38.
- El desvío estándar del número de respuestas por la opción “manipulación” es 4,00.

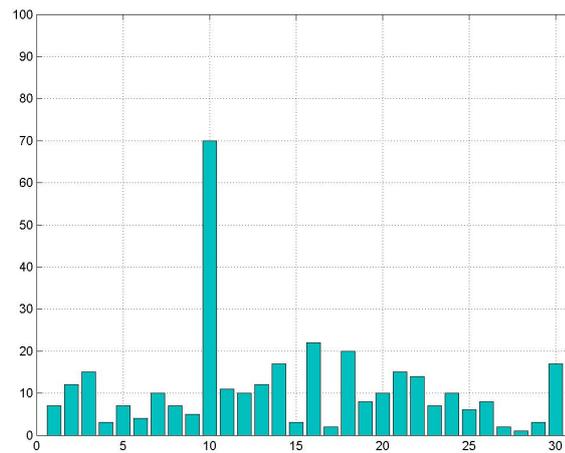


Figura 8.5: Porcentajes de respuesta de la opción “manipulación”.

- Sólo 2 personas contestaron más preguntas por la opción “manipulación” que por la opción “función”.
- 83 personas contestaron a lo sumo 5 preguntas por la opción “manipulación”.
- Sólo 6 personas contestaron más de 10 preguntas por la opción “manipulación”.

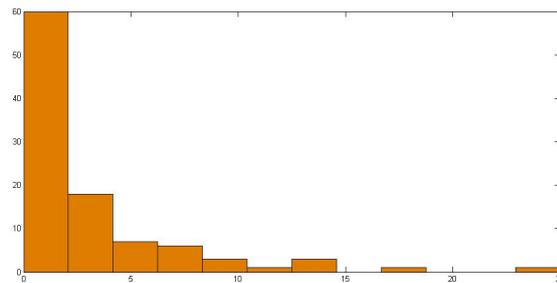


Figura 8.6: Gráfico de barras del número de respuestas por la opción “manipulación”. Se aprecia que la gran mayoría de los participantes contestaron muy pocas preguntas por dicha opción. 83 personas contestaron a lo sumo 5 preguntas por dicha opción

Sopa	23	Carta	29	Lana	35	Árbol	49
Ver	23	Comodidad	29	Noche	35	Dedo	49
Dinero	24	Mar	29	Viaje	37	Trabajo	50
Mano	24	Metal	30	Comida	38	Lluvia	52
Pelo	25	Papel	30	Dormir	39	Calor	53
Casa	26	Ruido	30	Cortar	40	Foto	54
Cuero	26	Escuela	33	Madera	40	Abrigo	59
Protección	27	Música	33	Invierno	42	Herramienta	72
Recuerdo	28	Descanso	34	Agua	49	Frío	81

Tabla 8.4: Palabras más repetidas en el segundo experimento de asociación de palabras.

## 8.3. Test PPT y similares a partir de grafos

### 8.3.1. Participantes y procedimiento

De la misma forma se realizó un segundo experimento de asociación de palabras a través de la red social Facebook usando un formulario electrónico de la aplicación Google Form. A cada participante se le presentaron 12 palabras de un conjunto de 82. Se pidió a cada participante dar tres palabras asociadas a cada una de las palabras que se le presentaron. Para cada conjunto de 12 palabras fueron elegidas 30 respuestas (de hasta 3 palabras asociadas por estímulo cada una). Luego de una depuración y corrección de la planilla correspondiente, se eliminaron las respuestas de 6 de los 210 participantes elegidos (por presentar inconsistencias sistemáticas en las respuestas) resultando una muestra de 204 personas: 113 mujeres y 91 hombres con un promedio de edades de 41,15 años. Se generó de esta forma la matriz de incidencia de un grafo semántico pesado en el que cada nodo corresponde a una palabra de un diccionario de 2210 términos y 17788 aristas, de una forma análoga a la del ejemplo anterior (con la diferencia que las oraciones ahora están compuestas por un máximo de 4 palabras: el estímulo y hasta tres palabras asociadas). Se tiene un promedio de repeticiones de 3,20 y un máximo de repeticiones de 81.

La Tabla 8.4 muestra una lista de las palabras más repetidas.

Con este grafo se pusieron a prueba un conjunto de ternas: las 18 del Test de Pirámides y Palmeras descritas en la Tabla 6.3, las 12 ternas seleccionadas del Object Function Matching Test descritas en la Tabla 6.5 y 10 de las 12 ternas (se eliminaron la 4 y la 11) seleccionadas del

Object Manipulation Test descritas en la Tabla 6.6.

Al igual que se hace en la sección anterior podemos proceder usando el grafo generado por la tabla de asociación para comparar las distancias entre los distintos objetos de cada terna. El cálculo de distancias, análogo al que se hace en el ejemplo precedente se realiza mediante el algoritmo de Dijkstra.

### 8.3.2. Resultados

El algoritmo acierta en 14 de las 18 ternas seleccionadas del Test de Pirámides y Palmeras. El algoritmo da error solamente en las ternas 7, 11, 14 y 16. En las 12 ternas seleccionadas del Object Function Matching Test el Algoritmo da la respuesta correcta. De acuerdo a lo esperado y al igual que en el caso anterior, el algoritmo no debería resolver correctamente el Object Manipulation Test, ya que como conjeturamos en el ejemplo anterior la manipulación está esencialmente ausente de la producción de lenguaje. De modo que, a diferencia de los dos casos anteriores en los que esperábamos que el algoritmo resolviera la mayor cantidad de ternas posibles (32 de 36) en el caso del test de manipulación no esperamos una respuesta mejor que el azar: de hecho el algoritmo da la respuesta correcta en 2, 8, 9, 10 y 12 y la incorrecta en las 1, 3, 5, 6 y 7 (recordemos que la 4 y la 11 fueron eliminadas). Es decir que, no teniendo los elementos necesarios para la resolución de este test (ya que los conceptos necesarios no fueron incluidos en las respuestas de los participantes) el algoritmo se comporta de forma aleatoria.

## 8.4. Grafos, Descomposición en valores singulares y un generador de tríadas

El procesamiento y los cálculos de interés en este caso se hacen sobre la matriz de adyacencia  $A$  del grafo correspondiente. En este caso particular se trata de una matriz cuadrada de tamaño  $1778^2$ . Cada columna  $i$  de esa matriz corresponde a una palabra del diccionario asociado a la base, y cada componente  $j$  de esa columna es un número que indica cuántas veces han sido asociadas las palabras  $i$  y  $j$  en el experimento. Consideremos a continuación la descomposición en valores singulares (ver sección 3.2) de  $A$ :

$$A = U \cdot D \cdot V^t.$$

Si, al igual que en el ejemplo anterior, truncamos la base de vectores singulares, digamos en 30, tendremos

$$A_{30} := U_{30} \cdot D_{30} \cdot V_{30}^t.$$

Las columnas de la matriz  $V_{30}$  forman una base  $\{v_1, v_2, \dots, v_{30}\}$  ortonormal del subespacio de dimensión 30 que resulta más relevante para la información contenida en nuestro grafo. Trabajaremos con las proyecciones de las distintas palabras de nuestro diccionario en ese subespacio para generar un conjunto de ternas.

Cada palabra, por ejemplo la palabra  $i$ -ésima, está ahora representada por un vector de dimensión 30  $X_i = (x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{30,i})^t$  cuya componente  $j$ -ésima es el producto interno de la  $i$ -ésima columna de la matriz  $A$  (correspondiente a la  $i$ -ésima palabra de nuestro vocabulario) con el  $j$ -ésimo vector singular  $v_j$ :

$$x_{j,i} = \langle A_i, v_j \rangle$$

Describimos a continuación el algoritmo usado para definir las ternas:

**Entrada:**

1.  $X$  : matriz de 30 filas y 1776 columnas.
2.  $m$  número de ternas que se quieren generar.

**Salida:**  $T$  matriz de  $m$  filas y 3 columnas conteniendo los índices de las palabras de las ternas generadas.

- 1: *for*  $i = 1 : m$
- 2:  $k = \text{rand}\{1, \dots, n\}$
- 3:  $\text{ind} = \{1, \dots, n\} \setminus \{k\}$ .
- 4: *for*  $j$  *in*  $\text{ind}$
- 5:  $p_j = \langle X_k, X_j \rangle / \|X_k\| \|X_j\|$ .
- 6:  $T(i, 1) = k$
- 7:  $T(i, 2) = \text{argmin}(p)$
- 8:  $T(i, 3) = \text{argmax}(p)$

Básicamente lo que se hace es elegir en cada instancia un número al azar (equivalente a elegir una palabra al azar, que será la primera palabra de la terna y que estará representada por el vector de tamaño 30:  $X_k$ ), hacer el producto interno de cada uno de los otros vectores con  $X_k$  y quedarnos con la palabra correspondiente al vector que tiene el producto interno más pequeño (segunda palabra de la terna) y con la palabra correspondiente al vector que tiene el producto interno más grande (tercera palabra de la terna).

En la tabla 8.5 se muestra un conjunto de 72 ternas generadas con este algoritmo.

1	Hacha	Piso	Madera
2	Engrapadora	Fiesta	Hoja
3	Juguete	Basura	Fiesta
4	Lapicera	Piso	Hoja
5	Mojado	Escribir	Agua
6	Pescado	Rastrillo	Agua
7	Tiempo	Rastrillo	Hora
8	Ruido	Gato palanca	Fiesta
9	Pescado	Rastrillo	Agua
10	Pincho papeles	Palillo	Basura
11	Cortar	Gato palanca	Madera
12	Ejercicio	Caja fuerte	Deporte
13	Vidrio	Escribir	Agua
14	Cumpleaños	Piano	Fiesta
15	Tenedor	Insecticida aerosol	Comida
16	Tragamonedas	Herramienta	Dinero
17	Insecticida aerosol	Tenedor	Mosquito
18	Pescado	Rastrillo	Agua
19	Perfume	Rueda	Agua
20	Nota	Despertador elect.	Sonido
21	Pasto	Pez	Hoja
22	Construcción	Casino	Madera
23	Naranja	Guerra	Jugo
24	Papelera	Viento	Hoja
25	Cumpleaños	Piano	Fiesta
26	Rico	Timón	Jugo
27	Apretar	Casino	Trabajo
28	Goma	Fuerte	Fiesta
29	Papelera	Viento	Hoja
30	Jardín	Pez	Hoja
31	Caña	Otoño	Agua
32	Parlante	Tina y tabla lavar	Sonido

Un análisis posible consiste en calcular las palabras (representadas como vectores) que están más cerca de cada uno de los primeros vectores singulares y ver si ello admite algún tipo de interpretación. Si tomamos las diez palabras más cercanas a cada vector, en el caso del primer vector singular no hay ninguna interpretación evidente. Pero en las siguientes sí:

- El segundo vector singular  $v_2$  se correlaciona con objetos y artículos de limpieza.
- El tercer vector singular  $v_3$  se correlaciona por un lado con objetos de oficina y por otra objetos de jardinería.

33	Rutina	Caja fuerte	Hora
34	Sonido	Limpiavidrios	Música
35	Sueño	Gato palanca	Hora
36	Guitarra	Rastrillo	Sonido
37	Número	Herramienta	Dinero
38	Lapicera	Piso	Hoja
39	Control	Tenis	Barco
40	Higiene	Juguete	Piso
41	Ruleta	Herramienta	Dinero
42	Despertador manual	Gato palanca	Hora
43	Dinero	Inflador mano	Juego
44	Madera	Dedo	Cortar
45	Licuada	Basura	Jugo
46	Licuada	Basura	Jugo
47	Calor	Tenedor	Pelo
48	Tijera	Auto	Cortar
49	Despertador	Piso	Hora
50	Insecto	Tenedor	Mosquito
51	Estudio	Lampazo	Escribir
52	Fuerte	Deporte	Dinero
53	Cotillón	Auto	Fiesta
54	Mecánico	Casino	Auto
55	Ejercicio	Caja fuerte	Deporte
56	Limpiavidrios	Escribir	Piso
57	Otoño	Caña	Sopladora jardín
58	Parlante	Tina y tabla lavar	Sonido
59	Secador casco	Basura	Pelo
60	Capitán	Raqueta	Barco
61	Pincho papeles	Palillo	Basura
62	Plata	Inflador mano	Dinero
63	Maquina flit	Tenedor	Mosquito
64	Puntualidad	Globo	Hora
65	Pincho papeles	Palillo	Basura
66	Río	Caja fuerte	Mar
67	Torta	Martillo	Comida
68	Leña	Escribir	Cortar
69	Basura	Palillo	Trabajo
70	Desodorante	Barco	Pelo
71	Dirección	Guerra	Barco
72	Trabajo	Secador mano	Otoño

Tabla 8.5: 72 ternas generadas automáticamente.

$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$
Limpiar	Papel	Azar	Verano
Lampazo	Oficina	Moneda	Limón
Mopa	Clip	Caja fuerte	Fuerza
Limpieza	Escribir	Fuerte	Licuadora
Lavar	Jardín	Ruleta	Cocina
Tina y tabla lavar	Rastrillo	Apuesta	Exprimidor manual
Piso	Sopladora jardín	Tragamonedas	Fruta
Ropa	Trabajo	Casino	Exprimidor prensa
Jabón	Otoño	Juego	Naranja
Agua	Hoja	Dinero	Jugo

Tabla 8.6: Palabras relacionadas con los vectores singulares  $v_2, v_3, v_4$  y  $v_5$ .

- El cuarto vector singular  $v_4$  se correlaciona con juegos de azar y dinero.
- El quinto vector singular  $v_5$  se correlaciona con algunos alimentos y objetos de cocina.
- El sexto vector singular  $v_6$  se correlaciona con sonido e instrumentos musicales.
- El séptimo vector singular  $v_7$  se correlaciona con fiestas y música.
- El octavo vector singular  $v_8$  se correlaciona con herramientas.
- El noveno vector singular  $v_9$  se correlaciona con distintos elementos relacionados al mar.
- Con la excepción de la palabras *Mosquito* el décimo vector singular  $v_{10}$  se correlaciona con salones de belleza.
- El décimo primer vector singular  $v_{11}$  se correlaciona con elementos de la mecánica automotriz. .
- El décimo segundo vector singular  $v_{12}$  se correlaciona, al igual que el sexto con sonido y música.

$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$
Auricular	Parlante	Metal	Pez
Guitarra	Aire	Clavo	Motor fuera borda
Madera	Herramienta	Auto	Pesca
Instrumento	Madera	Martillo	Red de pesca
Parlante	Jugo	Rueda	Navegar
Clarín	Fuerza	Fuerza	Timón
Acordeón	Globo	SERRUCHO	Viento
Piano	Cumpleaños	Cortar	Vela
Sonido	Música	Herramienta	Barco
Música	Fiesta	Madera	Mar

Tabla 8.7: Palabras relacionadas con los vectores singulares  $v_6, v_7, v_8$  y  $v_9$ .

$v_{10}$	$v_{11}$	$v_{12}$
Mosquito	Inflador mano	Baile
Aire	Mecánico	Instrumento
Cortar	Arreglo	Guitarra
Calor	Aire	Acordeón
Belleza	Mecánica	Clarín
Secador casco	Gato giratorio	Fiesta
Mujer	Levantar	Auricular
Secador mano	Gato palanca	Parlante
Peluquería	Rueda	Piano
Pelo	Auto	Sonido

Tabla 8.8: Palabras relacionadas con los vectores singulares  $v_{10}, v_{11}$  y  $v_{12}$ .

Por cierto, resulta fácil clasificar algunas de estas categorías mediante un mapa de Kohonen. Tomemos la relacionada al vector  $v_2$  (artículos e insumos de limpieza) en bordeaux, la relacionada al vector  $v_4$  (dinero y juegos de azar) en azul, la relacionada al vector  $v_6$  (sonido y música) en verde, la relacionada al vector  $v_8$  (herramientas) en naranja, la relacionada al vector  $v_9$  (conceptos relacionados con el mar) en cian y la relacionada al vector  $v_{11}$  (mecánica automotriz) en rojo. Al cabo de 500 repeticiones el mapa de Kohonen tomará un aspecto similar al de la realización que se muestra en la siguiente figura.

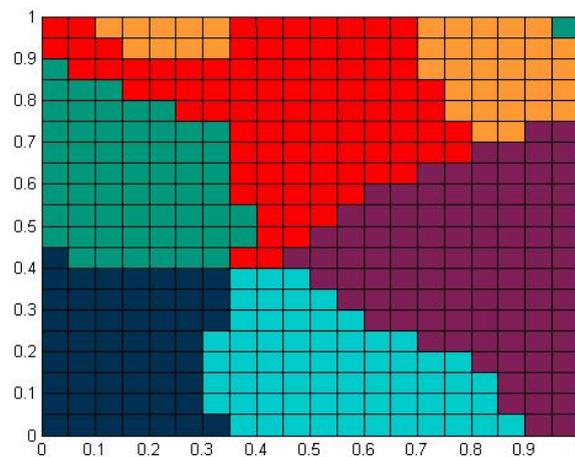


Figura 8.7: Una realización de un mapa de Kohonen con 500 repeticiones con las categorías asociadas a los vectores singulares  $v_2, v_4, v_6, v_8, v_9$  y  $v_{11}$ . La relacionada al vector  $v_2$  (artículos e insumos de limpieza) está representada en bordeaux, la relacionada al vector  $v_4$  (dinero y juegos de azar) en azul, la relacionada al vector  $v_6$  (sonido y música) en verde, la relacionada al vector  $v_8$  (herramientas) en naranja, la relacionada al vector  $v_9$  (conceptos relacionados con el mar) en cian y la relacionada al vector  $v_{11}$  (mecánica automotriz) en rojo.

## 8.5. Conclusiones del capítulo

El lenguaje brinda información muy importante sobre la organización del conocimiento semántico. La construcción de grafos semánticos como los precedentes, a partir de tests de asociación de palabras, permite simular tareas cognitivas de emparejamiento (tests de tríadas) y clasificación de una forma coherente. Los grafos construidos a partir de muestras muy

pequeñas de individuos de control sirven para realizar, mediante simples algoritmos de cálculo de distancias entre nodos, tests de emparejamiento cuyos resultados son coherentes con los correspondientes a otras muestras de individuos de control, independientes de las que se usaron para construir los grafos. Esto muestra la eficiencia de algoritmos simples basados en ideas intuitivas sobre el lenguaje en tanto que representación del pensamiento y el conocimiento.



# Capítulo 9

## Familiaridad y Mapas de Kohonen

### 9.1. Introducción

Presentamos a continuación un último ejemplo que usa los mapas de Kohonen, descritos en el capítulo 3. Se sabe que la familiaridad con un concepto es un elemento importante para la cognición semántica (Rogers et al, 2015) hecho que se pone de relieve en algunas enfermedades que afectan al sistema semántico; principalmente en la demencia semántica (Hodges, 1995). Los pacientes de demencia semántica suelen cometer errores en las pruebas de denominación nombrando al elemento más familiar de la categoría correspondiente, o simplemente nombrando animales que presentan una familiaridad mayor que otros. Muchas de las respuestas en estos casos son *perro*, *gato* y *caballo* (ver tabla 2.1) . Sin pretender explicar el verdadero proceso subyacente a este hecho, nos proponemos emular este comportamiento con un mapa de Kohonen.

Para ello modificaremos el ejemplo de la sección 1.3.4. En él habíamos aplicado un mapa de Kohonen para la colección de animales y sus propiedades tomado del artículo de Ritter y Kohonen de 1989 (tabla 3.21)

Con estos datos se entrena un mapa de  $20 \times 20$  neuronas según el algoritmo de Kohonen. En el entrenamiento del mapa tomamos una muestra i.i.d. con distribución uniforme en el intervalo  $[0,1]$  para la distribución inicial de las neuronas y los parámetros de entrenamiento:

$$\sigma(t) = 10.e^{-\log(10).t/T},$$

$$\epsilon(t) = e^{-\log(10).t/T},$$

donde  $T = 500$  es el número de replicaciones hechas. Si sólo nos importara la ubicación de los conceptos *perro*, *gato* y *caballo*, representados

en rojo, verde y azul, respectivamente (los otros animales se representan en color naranja) en este córtex simulados, una replicación posible es la siguiente:

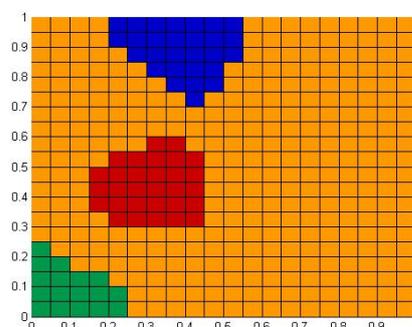


Figura 9.1: Una realización de un mapa de Kohonen con 500 replications para el conjunto de animales de la sección 1.3.4

Si quisiéramos introducir en estas simulaciones el concepto de familiaridad, una posibilidad es usar las frecuencias con las que aparecen los distintos conceptos en un idioma determinado. Teniendo en cuenta la cantidad de resultados del buscador Google para los distintos conceptos la madrugada del 26 de julio de 2019 para el idioma Inglés, tenemos frecuencias representadas por el siguiente gráfico.

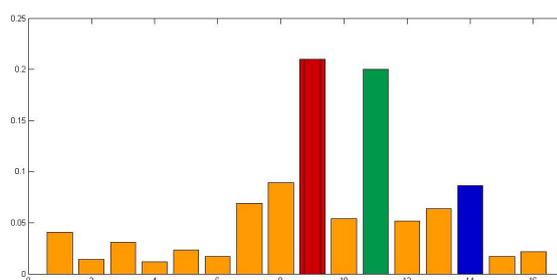


Figura 9.2: Frecuencias en Inglés, según el buscador Google, para el conjunto de animales de la sección 1.3.4. Perro gato y caballo están representados en rojo, verde y azul, respectivamente.

Si ahora entrenamos el algoritmo presentando los distintos conceptos según estas frecuencias, el aspecto del mapa cambia (Figura 9.3)

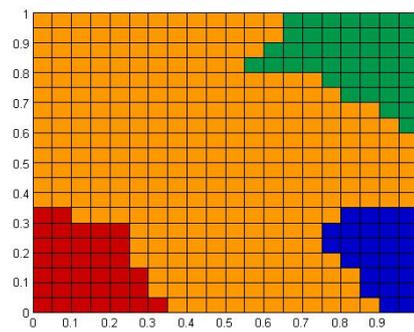


Figura 9.3: Una realización de un mapa de Kohonen con 500 repeticiones para el conjunto de animales de la sección 1.3.4 usando para la presentación de los ejemplos la frecuencia con la que los distintos conceptos aparecen en el buscador Google en idioma Inglés.

Si favorecemos aún más los conceptos perro, gato y caballo restando un porcentaje  $p$  a la suma de las otras frecuencias y agregándolo en partes iguales a los tres conceptos de interés, obtenemos los mapas de las siguientes dos figuras, para  $p = 20\%$  y  $p = 50\%$  respectivamente.

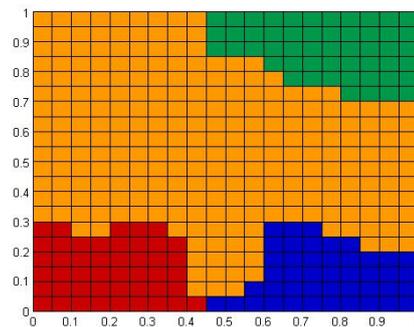


Figura 9.4: Una realización de un mapa de Kohonen con 500 repeticiones para el conjunto de animales de la sección 1.3.4, modificando la presentación de los ejemplos en favor de los conceptos perro, gato y caballo con  $p = 20\%$ .

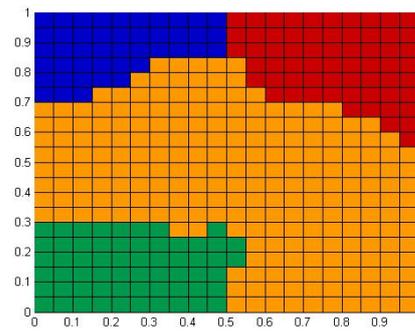


Figura 9.5: Una realización de un mapa de Kohonen con 500 replicaciones para el conjunto de animales de la sección 1.3.4, modificando la presentación de los ejemplos en favor de los conceptos perro, gato y caballo con  $p = 50\%$ .

## 9.2. Conclusiones del capítulo

Los mapas de Kohonen, en su carácter de herramientas matemáticas neurosímiles pueden resultar útiles para simular determinados fenómenos cognitivos. En los primeros artículos que siguieron a la presentación de su modelo, Kohonen propuso dos formas de alterar los mapas: alterar las conexiones de vecindad entre las neuronas de la grilla que soporta el mapa y alterar la frecuencia de los ejemplos con las que se entrenan los mapas. Como ejemplo de esta segunda forma de alteración está el algoritmo que simula el córtex auditivo de un murciélago (sección 3.1.3). En aquel entonces no se hablaba de Demencia Semántica, el término fue acuñado varios años después de que Warrington presentara en 1975 su estudio sobre dicha enfermedad, sin embargo el algoritmo de Kohonen alterado como en el ejemplo que se menciona, podría llegar a proporcionar, emulando el concepto neuropsicológico de *familiaridad*, una forma simple de reproducir un comportamiento complejo. Tal vez otras simulaciones de este estilo puedan en el futuro ayudar a entender mejor el problema.

# Capítulo 10

## Discusión final

Con respecto a los objetivos y preguntas planteados en la introducción de este trabajo y teniendo en cuenta los temas desarrollados en la primera parte de la tesis y los experimentos realizados en la segunda, se pueden extraer algunas conclusiones y hacer algunas observaciones generales.

### Sistema semántico

Las teorías planteadas en el capítulo 2 versan esencialmente sobre la pregunta

*¿Cómo se representa en el cerebro la información que constituye nuestro conocimiento del mundo y de qué forma se procesa la misma?*

No es posible ser concluyente en este aspecto. Si bien se han hecho avances en los últimos años, todavía queda mucho por descubrir. Las tres teorías planteadas presentan hechos en su favor, pero no son excluyentes. Por un lado, los estudios imagenológicos en pacientes de demencia semántica (que muestran una lesión más bien concentrada en el lóbulo temporal en comparación con lesiones mucho más extendidas observadas en pacientes de la enfermedad de Alzheimer que tienen un puntaje estadísticamente más alto que los pacientes de demencia semántica en tests semánticos) parecen apoyar la teoría del hub único. Sin embargo el deterioro podría ser más extendido que el que se puede ver en las imágenes de resonancia magnética. Por otro lado, pacientes con otras formas de demencia frontotemporal con lesiones de similar magnitud, pero ubicadas en otras regiones (córtex insular o orbitofrontal) parecen tener preservado el conocimiento semántico (Hodges et al 1999).

De todas formas, la existencia de un hub principal no niega la posibilidad de déficits modales y categoriales. En este sentido un modelo presentado por Plaut (Plaut 2002) para la *agnosia óptica* modela este tipo de déficits

a través del daño gradual a neuronas equidistantes de las zonas modales (referidas a lenguaje, visión y acción).

Por otro lado, otras teorías como la de la *estructura conceptual (CSA: conceptual structure account)* presentada por Taylor, Moss y Tyler (Taylor, Moss y Tyler: en Hart, 2007) apuntan a la estructura de los datos, a sus propiedades y correlaciones, más que a una respuesta de tipo modal para explicar los déficits categoriales. Estos investigadores parten de la base de que algunos rasgos son más útiles que otros para identificar ciertos objetos o animales. Por ejemplo, los rasgos *tiene ojos*, *tiene orejas*, *tiene patas*, *tiene pelo*, pueden resultar útiles para detectar la pertenencia a una categoría, pero no son útiles para individualizar. En cambio otros rasgos como *tiene rayas*, *tiene una joroba*, *tiene trompa*, son clave para el proceso de identificación. En tal sentido, los dibujos de un paciente con *Herpes simplex encefalitis* parecen enfatizar ese hecho.

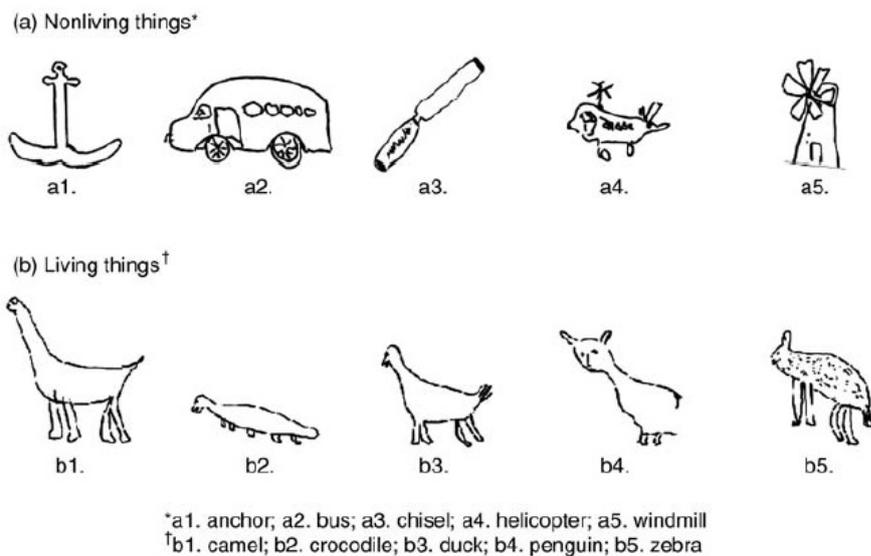


Figura 10.1: Dibujos de un paciente de HSE de objetos y animales (Moss et al 1997).

Los objetos inanimados son claramente más identificables que los animales a los que faltan los rasgos más distintivos. Este argumento, basado en la estructura de correlación, es útil a la discusión y a la vez está relacionado con la representación de los datos, que se trata en el siguiente punto.

Más allá de eso y en resumen, ninguna teoría que excluya totalmente a las otras parece ser satisfactoria. Los estudios en demencia semántica

parecen apoyar la existencia de un hub principal, los déficits modales y categoriales parecen apoyar la existencia de zonas de interconexión que, si se ven afectadas, pueden explicar fenómenos como éstos, los pacientes de demencia semántica no presentan déficits categoriales sino que todo su conocimiento semántico parece verse afectado, ningún déficit es completamente modal o categorial, sino que la afección es graduada. Éstos son los hechos y todavía queda mucho por descubrir al respecto.

### **Representación matemática mediante vectores.**

Los vectores son objetos pertenecientes al mundo abstracto de la matemática. Por otro lado, una pregunta que surge naturalmente es la siguiente:

*¿Cuán arbitraria es la representación de objetos de la vida real mediante vectores?*

El córtex visual, por ejemplo, recibe ante un estímulo señales de fibras de millones de axones. Esa codificación electroquímica no es forzada, se podría decir que se tiene derecho a hacer una numeración virtual de esos axones. Valga esa simple observación para afirmar que no es arbitrario pensar en un vector. Por otra parte algunos estudios muestran (Martin et al 1995) que la recuperación de la información semántica involucra la activación de regiones idénticas a las que fueron activadas en el proceso de percepción (o que tienen un gran solapamiento con ellas). De modo que la representación en un modelo de un estado neural (el producido por la percepción de un objeto o la recuperación de ese objeto desde la memoria) mediante un vector en un contexto de estabilidad tiene sentido.

En particular, esa recuperación involucra la información relacionada con función y manipulación.

La estructura de los datos (sus correlaciones) determinan algunas características observadas en el deterioro de la memoria tal como sostiene la teoría de estructura conceptual de Taylor, Moss y Tyler mencionada en el punto anterior. La representación vectorial permite emular procesos relacionados a la memoria semántica como los que se dan en la naturaleza (test de tríadas, clasificación) y que al igual que la memoria presentan cierta robustez a los deterioros locales. Sin embargo, la resolución de problemas estadísticos presenta grandes diferencias con los procesos neurales, aunque estos últimos no estén bien entendidos. Por ejemplo, un estadístico nos va a aconsejar que no usemos un modelo que tenga más parámetros que ejemplos. Lo que es eficiente en un cálculo computacional o en la resolución de un problema seguramente no tenga

sentido dentro del contexto del cerebro (tenemos  $8,6 \times 10^{10}$  neuronas en el cerebro (Herculano-Houzel, 2005) y vivimos  $2,8 \times 10^9$  segundos).

### Modelos matemáticos neurosímiles.

Muchos algoritmos para la resolución de problemas estadísticos están neuralmente inspirados (redes de neuronas, máquinas de soporte vectorial, mapas de Kohonen). Sin embargo, los algoritmos que se utilizan para entrenarlos probablemente no respondan a los procesos que se dan en la naturaleza. Por ejemplo, las redes de neuronas adquirieron particular utilidad a partir del mecanismo de retropropagación para entrenarlas. Sin embargo, a pesar de ser un algoritmo poderoso en la resolución de problemas de carácter matemático, el de retropropagación presenta dificultades para ser contrastado con la neurofisiología real. En una conferencia presentada en Stanford en el año 2016 (*“Can the Brain do Backpropagation”*, <https://www.youtube.com/watch?v=VIRCybGgHts>), Geoffrey Hinton, uno de los padres de este algoritmo, presenta dos objeciones:

- No se conoce un mecanismo de supervisión de los ejemplos a nivel cerebral.
- Para participar en un tal proceso las neuronas deberían transmitir dos tipos de mensajes diferentes: uno de integración hacia adelante y uno relacionado con una derivada hacia atrás.

A pesar de ello, es justo afirmar que el resultado funcional de las acciones conductuales sugieren a las claras la existencia de esos mecanismos. El trabajo de Hebb de la década de 1940 sostiene que el aprendizaje tiene una base biológica: *“las células que se disparan juntas permanecerán conectadas”* (*“cells that fire together, wire together”*). En ese sentido el aprendizaje sería un proceso local en el que las neuronas se combinan para formar una unidad de procesamiento y los patrones de conectividad e intensidad sináptica de esas unidades determinan los algoritmos neurales subyacentes al aprendizaje (Hebb 1949). Si bien la minuciosidad de la descripción de un proceso tal lo hace inabarcable, el postulado de Hebb (en el que por otra parte se inspiran los algoritmos matemáticos de aprendizaje) parece estar presente en la naturaleza. Para una perspectiva más minuciosa del problema (de la influencia del aprendizaje sobre las conexiones neuronales) puede citarse el trabajo de Kandel con la especie *Aplysia* (una babosa de mar con apenas 20.000 neuronas) (Kandel 2001) y el trabajo de Maldonado con cangrejos (Maldonado, Romano, Tomsic 1997). Con respecto a la segunda objeción, la existencia de mecanismos neurales como el del bucle de la médula espinal generado por las células de Renshaw (Renshaw 1946), que inhiben colateralmente a las neuronas motoras de tipo  $\alpha$ , levantarían esa objeción. Sin embargo, la implementación de un teorema matemático como la ley de la cadena, fundamental

en el algoritmo, sería difícil de imaginar en ese contexto. El de retropropagación es un mecanismo matemático sutil; el cerebro no tiene por qué seguirlo. El cerebro no necesita la optimalidad de un modelo matemático neurosímil. De todas formas el intercambio es bidireccional: se han podido diseñar algoritmos matemáticos eficientes, como los mencionados al principio de esta sección, inspirados en algunos aspectos del funcionamiento neural. Por otra lado, se ha podido reproducir comportamientos complejos observados en la vida real a partir de modelos matemáticos simples. La red simétrica que resuelve los tests de tríadas y los mapas de Kohonen presentados en el capítulo anterior son ejemplos de ello.

### **Mapas de Kohonen.**

Herramientas como los mapas de Kohonen pueden generar de una manera muy sencilla una clasificación y, mediante las dos formas posibles de deterioro (ya descritas por Kohonen en los 80) los cambios en la frecuencia de los ejemplos y los cambios en las conexiones neurales (a través de la contigüidad, modificando radios de influencia etc.) emular comportamientos complejos observados en la naturaleza (deterioro en demencia semántica).

### **Lenguaje.**

Los conceptos representados en el lenguaje también admiten una representación vectorial, que a su vez admite un procesamiento (LSA, Latent Dirichlet Allocation). El lenguaje es uno de los rasgos más característicos del intelecto humano y de él se puede obtener información muy valiosa sobre la cognición semántica.

Los experimentos realizados para los tests de tríadas a partir de los tests de asociación de palabras muestran que el estudio de la producción de lenguaje, incluso para muestras pequeñas, permite establecer relaciones finas entre los conceptos, relaciones de proximidad y clasificaciones tal como las haría una persona tipo en determinadas situaciones. En los tests de asociación mencionados la cantidad de personas que responde por cada concepto está entre 20 y 30 y el largo de las oraciones varía entre 3 y 5. Sin embargo, la estructura cognitiva emerge incluso con una muestra tan pequeña.

La generación de corpus coherentes de tríadas a partir de los gráficos semánticos generados por los tests de asociación muestra dos cosas: en primer lugar confirma una vez más que los grafos semánticos generados a partir de muestras pequeñas pueden ser lo suficientemente ricos para emular varias tareas cognitivas como las mencionadas en el párrafo anterior. En segundo lugar muestra que la reducción de la dimensión que entrañan algunos métodos matemáticos, como la descomposición en valores singulares, respeta la estructura semántica y por otro lado involucra en sí mismo, en sus vectores singulares, un método no supervisado de clasificación que, entre otras cosas, ayuda a la comprensión del problema.

Otro de los hechos observados es que la manipulación, si bien forma parte del sistema semántico, no parece estar presente en la producción de lenguaje, al menos en las asociaciones más inmediatas: es posible hacer la versión *Función* (F) del test FvM a partir de un grafo de asociación, pero no la versión *Manipulación* (M) del mismo.

### **Test FvM.**

La manipulación es un aspecto importante de la representación de utensilios y herramientas. En el caso de los pacientes que sufran alguna afección con consecuencias motoras, como el caso de los pacientes de la Enfermedad de Parkinson que tienen afectada la motricidad fina, eso puede traer consecuencias sobre actividades cognitivas que involucren el aspecto motor.

Se cree que el procesamiento de los verbos de acción estaría vinculado a los circuitos neurales motores (Pullvermuller et al 2005). La alteración de estos circuitos en los pacientes de Parkinson podría comprometer el procesamiento de estos verbos, tal como parecen sugerir algunos estudios (García et al, 2016; Cardona et al, 2013; García e Ibáñez, 2014).

El test de tríadas FvM realizado con pacientes y controles apunta en el sentido de lo anterior.

# Capítulo 11

## Conclusiones

El presente trabajo de tesis se desarrolla en torno a tres líneas de trabajo relacionadas entre sí.

La primera se basa por un lado en una sugerencia del Dr. Sergio Dansilio de considerar el Test de Pirámides y Palmeras (Howard, Patterson, 1992), prueba fundamental para la evaluación del estado de la memoria semántica. Por otro lado, la lectura de los trabajos en la teoría de la *Cognición Corpórea* (Glenberg 2002, Barsalou 2008) inspiró la idea de diseñar un test del estilo de Pirámides y Palmeras que se basara en la dualidad entre función y manipulación. De allí surge el test FvM que requirió más de dos años de trabajo desde el planteamiento original de las ternas, pasando por las instancias de diseño y puesta a prueba de los dibujos, impresión, difusión y toma de las pruebas a cargo de un equipo de trabajo interdisciplinario repartido entre las ciudades de Buenos Aires, Santa Fe y Montevideo.

La segunda maduró a partir del diálogo con el Dr. Eduardo Mizraji y está básicamente relacionada en el uso de modelos matemáticos neurosímiles, en la representación matemática de la información, en el diálogo entre el modelo abstracto y la realidad y en la forma en que el desarrollo y entendimiento de esos modelos nos pueden llevar a un mejor entendimiento de los problemas reales. Dentro de este contexto se ha desarrollado una red de neuronas simétrica para resolver virtualmente los tests de tríadas y se ha planteado el uso de los mapas de Kohonen.

La tercera vino de la mano del Dr. Gerardo Rubino y del Dr. Pablo Rodríguez Bocca quienes propusieron los grafos semánticos y los algoritmos asociados a los mismos como forma de extraer de la producción de lenguaje información valiosa sobre el sistema semántico. En tal sentido, la lectura de algunos trabajos sobre la relación entre la Enfermedad de Parkinson y el lenguaje (Abrebaya et al, 2017, García et al, 2016) y sobre el trabajo con grafos semánticos en general (Cabana, 2012) ha sido particularmente inspiradora.

Por cierto, esas tres líneas se entrecruzan: los algoritmos matemáticos (sección 6.4) son usados para resolver el nuevo test propuesto, la realización de un test de tríadas (sección 8.2) confirma un hecho evidenciado por el análisis de un grafo semántico, los mapas de Kohonen pueden emular algunos hechos observados en el deterioro de la memoria semántica (capítulo 9). Entendemos que en las tres se hacen aportes y, a la vez, las tres están abiertas, fértiles e invitan a avanzar en ellas.

**Test FvM.** Se ha propuesto un test de categorización semántica, basado en el test de Pirámides y Palmeras, referido a la dualidad entre función y acción mediante la modalidad visual. El test discrimina la componente de acción en relación al dominio motor. El rol del dominio motor en la representación semántica de las acciones se ha propuesto en el marco de la cognición corpórea (*embodied cognition*). Por un lado se han establecido valores de referencia basados en el estudio de una muestra de control. Por otro lado, el test ha sido realizado con una población (pacientes de Parkinson) en la que se ha demostrado previamente (García et al, 2016; Cardona et al, 2013; García, Ibáñez, 2014) que aspectos semánticos relacionados con la acción pueden presentar dificultades en su proceso de discriminación y categorización. El desempeño de los pacientes de Parkinson en este tipo de pruebas es significativamente más bajo que el de la población de control y los tiempos de realización de las pruebas es significativamente mayor tal como se muestra en el capítulo 5. Este test puede contribuir a la evaluación de pacientes e esta enfermedad y, en general, de pacientes que presenten un compromiso del sistema motor, así como también aportar herramientas para el tratamientos de algunos de sus déficits. Mirando más lejos, demostrar la relación entre las aptitudes motoras y el acceso al sistema semántico genera preguntas acerca de la importancia del primero en la educación del niño.

**Algoritmos matemáticos.** Los algoritmos matemáticos neuralmente inspirados, además de resolver problemas matemáticos y estadísticos, pueden emular satisfactoriamente la realización de tareas cognitivas. Más allá del hecho de que todo algoritmo matemático neuralmente inspirado es una simplificación de la realidad, la simulación de situaciones complejas con algoritmos relativamente simples podría, en algún momento, ayudar a la comprensión de procesos más complejos. Los ejemplos presentados en esta tesis apuntan en ese sentido, resolviendo satisfactoriamente, a partir de ideas sencilla, problemas de emparejamiento y clasificación. Los algoritmos presentados y la relación con los procesos neurales que los inspiran

están indisolublemente ligados a la representación de la información. La representación de conceptos mediante vectores de ceros y unos, definidos en función de sus propiedades (en las que los unos representan la presencia de algunas propiedades y los ceros la ausencia de otras) han mostrado ser útiles en las simulaciones computacionales realizadas. A partir de ellos se han implementado los algoritmos matemáticos para los tests de tríadas basados en la ponderación de propiedades y el cálculo de distancias, dentro de un contexto de redes de neuronas. Dicha representación se presta además a la resolución de problemas de clasificación a partir de dendrogramas y mapas de Kohonen tal como se ha hecho en el capítulo 7. A partir de ellos se han obtenido clasificaciones íntimamente ligadas en el contexto cognitivo al proceso de abstracción.

**Grafos semánticos.** Los grafos semánticos construidos a partir de tests de asociación han mostrado ser una herramienta muy útil en el estudio de ciertos aspectos de la cognición semántica. En la sección 8.3 se realiza satisfactoriamente el test de Pirámides y Palmeras y otros similares a partir de un grafo semántico. La idea clave en el algoritmo es el cálculo de distancias. Las distancias entre los distintos nodos contiguos del grafo (correspondientes, cada uno a un concepto) viene dada por la cantidad de respuestas en el test de asociación que relacionan ambos conceptos. Un elemento interesante es que, incluso para muestras pequeñas de participantes, las distancias que surgen de ese procedimientos permiten resolver correctamente los tests de emparejamiento. El concepto de función está presente en las primeras propiedades que una persona relaciona con un concepto en una test de asociación, hecho que podría estar sugiriendo que en la arquitectura del conocimiento semántico ocurre lo mismo. Lo anterior está reforzado por el hecho de que (sección 6.2) al hacer el test FvM sin una premisa concreta (sin pedir asociación por función, ni por manipulación) la mayoría de los participantes establece una asociación basada en la función. Por cierto, hay dos parámetros importantes en el diseño de un test de asociación de palabras: cuántos participantes lo realizan y cuántas palabras se pide por cada concepto. El hacer variar esos parámetros en un futuro permitirá ver cómo emerge la estructura semántica en problemas de este tipo y qué conclusiones se pueden sacar al respecto. Finalmente, los tests de asociación a partir de los que se diseñaron los grafos, han permitido construir (a partir de la matriz de incidencia correspondiente) un generador de ternas (sección 8.4). La coherencia del generador debería ser puesta a prueba (si queremos actuar con todo rigor) haciendo el test resultante con una población de control. Los resultados de este tipo de técnicas son prometedores en lo que

se refiere a la coherencia en la representación de la información y las posibilidades de abstracción dentro de este contexto. Por otra parte, un test de ternas más exigente (en el número de preguntas) podría resultar útil para discriminar más finamente cuando el test es colocado en una posible batería de diagnóstico.

# Perspectivas

- El test puede ser realizado en el futuro a pacientes de otras patologías (p.ej. Esclerosis Lateral Amiotrófica: ELA) en el mismo sentido que se realizó en este trabajo.
- Sería interesante hacer estudios imagenológicos en forma simultánea al test. Los costos que implica este tipo de experimento lo hacen de difícil aplicación en este momento en nuestro país.
- Habría que considerar la posibilidad de incorporar el test FvM a una batería de tests más completa a los efectos de orientar diagnósticos.
- Con respecto al estudio de la producción de lenguaje, el procesamiento a partir de corpus mayores como (p. ej. Edinburgh Associative Thesaurus) muestra resultados similares. Se está trabajando además en la distorsión de estas redes y sus posibles resultados en la simulación de tareas cognitivas. Pero eso escapa a los objetivos de este trabajo y será desarrollado en el futuro.

En otro orden de cosas, ya se ha comenzado a tomar tests de asociación a pacientes de Parkinson para comparar con los grafos correspondientes a la población de control; pero eso también es trabajo a futuro. Se puede hacer lo mismo con pacientes de otro tipo de patologías. Es de esperar que los resultados de la investigación en estos aspectos, los reportados en la tesis y los futuros, puedan ser utilizados como herramientas para orientar diagnósticos.

- Es posible encarar el estudio de algunos de los postulados de la *teoría de la estructura conceptual* (CSA: conceptual structure account) presentada por Taylor, Moss y Tyler (Taylor, Moss y Tyler: en Hart, 2007). dicho estudio implicaría un trabajo intenso con corpus de oraciones, tests de asociación y grafos semánticos en diferentes idiomas. Este tipo de trabajo podría arrojar una luz importante sobre el tema de la organización del conocimiento semántico.
- Más allá del interés que tienen como herramienta matemática neuralmente inspirada, los mapas de Kohonen han sido utilizados en el

marco de esta tesis de forma descriptiva. Sería interesante definir criterios de clasificación más precisos y explorar además resultados asintóticos en ciertos contextos.

# Apéndice

## Apéndice A: Propiedades para el experimento 6.1.2

	¿QUÉ ES?		TAMAÑO		MOMENTO
1	Ser vivo <span style="color: green;">■</span>	33	Pequeño <span style="color: green;">■</span>	59	Mañana <span style="color: green;">■</span>
2	Planta <span style="color: green;">■</span>	34	Mediano <span style="color: green;">■</span>	60	Tarde <span style="color: green;">■</span>
3	Animal <span style="color: green;">■</span>	35	Grande <span style="color: green;">■</span>	61	Noche <span style="color: green;">■</span>
4	Persona <span style="color: green;">■</span>				
5	Mujer <span style="color: green;">■</span>		<b>PROPIEDADES</b>		<b>SABOR</b>
6	Hombre <span style="color: green;">■</span>				
7	Mineral <span style="color: green;">■</span>	36	Líquido <span style="color: green;">■</span>	62	Amargo <span style="color: green;">■</span>
8	Objeto <span style="color: green;">■</span>	37	Sólido <span style="color: green;">■</span>	63	Dulce <span style="color: green;">■</span>
9	Utensilio <span style="color: green;">■</span>	38	Gaseoso <span style="color: green;">■</span>	64	cido <span style="color: green;">■</span>
10	Herramienta <span style="color: green;">■</span>	39	Duro <span style="color: green;">■</span>	65	Picante <span style="color: green;">■</span>
11	Pieza <span style="color: green;">■</span>	40	Blando <span style="color: green;">■</span>		
12	Construcción <span style="color: green;">■</span>	41	Flexible <span style="color: green;">■</span>		<b>TEMPERATURA</b>
13	Mueble <span style="color: green;">■</span>				
14	Adorno <span style="color: green;">■</span>		<b>HECHO DE</b>	66	Caliente <span style="color: green;">■</span>
15	Vehículo <span style="color: green;">■</span>			67	Frío <span style="color: green;">■</span>
16	Acción <span style="color: green;">■</span>	42	Madera <span style="color: green;">■</span>		
17	Vestimenta <span style="color: green;">■</span>	43	Piedra <span style="color: green;">■</span>		<b>ESTACIÓN</b>
18	Parte del cuerpo <span style="color: green;">■</span>	44	Vidrio <span style="color: green;">■</span>		
19	Vehículo <span style="color: green;">■</span>	45	Tela <span style="color: green;">■</span>	68	Verano <span style="color: green;">■</span>
20	Art. Eléctrico <span style="color: green;">■</span>	46	Papel <span style="color: green;">■</span>	69	Otoño <span style="color: green;">■</span>
		47	Cartón <span style="color: green;">■</span>	70	Invierno <span style="color: green;">■</span>
	<b>FORMA</b>	48	Plástico <span style="color: green;">■</span>	71	Primavera <span style="color: green;">■</span>
		49	Cuero <span style="color: green;">■</span>		
21	Plana <span style="color: orange;">■</span>	50	Goma <span style="color: green;">■</span>		<b>CONTINENTE</b>
22	Circular <span style="color: orange;">■</span>	51	Cemento <span style="color: green;">■</span>		
23	Rectangular <span style="color: orange;">■</span>			72	América <span style="color: green;">■</span>
24	Esférica <span style="color: orange;">■</span>		<b>AMBIENTE</b>	73	Europ <span style="color: green;">■</span>
25	Prismática <span style="color: orange;">■</span>			74	Asia <span style="color: green;">■</span>
26	Cónica <span style="color: orange;">■</span>	52	Living <span style="color: green;">■</span>	75	frica <span style="color: green;">■</span>
27	Elíptica <span style="color: orange;">■</span>	53	Comedor <span style="color: green;">■</span>	76	Oceanía <span style="color: green;">■</span>
28	Elipsoidal <span style="color: orange;">■</span>	54	Cocina <span style="color: green;">■</span>		
29	Alargada <span style="color: orange;">■</span>	55	Baño <span style="color: green;">■</span>		<b>PAISAJE</b>
30	Helicoidal <span style="color: orange;">■</span>	56	Jardín <span style="color: green;">■</span>		
31	Cilíndrica <span style="color: orange;">■</span>	57	Dormitorio <span style="color: green;">■</span>	77	Desierto <span style="color: green;">■</span>
32	Cúpula <span style="color: orange;">■</span>	58	Oficina <span style="color: green;">■</span>	78	Paisaje polar <span style="color: green;">■</span>

79	Trópico	■		<b>SE HACE/USA PARA</b>	140	Detener	■	
80	Montaña	■			141	Mover	■	
81	Selva	■	104	Comunicar	■	142	Tener	■
82	Bosque	■	105	Expresar	■	143	Subir	■
83	Mar	■	106	Limpiar	■	144	Bajar	■
84	Sabana	■	107	Adornar	■	145	Desplazarse	■
85	Campo	■	108	Alisar ?	■	146	Calentar	■
86	Ciudad		109	Aprender	■	147	Enfriar	■
			110	Crecer	■	148	Comer	■
	<b>CLIMA</b>		111	Fortalecer	■	149	Beber	■
			112	Preservar	■			
87	Calor	■	113	Recordar	■		<b>RECIBE ACCIÓN</b>	
88	Sol	■	114	Planificar (futuro)	■			
89	Lluvia	■	115	Pensar	■	150	Otra persona	■
90	Nieve	■	116	Proteger	■	151	El sujeto	■
91	Viento	■	117	Sostener	■	152	Animal	■
92	Hielo	■	118	Guarecer	■	153	Planta	■
			119	Defender	■	154	Objeto	■
	<b>SENTIDO</b>		120	Atacar	■			
			121	Descansar	■		<b>MANIPULACIÓN</b>	
93	Vista	■	122	Almacenar	■			
94	Oído	■	123	Guardar	■	155	Golpear	■
95	Tacto	■	124	Reparar	■	156	Girar	■
96	Olfato	■	125	Romper	■	157	Deslizar	■
97	Gusto	■	126	Eliminar	■	158	Raspar	■
			127	Construir	■	159	Perforar	■
	<b>ASOCIADO A</b>		128	Crear	■	160	Ondulatorio mano	■
			129	Separar	■	161	Mover brazos	■
98	Tierra	■	131	Perforar	■	162	Mover piernas	■
99	Aire	■	132	Unir	■	163	Mover manos	■
100	Agua	■	133	Ajustar	■	164	Mover dedos	■
			134	Apretar	■	165	Empujar	■
	<b>DURACIÓN</b>		135	Mover	■	166	Envolver	■
			136	Abrir	■	167	Retorcer	■
101	Breve	■	137	Cerrar	■	168	Enroscar	■
102	Intermedia	■	138	Llevar	■	169	Presionar	■
103	Larga	■	139	Traer	■	170	Pinchar	■

171	Lanzar	■			
					<b>ANIMAL</b>
					<b>PARTE DEL CUERPO</b>
			193	2 patas	■
172	Cabeza	■	194	4 patas	■
173	Piernas	■	195	Pelo	■
174	Rodillas	■	196	Plumas	■
175	Brazos	■	197	Alas	■
176	Pies	■	198	caza	■
177	Manos	■	199	Corre	■
178	Ojos	■	200	Vuela	■
179	Boca	■	201	Nada	■
180	Nariz	■			
181	Orejas	■			<b>ASOCIADO</b>
182	Tórax	■			
183	Espalda	■	202	Emociones/ afectos	■
184	Pelo	■	203	La luz	■
185	Piel	■	204	Al tiempo	■
186	Dedo pulgar	■	205	Religión	■
187	Dedo índice	■	206	Deporte	■
188	Dedo mayor	■	207	Movimiento	■
189	Dedo anular	■	208	Intelecto	■
190	Dedo meñique	■	209	Arte	■
191	Cuello	■	210	Guerra	■
192	Garganta	■			

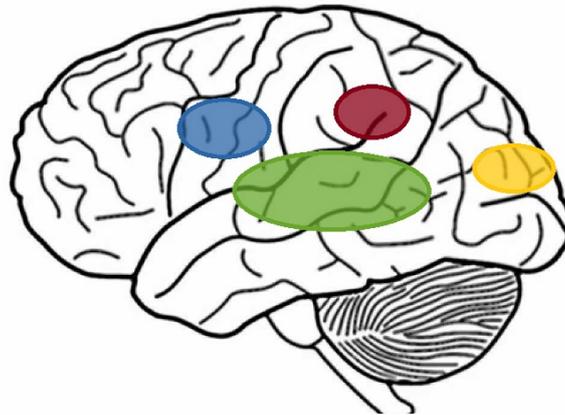


Figura 11.1: Zonas del cerebro involucradas en el procesamiento de la información.

## Apéndice B: Propiedades para el experimento 6.1.3

	¿QUÉ ES?	28	Elipsoidal	■	51	Papel	■
		29	Alargada	■	52	Metal	■
1	'Ser vivo'	30	Helicoidal	■	53	Plástico	■
2	Planta	31	Cilíndrica	■	54	Cuero	■
3	Animal	32	Cúpula	■	55	Goma	■
4	Persona	33	Forma Variable	■	56	Cemento	■
5	Mujer	34	Cuña	■	57	Cerámica	■
6	Hombre	35	Cruvilínea (ej. Guitarra)	■	58	Otra Sustancia	■
7	Mineral	36	Otra Forma	■	59	Living	■
8	Objeto	37	Cruz / ngulo	■	60	Comedor	■
9	Utensilio				61	Cocina	■
10	Herramienta		<b>TAMAÑO</b>		62	Baño	■
11	Pieza				63	Jardín	■
12	Construcción	38	Pequeño	■	64	Dormitorio	■
13	Mueble	39	Mediano	■	65	Oficina	■
14	Adorno	40	Grande	■			
15	Materia Prima					<b>MOMENTO DÍA</b>	
16	Acción		<b>ESTADO/CONSISTENCIA</b>				
17	Vestimenta				66	Mañana	■
18	Parte Del Cuerpo	41	Líquido	■	67	Tarde	■
19	Vehículo	42	Sólido	■	68	Noche	■
20	Art. Eléctrico	43	Gaseoso	■			
		44	Duro	■		<b>GUSTO</b>	
	<b>FORMA</b>	45	Blando	■			
					69	Amargo	■
21	Plana		<b>HECHO DE</b>		70	Dulce	■
22	Circular				71	cido	■
23	Rectangular	46	Lana	■	72	Picante	■
24	Esférica	47	Madera	■			
25	Prismática	48	Piedra	■			
26	Cónica	49	Vidrio	■	73	Caliente	■
27	Elíptica	50	Tela	■	74	Frío	■

75	Verano	■	100	Vista		127	Atacar	■
76	Otoño	■	101	Oído		128	Descansar	■
77	Invierno	■	102	Tacto		129	Almacenar	■
78	Primavera	■	103	Olfato		130	Guardar	■
			104	Gusto		131	Reparar	■
	<b>CONTINENTE</b>					132	Romper / Destruir	■
						133	Eliminar	■
79	América	■				134	Construir	■
80	Europa	■	105	Tierra	■	135	Crear	■
81	Asia	■	106	Aire	■	136	Separar	■
82	África	■	107	Agua	■	137	Perforar	■
83	Oceanía	■				138	Unir	■
				<b>DURACIÓN</b>		139	Ajustar	■
	<b>PAISAJE</b>		108	Breve	■	140	Apretar	■
			109	Intermedia	■	141	Mover	■
84	Desierto	■	110	Larga	■	142	Abrir	■
85	Paisaje Polar	■				143	Cerrar	■
86	Trópico	■		<b>SE HACE/USA PARA</b>		144	Oír / Escuchar	■
87	Montaña	■	111	Comunicar	■	145	Ver	■
88	Selva	■	112	Expresar	■	146	Detener	■
89	Bosque	■	113	Limpiar	■	147	Alimentar	■
90	Mar	■	114	Adornar	■	148	Tener	■
91	Sabana	■	115	Alisar ?	■	149	Subir	■
92	Campo	■	116	Aprender	■	150	Bajar	■
93	Ciudad	■	117	Crecer	■	151	Desplazarse	■
			118	Fortalecer	■	152	Calentar	■
	<b>CLIMA</b>		119	Preservar	■	153	Enfriar	■
			120	Recordar	■	154	Comer	■
94	Calor	■	121	Planificar (futuro)	■	155	Beber	■
95	Frío	■	122	Pensar	■	156	Divertirse / Jugar	■
96	Lluvia	■	123	Proteger	■	157	Matar	■
97	Nieve	■	124	Sostener	■	158	Capturar / Atrapar	■
98	Viento	■	125	Guarecer	■	159	Juntar	■
99	Hielo	■	126	Defender	■	160	Conducir	■

161	Dar Aire	■	187	Retorcer	■	216	Espalda	■
162	Hacer Ejercicio	■	188	Enroscar	■	217	Pelo	■
163	Cubrir / Tapar	■	189	Presionar	■	218	Piel	■
164	Llamar	■	190	Pinchar	■	219	Dedo Pulgar	■
165	Secar	■	191	Lanzar	■	220	Dedo ndice	■
166	Extraer /exprimir	■	192	Tirar (palanca)	■	221	Dedo Mayor	■
167	Curar	■	193	Jalar (Gatillo)	■	222	Dedo Anular	■
168	Medir Tiempo	■	194	Barrer	■	223	Dedo Meñique	■
169	Cocinar	■	195	Sostener	■	224	Cuello	■
			196	Fregar / Frotar	■	225	Garganta	■
	<b>RECIBE ACCIÓN</b>		197	Abrir y cerrar brazos	■		<b>ANIMALES</b>	
			198	Tirar de arriba a abajo	■	226	2 Patas	■
170	Otra Persona		199	Tirar de adelante hacia atrás	■	227	4 Patas	■
171	El Sujeto		200	Tirar cuerda (ej. motosierra)	■	228	Pelo	■
172	Animal		201	Forma de sostener revolver	■	229	Plumas	■
173	Planta		202	Llevar a la boca	■	230	Alas	■
174	Objeto		203	soplar	■	231	Crin Caza	■
			204	girar parcialmente	■	232	Corre	■
	<b>MANIPULACIÓN</b>					233	Vuela	■
				<b>PARTE DEL CUERPO</b>		234	Nada	■
175	Golpear	■						
176	Girar	■	205	Cabeza	■		<b>LIGADO A</b>	
177	Deslizar	■	206	Piernas	■	235	Emociones/ Afectos	■
178	Raspar	■	207	Rodillas	■	236	La Luz	■
179	Perforar	■	208	Brazos	■	237	Al Tiempo	■
180	Ondulatorio Mano	■	209	Pies	■	238	Religión	■
181	Mover Brazos	■	210	Manos	■	239	Deporte	■
182	Mover Piernas	■	211	Ojos	■	240	Movimiento	■
183	Mover Manos	■	212	Boca	■	241	Intelecto	■
184	Mover Dedos	■	213	Nariz	■	242	Arte	■
185	Empujar	■	214	Orejas	■	243	Guerra	■
186	Envolver	■	215	Tórax	■	244	Forma De Alimento	■

## APÉNDICE C: ALGUNOS PROGRAMAS

### Programas de la red de ternas. Capítulo 5

```
function W= trainredpp(xA,xB,xC,y,w,eta,alpha)
```

```

1. m=length(w(:,1));
2. for i=1:m
3. zB=1./(1+exp(-w*((xA-xB).^2)));
4. zC=1./(1+exp(-w*((xA-xC).^2)));
5. zC=1./(1+exp(-w*((xA-xC).^2)));
6. hB=w*((xA-xB).^2);
7. hC=w*((xA-xC).^2);
8. yy=redpp(xA,xB,xC,w);
9. delta1=(yy(1)-y(1))*((xA-xB).^2)*(exp(-hB))./((1+exp(-hB)).^2);
10. delta2=(yy(2)-y(2))*((xA-xC).^2)*(exp(-hC))./((1+exp(-hC)).^2);
11. delta=2*(delta1+delta2)
12. w=w-delta'*eta*alpha;
13. end
14. W=w;
```

---

```
function y= redpp(xA,xB,xC,w)
```

```

1. zB=1./(1+exp(-w*((xA-xB).^2)));
2. zC=1./(1+exp(-w*((xA-xC).^2)));
3. y y=[zB; zC];
```

---

## Programa Mapa de Kohonen. Capítulo 3

```
function y = som(x,k,m,L0)

1.  sigma0=m/2;
2.  lambda=k/log(sigma0);
3.  n1=length(x(:,1));
4.  n2=length(x(1,:));
5.  fil=[];
6.  col=[];
7.  for i=1:m
8.      provi=i*ones(1,m);
9.      fil=[fil provi];
10.     col=[col [1:m]];
11. end
12. M=rand(n1,m^2);
13. for h=1:k
14.     sigma=sigma0*exp(-h/lambda);
15.     L=L0*exp(-h/lambda);
16.     ind=ceil(n2*rand(1));
17. for i=1:m^2
18.     aux(i)=norm(x(:,ind)-M(:,i));
19.     end
20.     [aux2 indice]=min(aux);
```

```

21.     im=fil(indice);
22.     jm=col(indice);
23.     for i=1:m^2
24.         dist2=sum((fil(i)-im)^2+(col(i)-jm)^2);
25.         theta=exp(-dist2/(2*sigma^2));
26.         M(:,i)= M(:,i)+L*theta*(x(:,ind)-M(:,i));
27.     end
28. end
29. for i=1:m^2
30.     for j=1:n2
31.         aux3(j)=norm(x(:,j)-M(:,i));
32.     end
33.     [aux4 indice2]=min(aux3);
34.     y(fil(i),col(i))=indice2;
35. end

```

---

## Algoritmo de Dijkstra. Capítulo 7

```
function y = dijkstra(M, inicial)
```

```

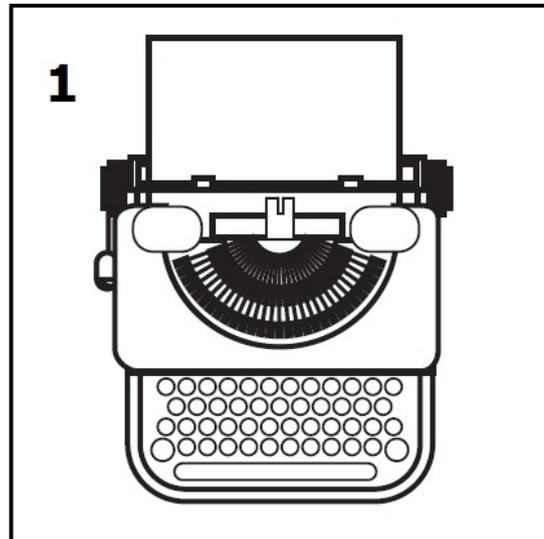
1. n=length(M(:,1));
2. D=n*max(max(M))+1;
3. explorados=[inicial];
4. trayecto=[];

```

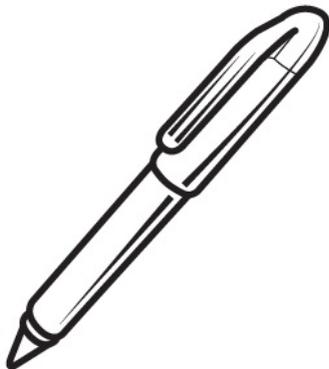
```
5.  distancias=[0 D*ones(1,n-1)];
6.  hijos=find(M(inicial,:)~=0);
7.  hijos=hijos';
8.  dist_hijos=M(inicial,hijos);
9.  [i1 i2]=sort(dist_hijos);
10. hijos=hijos(i2);
11. distancias(hijos)=dist_hijos(i2);
12. father=inicial*ones(length(hijos),1);
13. lista=[father hijos];
14. while length(explorados) < n
15.     m=length(lista(:,1));
16.     nodo=lista(1,2)
17.     padre=lista(1,1);
18.     if ismember(nodo,explorados)==0
19.         trayecto=[trayecto [nodo; padre]];
20.         explorados=[explorados; nodo];
21.         hijos=find(M(nodo,:)~=0);
22.         hijos=hijos';
23.         father=nodo*ones(length(hijos),1);
24.         listita=[father hijos];
25.         k=length(listita(:,1));
26.         for i=1:k
27.             if distancias(nodo)+M(nodo,hijos(i)) < distancias(hijos(i))
28.                 distancias(hijos(i))=distancias(nodo)+M(nodo,hijos(i));
29.             else
30.                 distancias(hijos(i))=distancias(hijos(i));
31.             end
```

```
32.     end
33.         if m>1
34.             lista=[lista(2:m,:); listita];
35.         else
36.             lista=[listita];
37.         end
38.     else
39.         trayecto=trayecto;
40.         explorados=explorados;
41.         if m>1
42.             lista=lista(2:m,:);
43.         else
44.             lista=[];
45.         end
46.     end
47. end
48. y=distancias;
```

## Apéndice D: TEST FvM

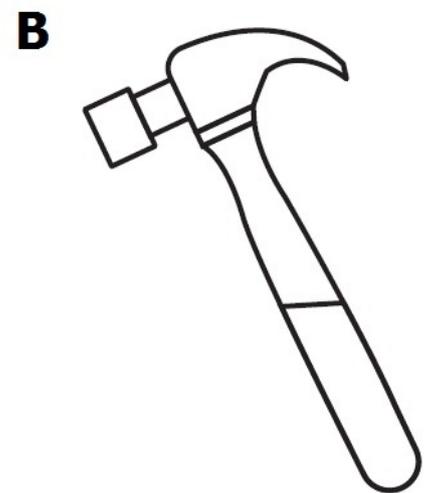
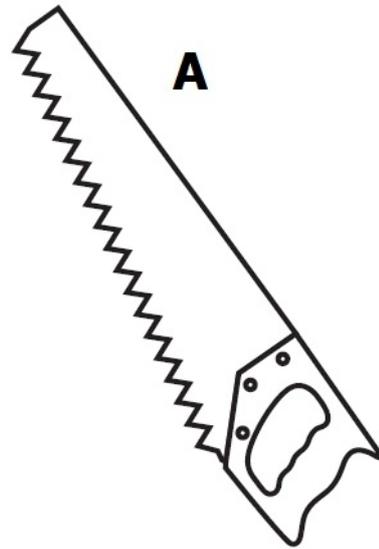
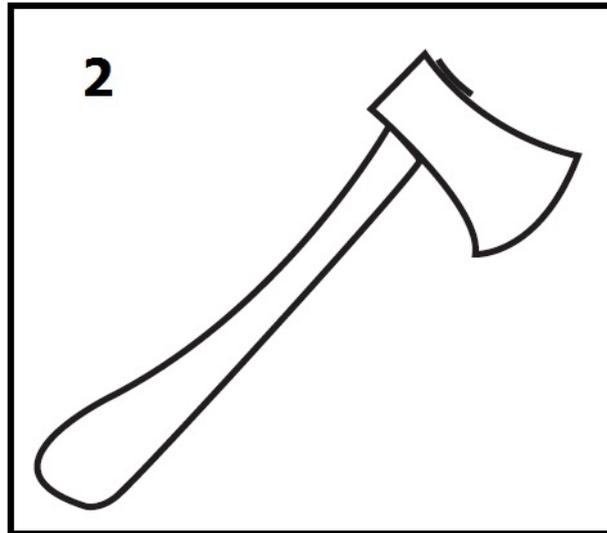


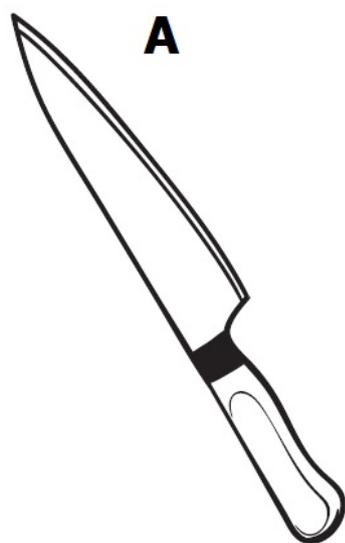
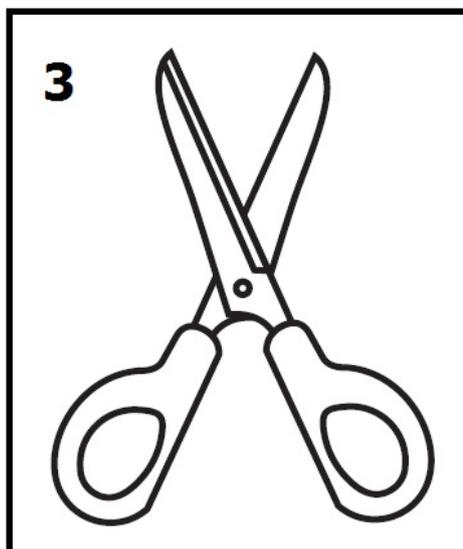
**A**

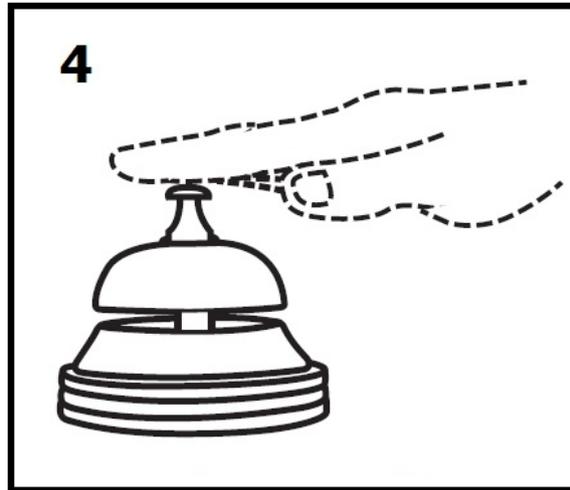


**B**

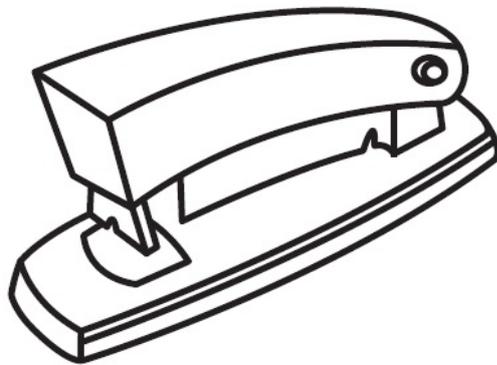






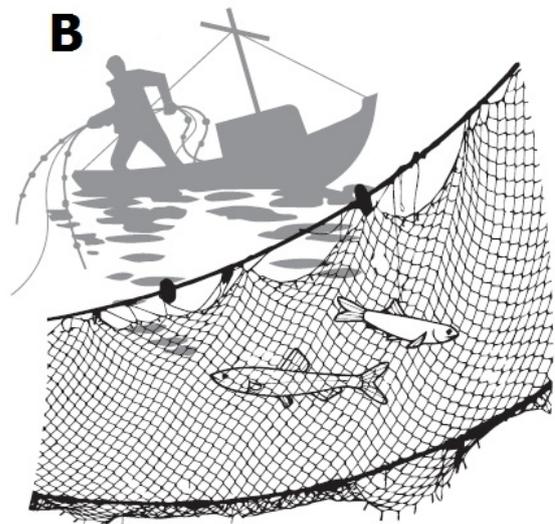
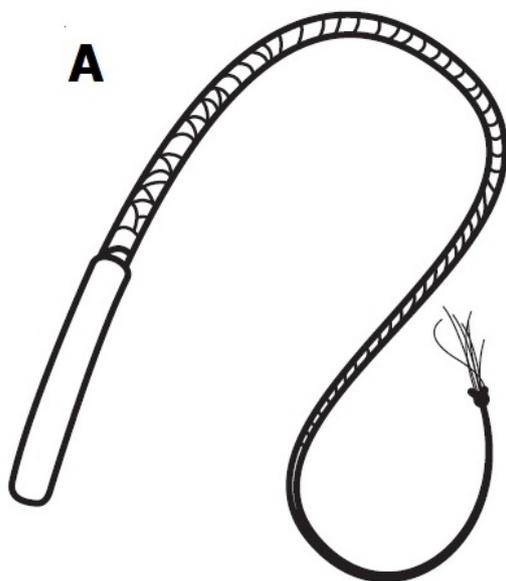
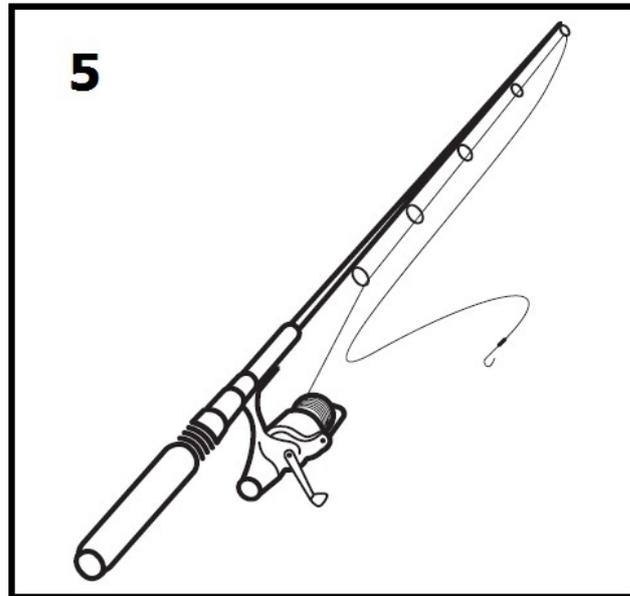


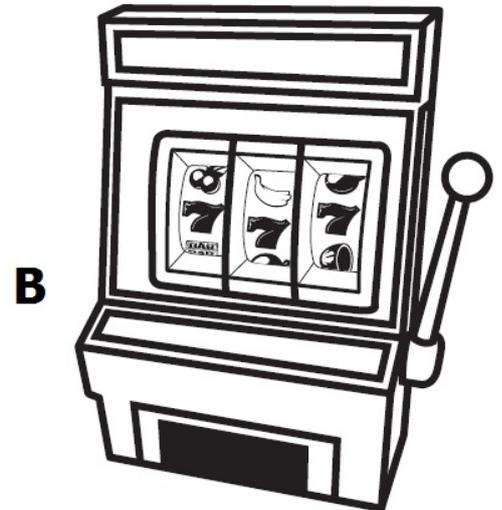
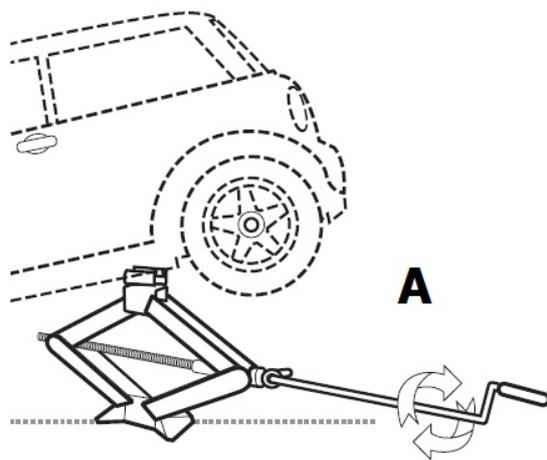
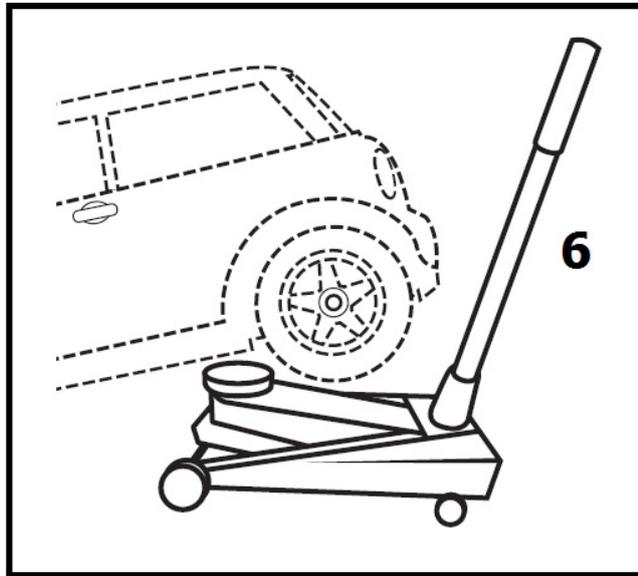
**A**

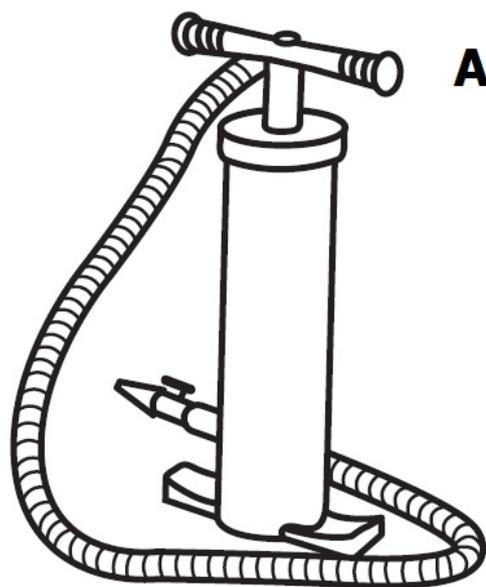
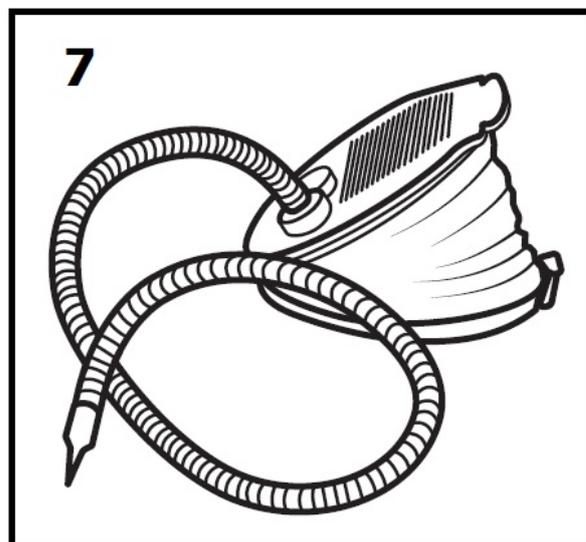


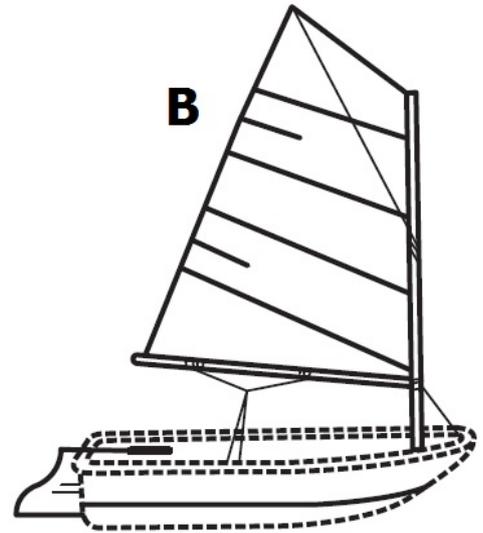
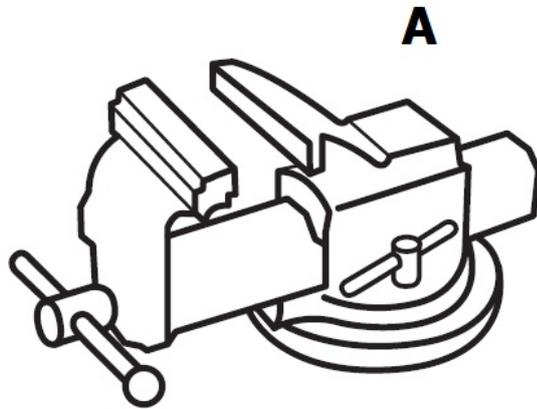
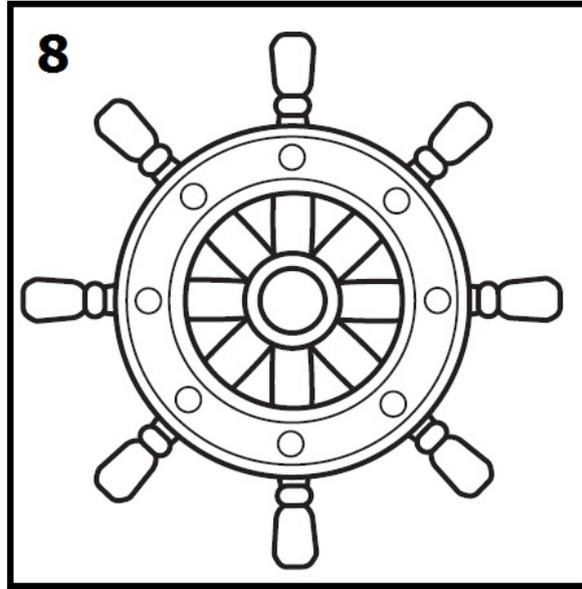
**B**

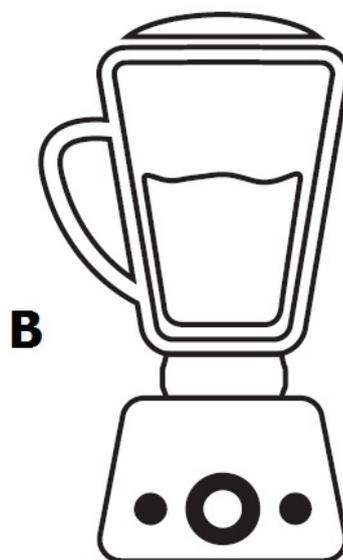
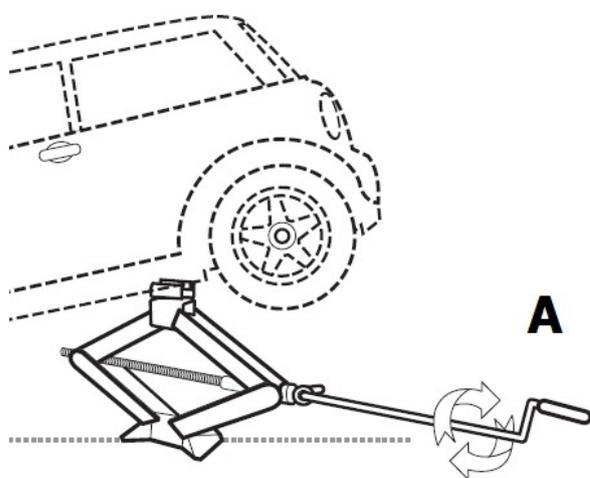
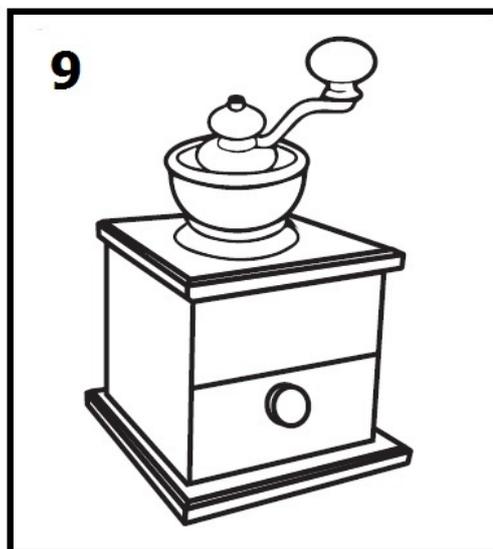


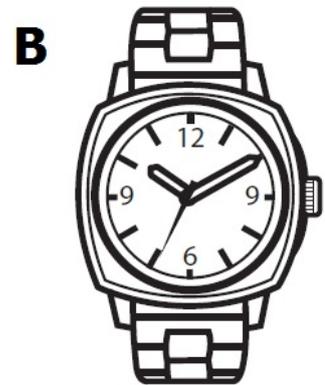
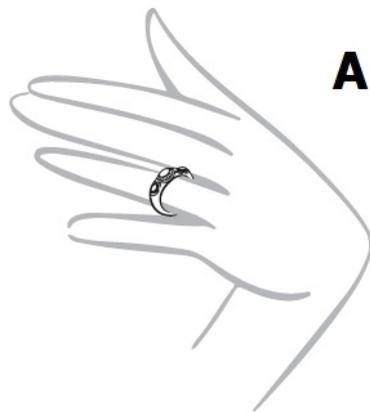
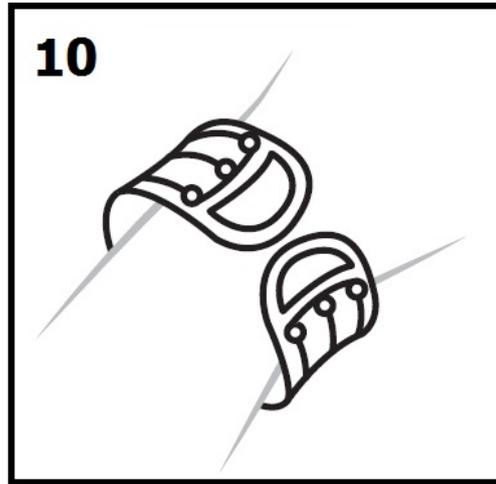


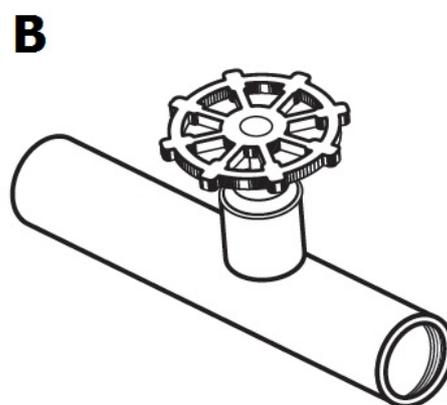
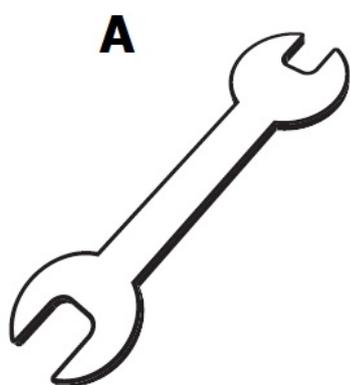
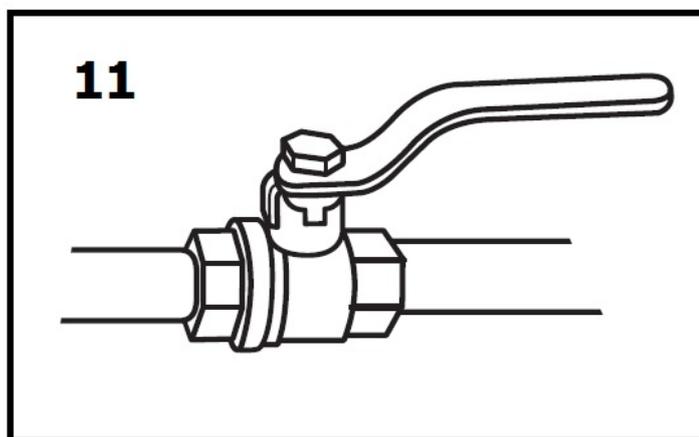


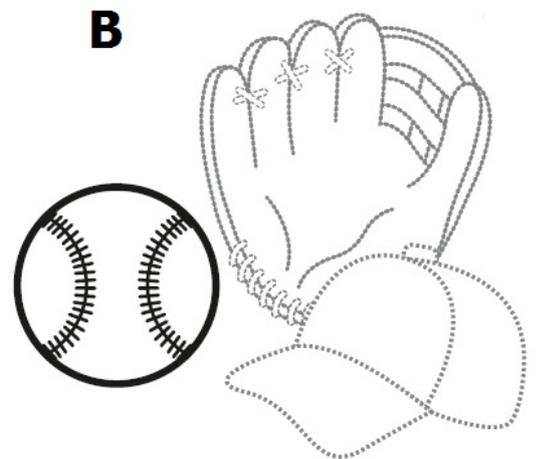
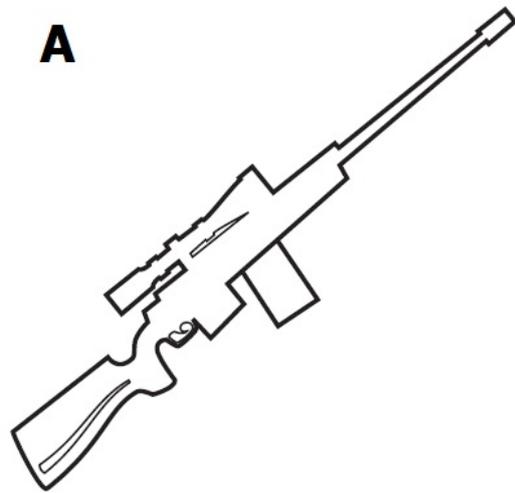
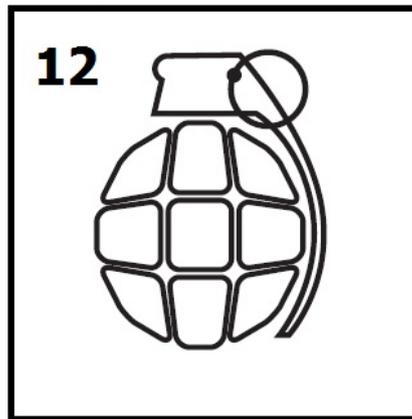


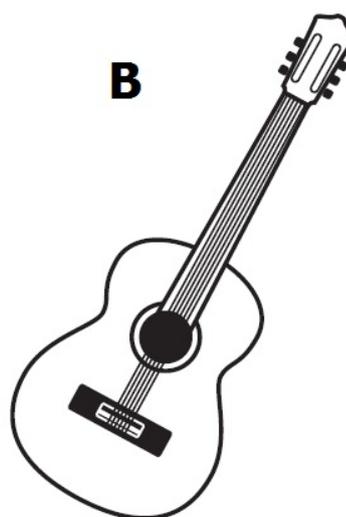
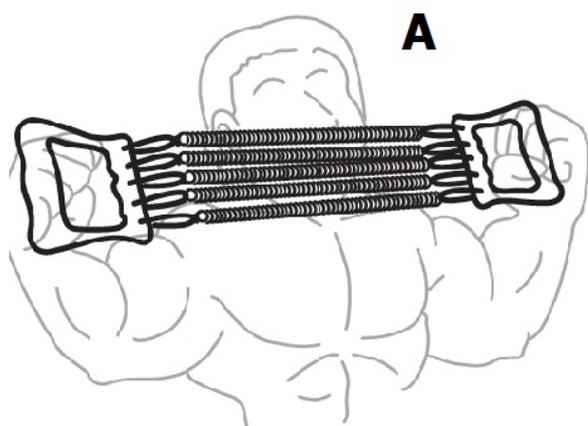
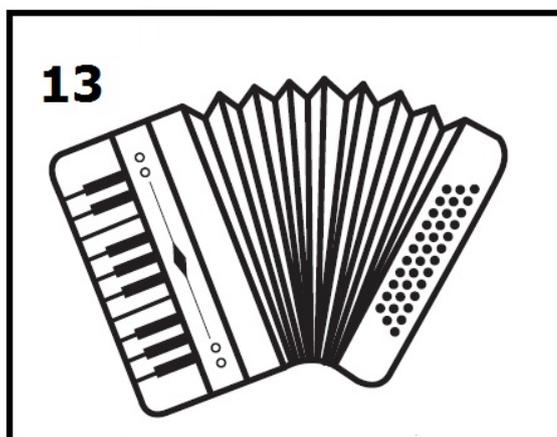


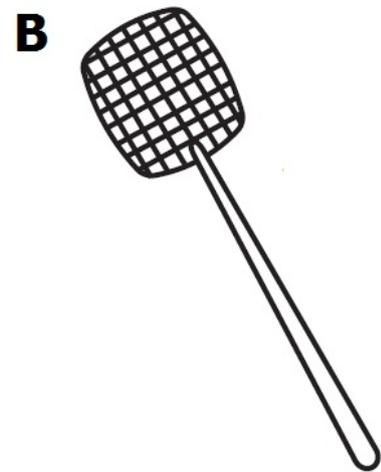
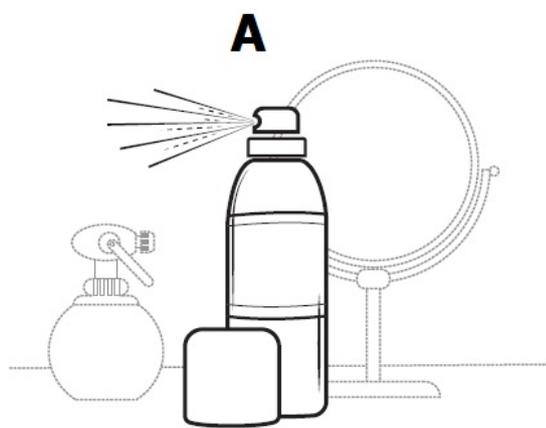


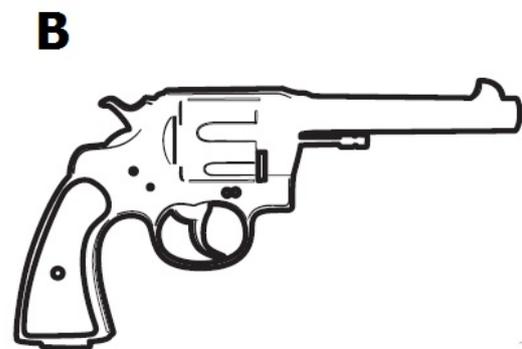
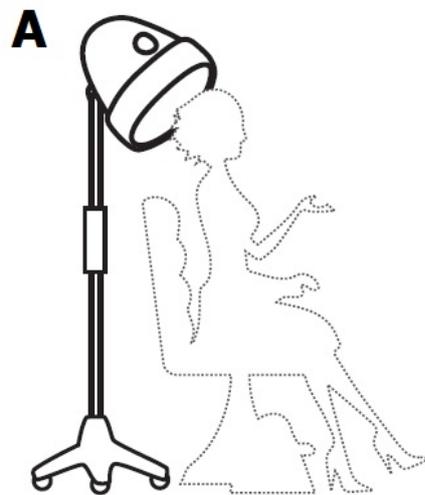
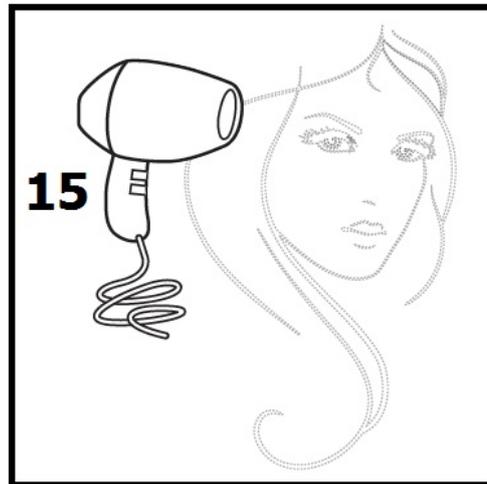


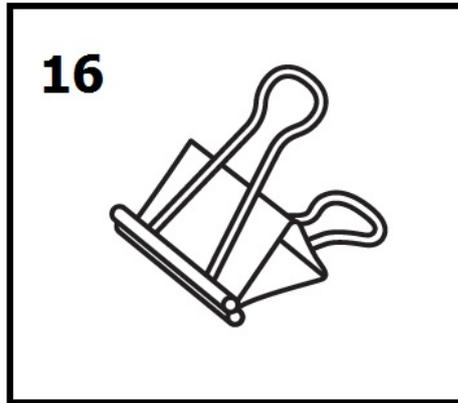




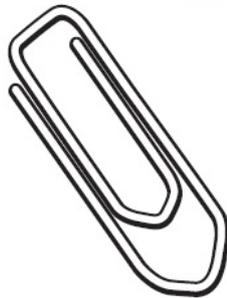




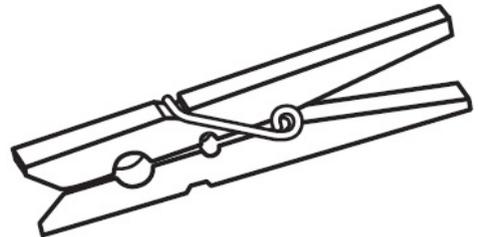


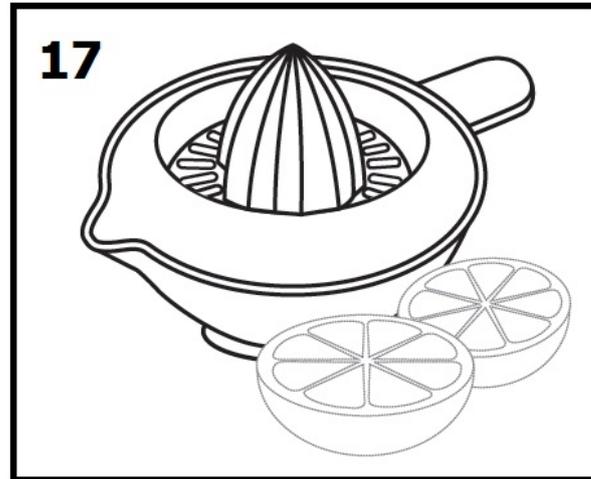


**A**

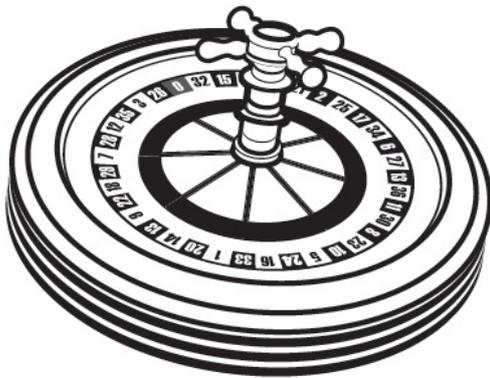


**B**



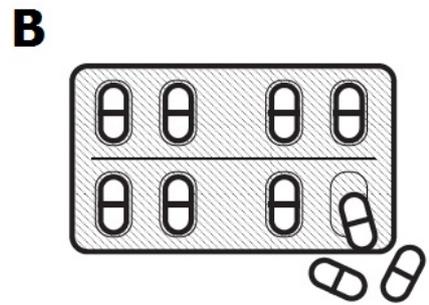
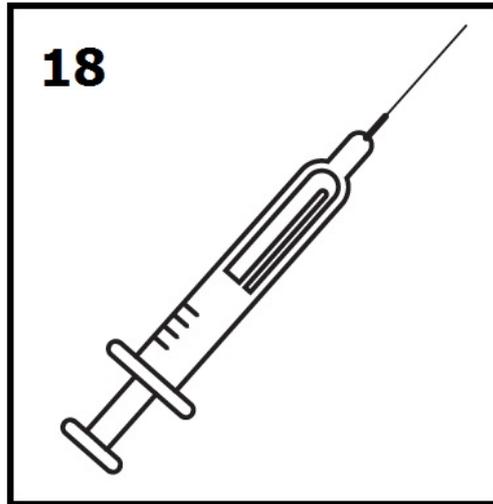


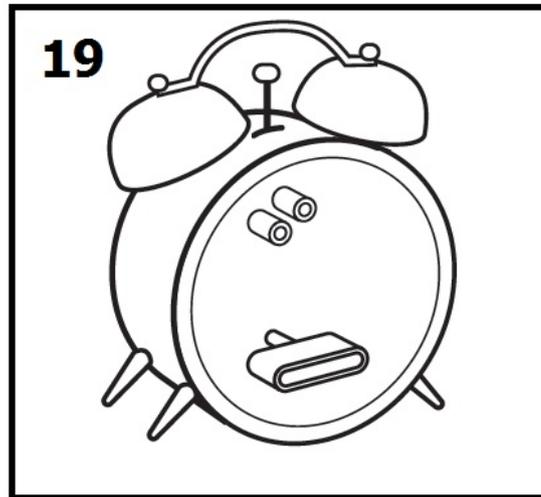
**A**



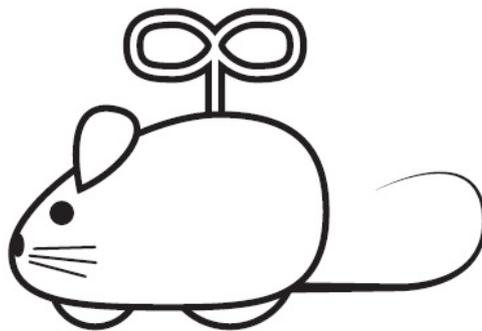
**B**





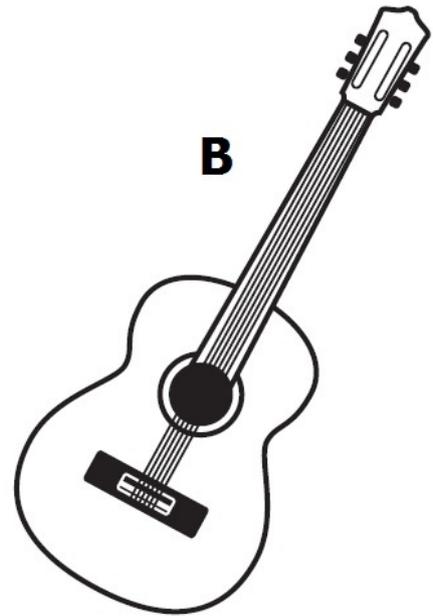
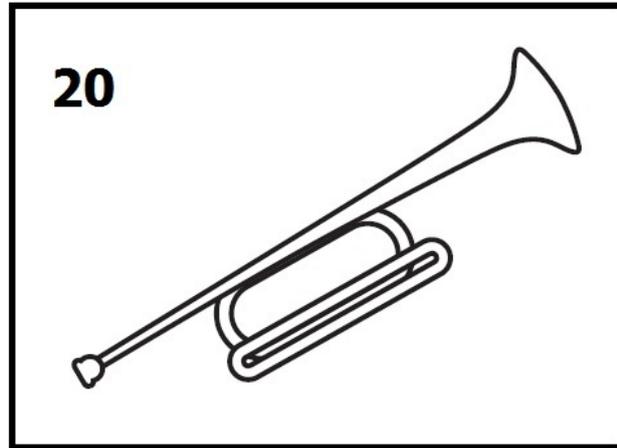


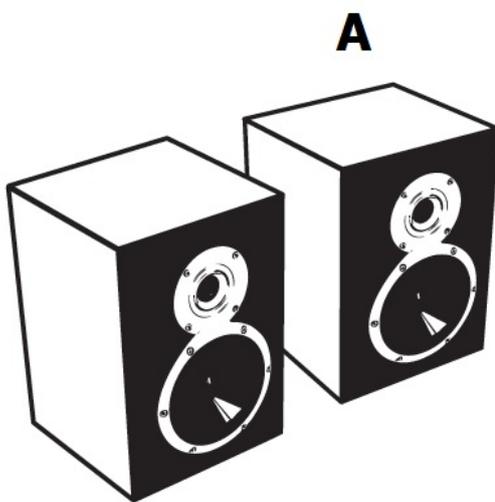
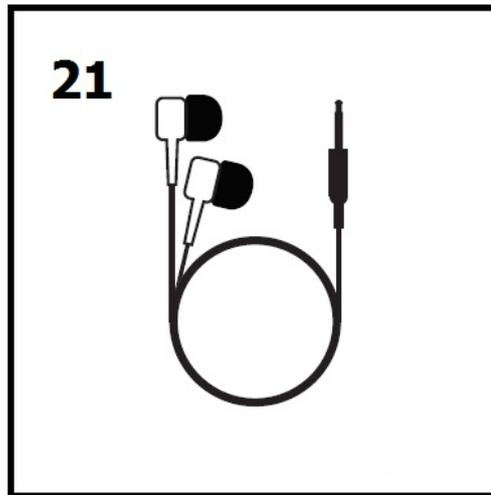
**A**

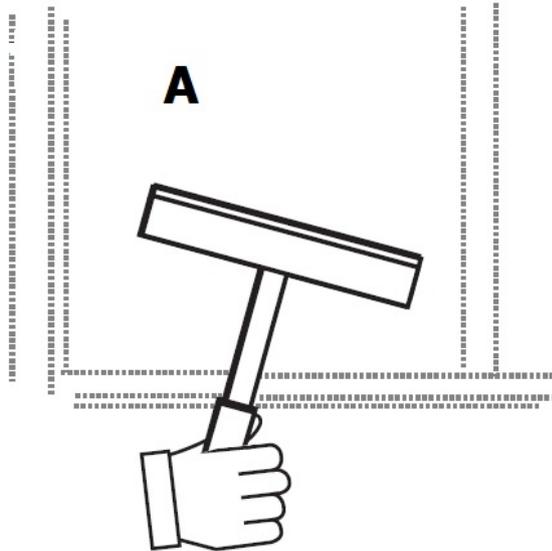
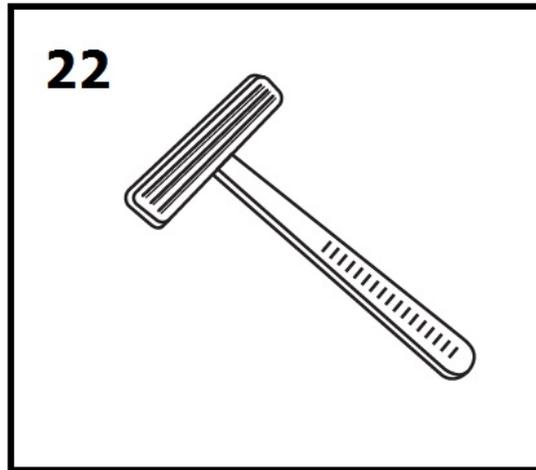


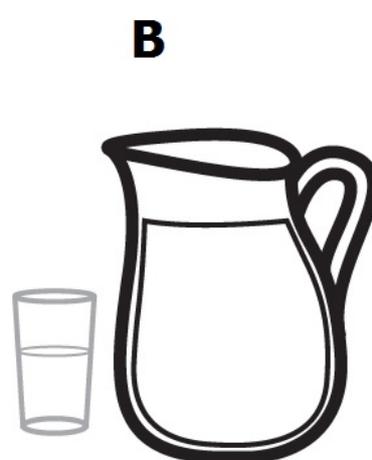
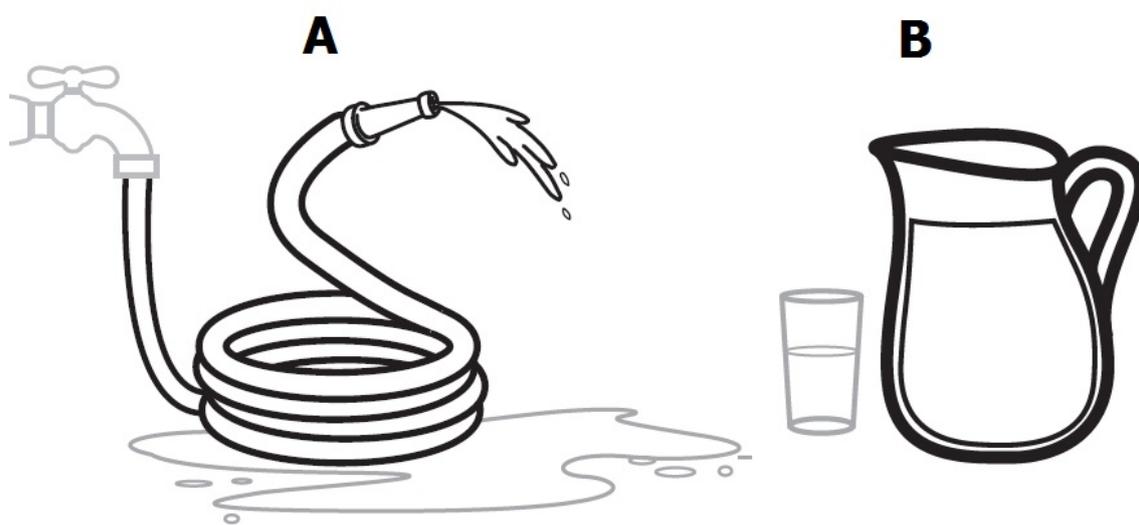
**B**

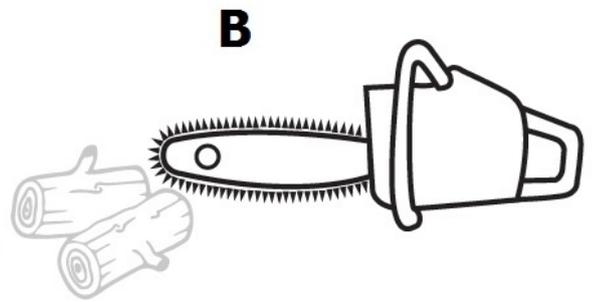
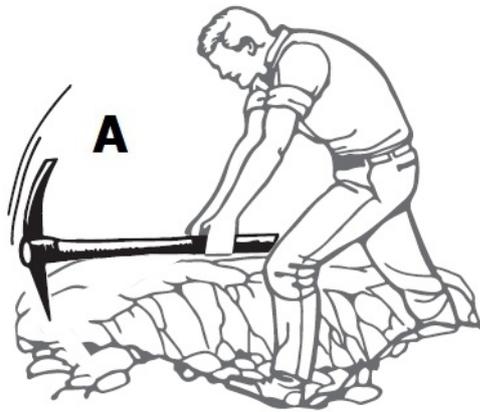
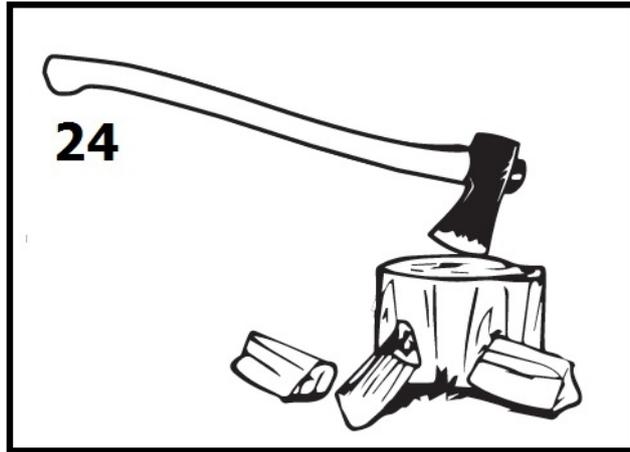


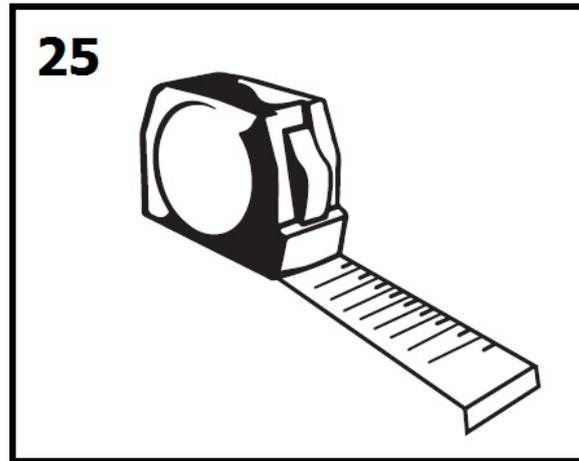




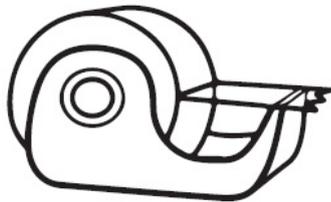




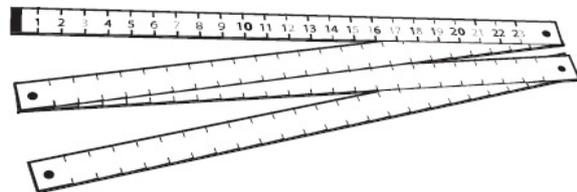


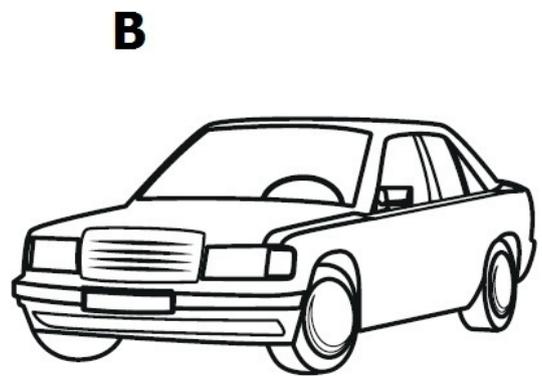
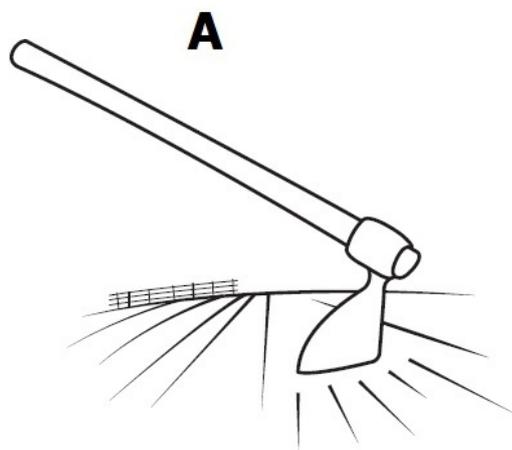
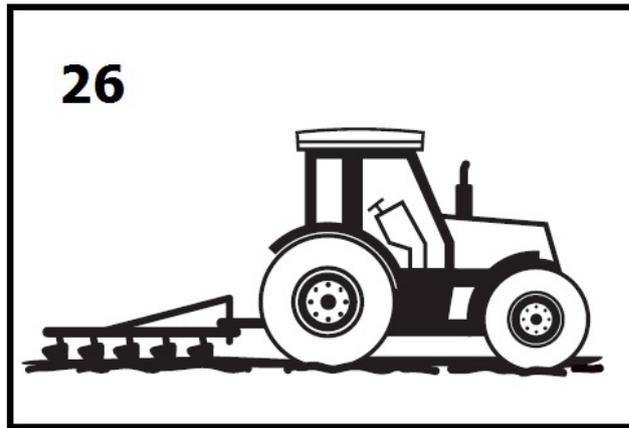


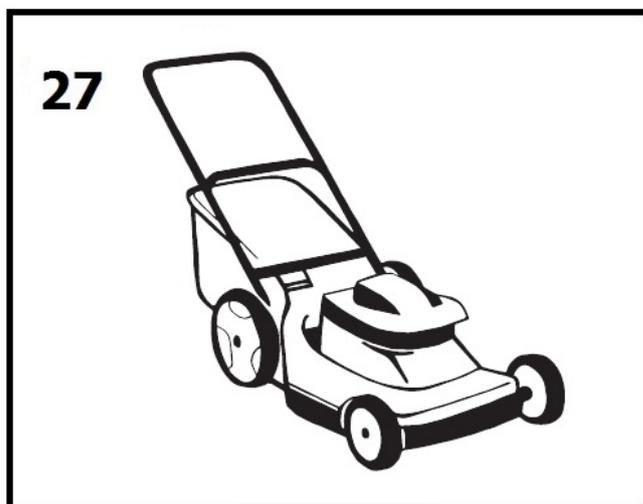
**A**



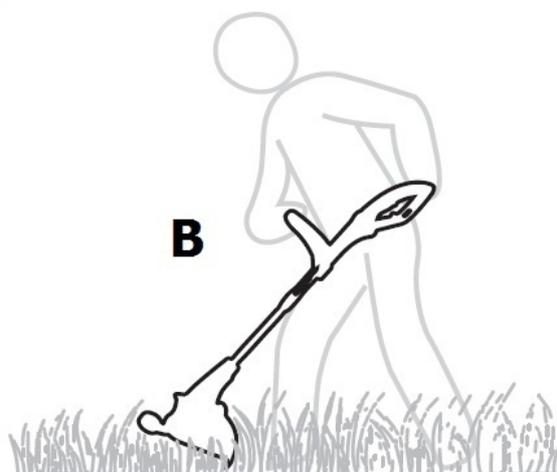
**B**



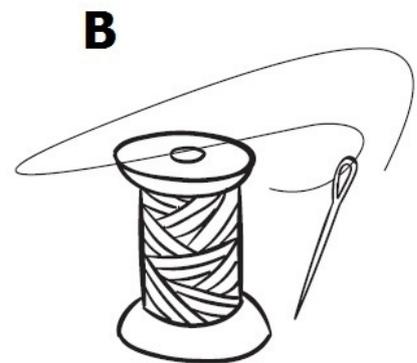
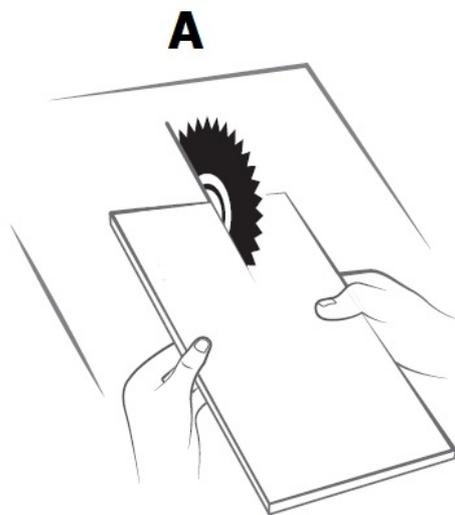
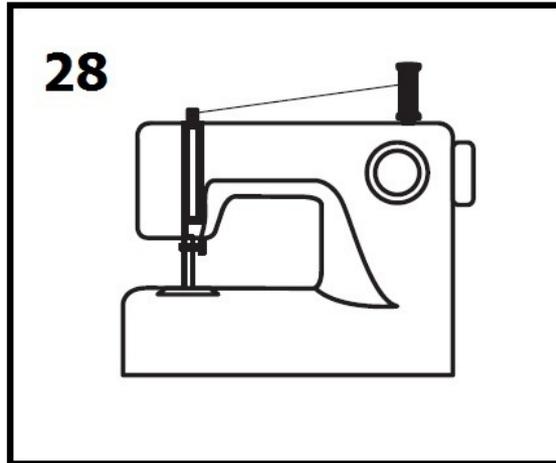


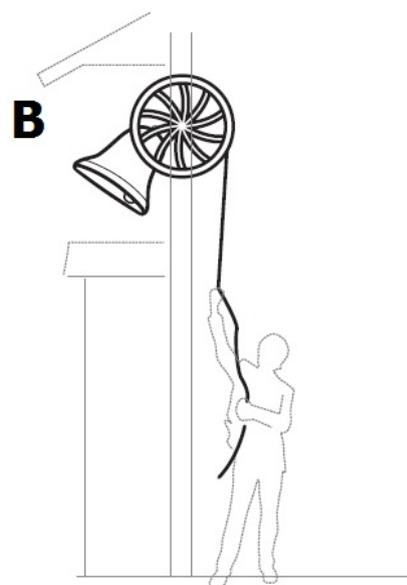
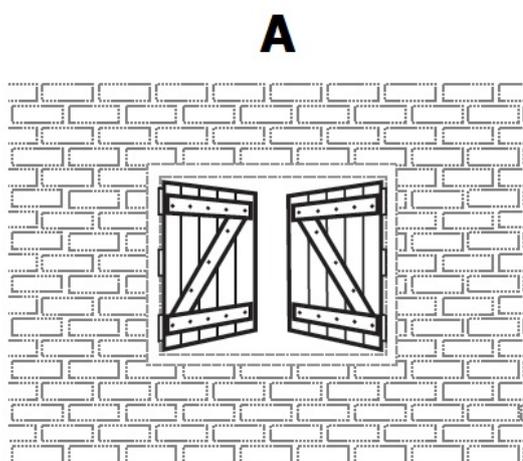
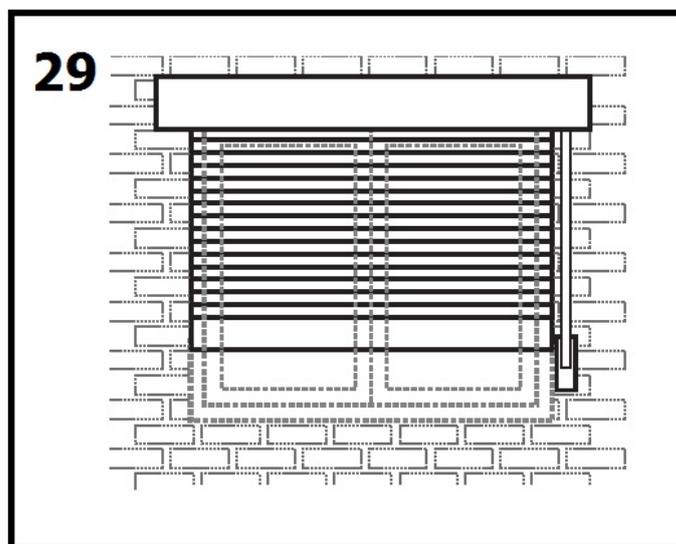


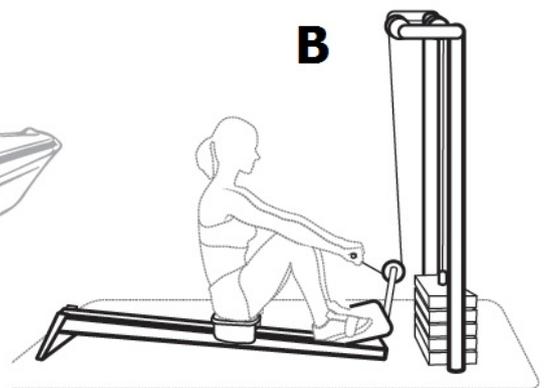
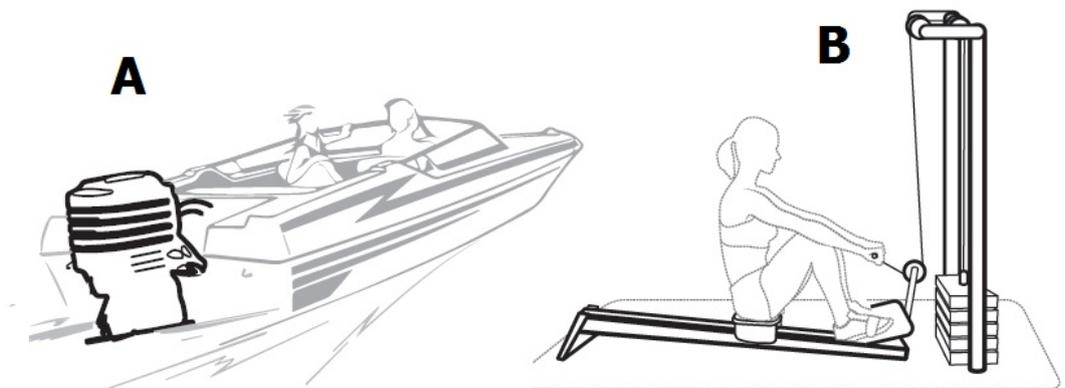
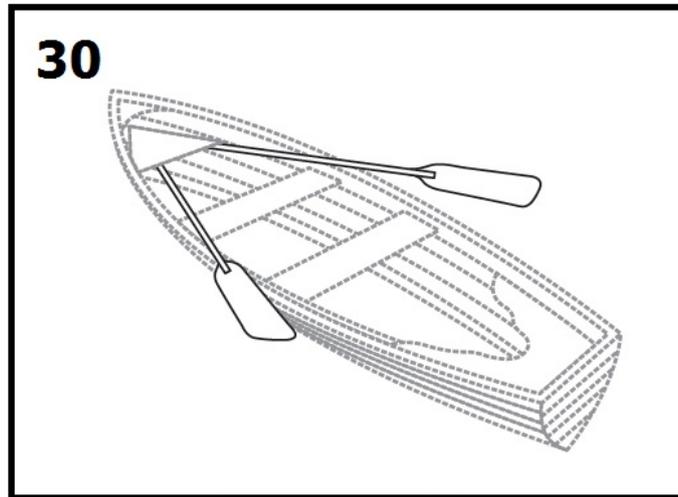
**A**

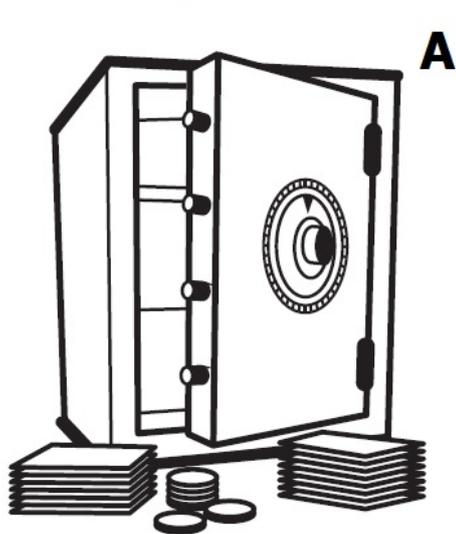
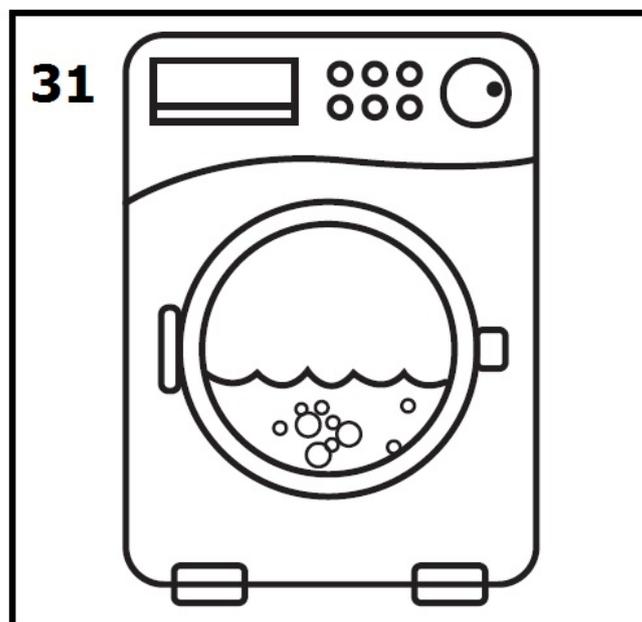


**B**

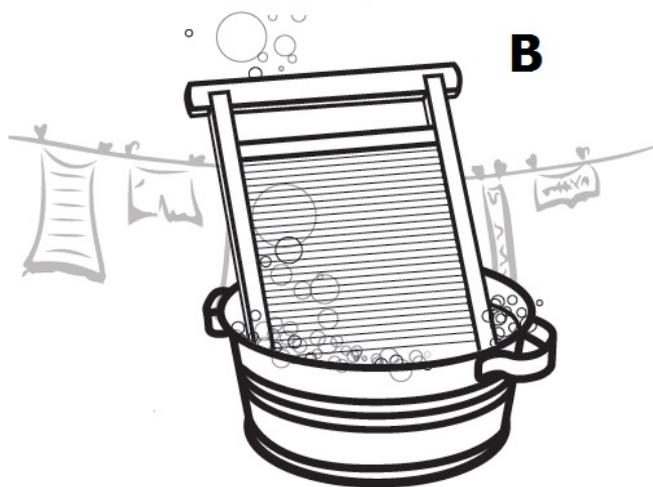




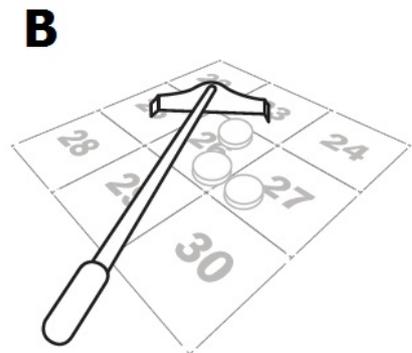
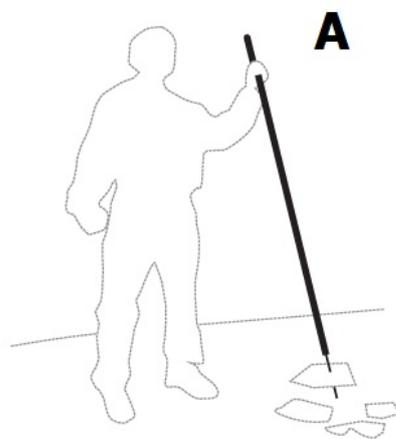
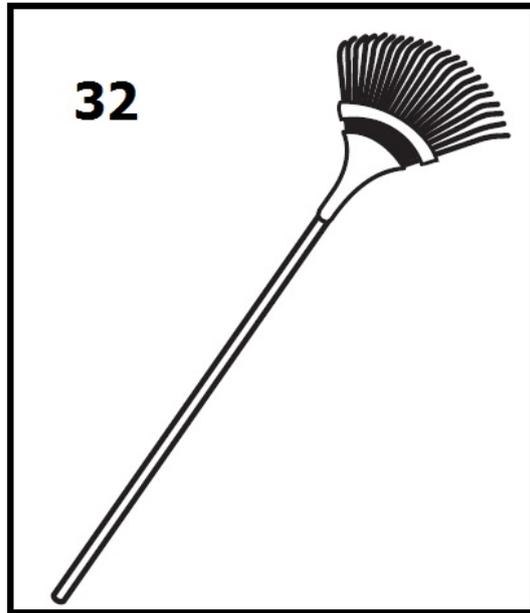


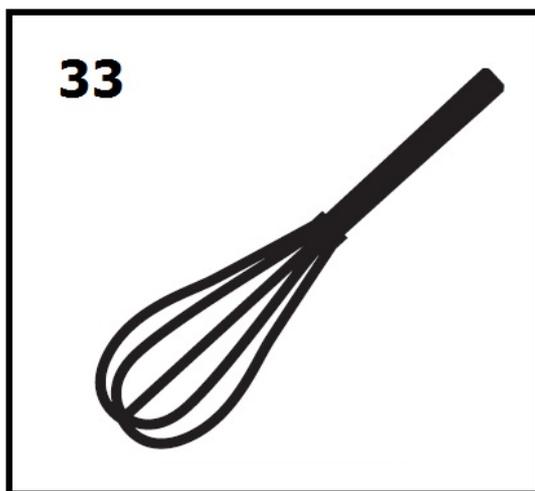


**A**

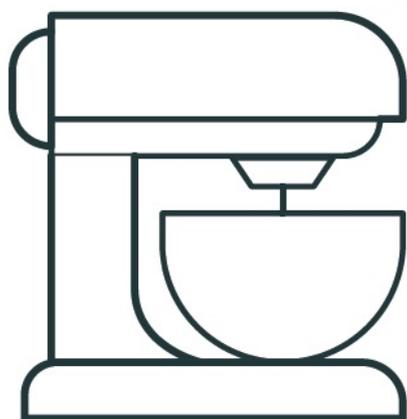


**B**

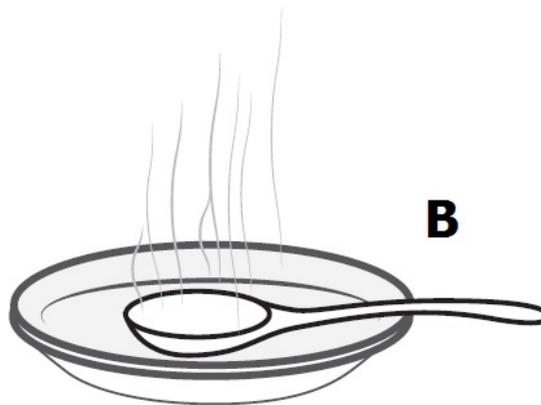


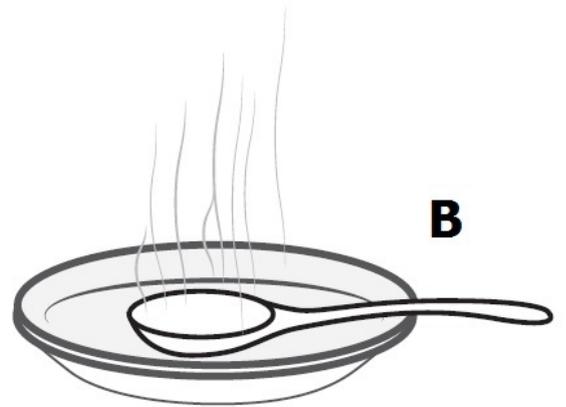
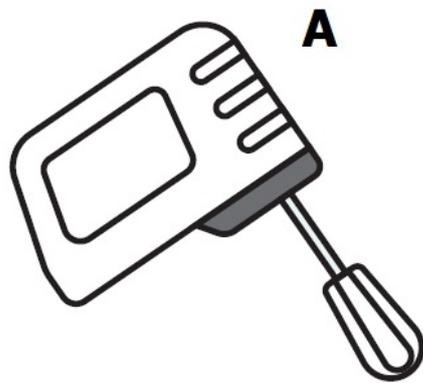
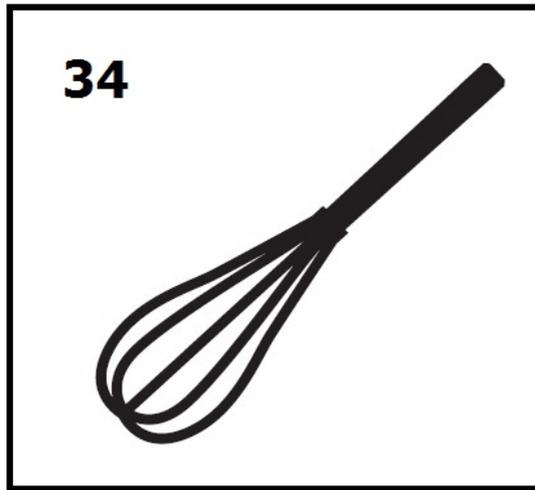


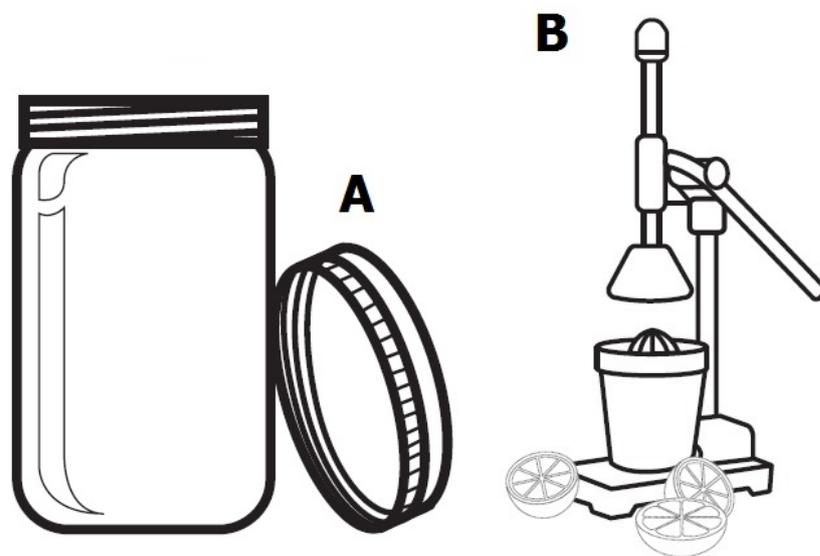
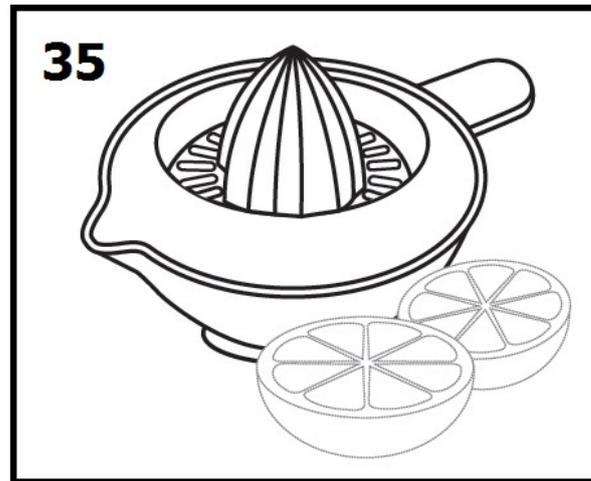
**A**

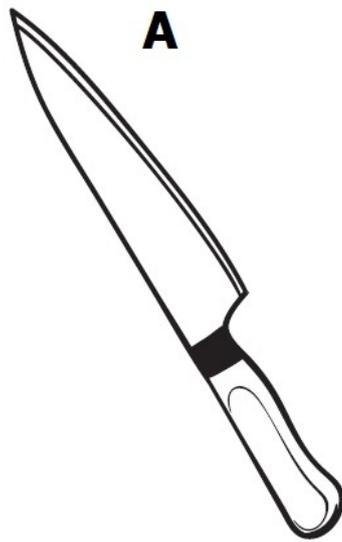
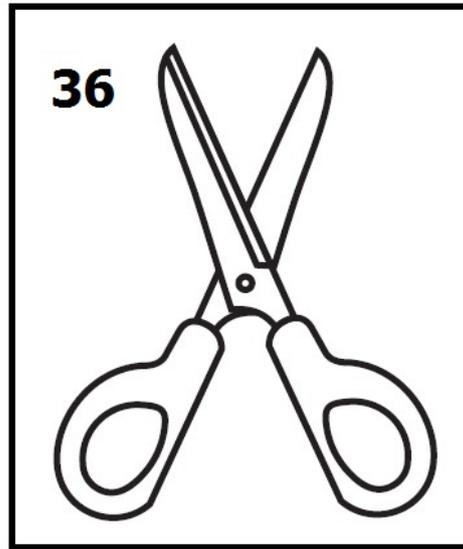


**B**









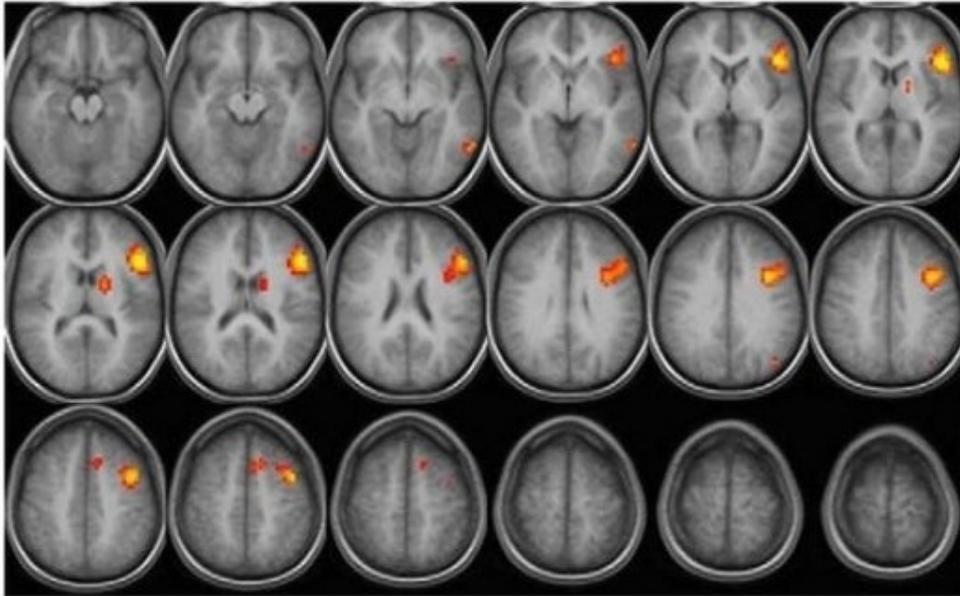
**Apéndice E: Imágenes del estudio de Boronat**

Figura 11.2: Regiones de activación en tareas de discriminación de propiedades funcionales, estudio mediante fMRI (Boronat, 2005) versión lingüística. Se observa la activación de las siguientes zonas: circunvolución temporal inferior izquierda, circunvolución angular izquierda, núcleo caudado izquierdo, circunvolución frontal inferior izquierda, circunvolución frontal media izquierda. (el hemisferio derecho está representado a la izquierda de cada imagen y viceversa). Imagen tomada de Boronat (2005).

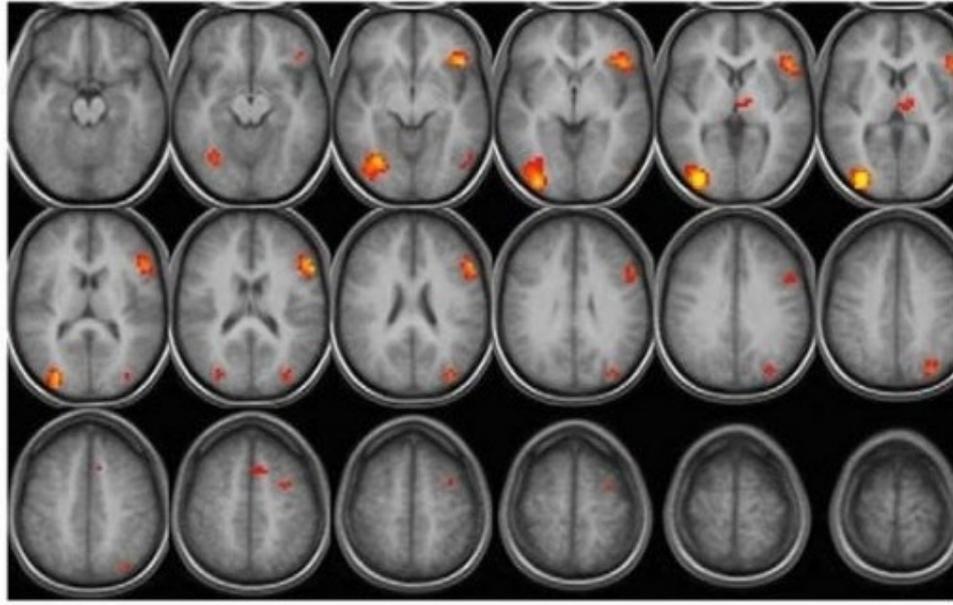


Figura 11.3: Regiones de activación en tareas de discriminación de propiedades funcionales, estudio mediante fMRI (Boronat, 2005) versión pictórica. Se observa la activación de las siguientes zonas: circunvolución temporal inferior bilateral, circunvolución angular bilateral, tálamo izquierdo, circunvolución frontal inferior izquierda, circunvolución frontal media izquierda, lóbulo occipital derecho (el hemisferio derecho está representado a la izquierda de cada imagen y viceversa). Imagen tomada de Boronat (2005).

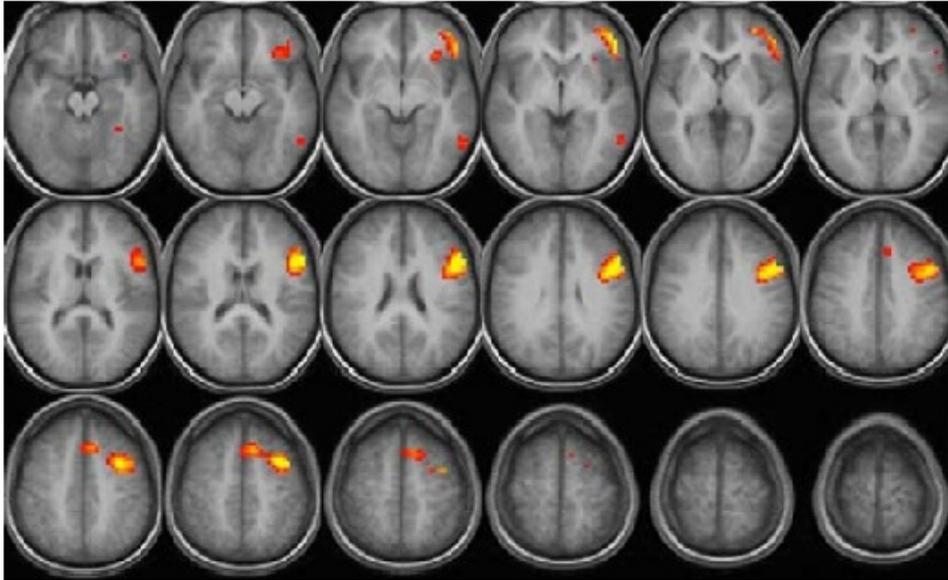


Figura 11.4: Regiones de activación en tareas de discriminación de propiedades de manipulación, estudio mediante fMRI (Boronat, 2005) versión lingüística. Se observa la activación de las siguientes zonas: circunvolución temporal inferior izquierda, circunvolución frontal inferior izquierda, circunvolución frontal media izquierda, circunvolución orbital izquierda (el hemisferio derecho está representado a la izquierda de cada imagen y viceversa). Imagen tomada de Boronat (2005).

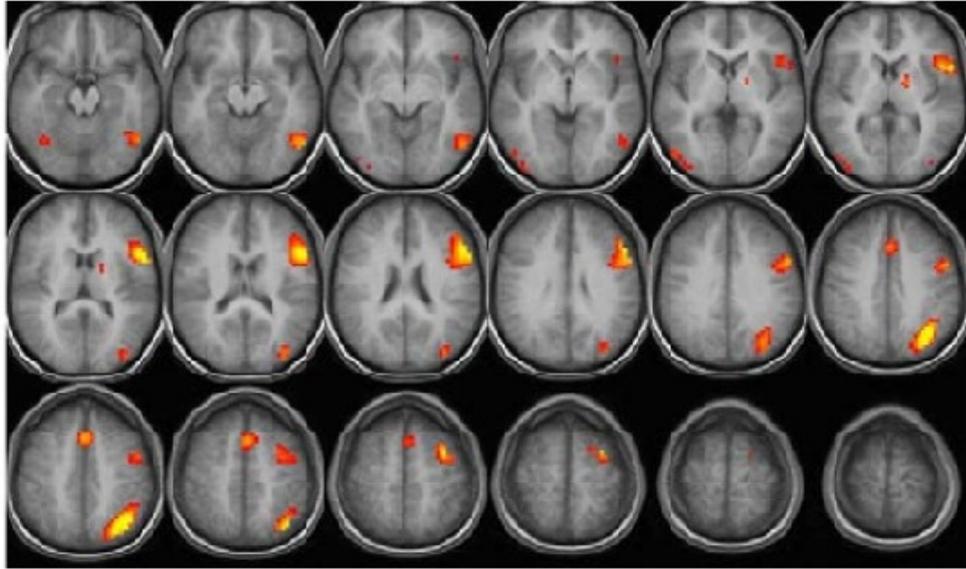


Figura 11.5: Regiones de activación en tareas de discriminación de propiedades de manipulación, estudio mediante fMRI (Boronat, 2005) versión pictórica. Se observa la activación de las siguientes zonas: circunvolución temporal inferior bilateral, núcleo caudado izquierdo; circunvolución frontal inferior izquierda, circunvolución frontal media izquierda; circunvolución angular izquierda (el hemisferio derecho está representado a la izquierda de cada imagen y viceversa). Imagen tomada de Boronat (2005).

## Apéndice F: Aprobación del Comité de Ética del Hospital de Clínicas

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
HOSPITAL DE CLÍNICAS  
"DR. MANUEL QUINTELA"  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE COMISIONES  
COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN

Montevideo, 5 de Diciembre de 2018

Se transcribe resolución del Comité de Ética del Hospital de Clínicas de fecha 5 de Diciembre 2018

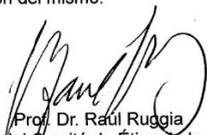
En relación al proyecto presentado por el Instituto de Neurología

**"La representación de las propiedades de función y acción de los objetos en el cerebro, su posible disociación, un test de tríadas y su posible aplicación de situaciones patológicas."**

**Investigador Responsable: Dr. Sergio Dansilio.**

El Comité de Ética de la Investigación del Hospital de Clínicas resuelve aprobar la realización de este proyecto en esta Institución.

La aprobación otorgada por este Comité de Ética es desde el 5 de diciembre de 2018 hasta la fecha de finalización del mismo.



Prof. Dr. Raúl Ruggia  
Coordinador del Comité de Ética de la Investigación

### Integrantes del Comité de Ética del Hospital de Clínicas

Prof. Dr. Raúl Ruggia	Coordinador – Ex Director de Neuropediatría
Dra. Gabriela Ballerio	Abogada- Asistente Académica de Dirección
Prof. Adj. Dra. Aurana Erman	Ex- Profesora Adjunta de Neurocirugía Especialista en Medicina Legal
Sra. Eloisa Barreda	Integrante Representante Aduss
Prof. Agda. Lic. Enf. Inés Umpiérrez	Integrante Licenciada en Enfermería
Prof. Adj. Dra. Leticia Cufetti Terapéutica	Ex- Profesora Adjunta de Farmacología y Especialista en Nefrología y Farmacología
Lic. Psic. Sandra Torres	Secretaria Administrativa

## Apéndice G: Desigualdad de Cronbach

Partimos de la siguiente fórmula para el análisis matemático de los puntajes en un test cognitivo:

$$T = \tau + \varepsilon \quad (11.1)$$

donde  $T$  es el puntaje observado en el test para un participante genérico,  $\tau$  representa la variable que realmente queremos medir y que no es directamente observable (supongamos que es cierta habilidad cognitiva que vamos a suponer cuantificable) y  $\varepsilon$  es una variable que representa cierto error asociado a la realización del test. Asumimos que  $\tau$  y  $\varepsilon$  son variables independientes; esto implica que:

$$V(T) = V(\tau) + V(\varepsilon) \quad (11.2)$$

Por otra parte asumimos que  $\varepsilon$  tiene esperanza matemática cero. La Teoría Clásica de Tests se basa en las relaciones entre  $T$ ,  $\tau$  y  $\varepsilon$ . Intuitivamente, la *confiabilidad* es cierta coherencia en nuestro intento de medir la variable que nos interesa al cabo de varias repeticiones. En este contexto la confiabilidad será mayor cuanto más pequeña sea la varianza de  $\varepsilon$ .

Formalmente definimos la *Confiabilidad* ( $\mathcal{C}$ ) como:

$$\mathcal{C} = \frac{V(\tau)}{V(T)} = \frac{V(\tau)}{V(\tau) + V(\varepsilon)} \quad (11.3)$$

Para un test de puntaje total  $T$  que se descompone en distintos ítems de puntajes respectivos  $T_i$  para  $i = 1, \dots, n$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (11.4)$$

planteamos la descomposición de la fórmula 11.1 en cada ítem

$$T_i = \tau_i + \varepsilon_i \quad (11.5)$$

Se cumple  $\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i$  y  $\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ . Asumimos que las variables  $\varepsilon_i$  son independientes entre sí y que las  $\tau_i$  son independientes de las  $\varepsilon_i$ . Estas asunciones implican que para cada  $i$  se cumple:

$$V(T_i) = V(\tau_i) + V(\varepsilon_i) \quad (11.6)$$

. Se puede demostrar que vale la desigualdad:

$$V(\tau) = V\left(\sum_{i=1}^n \tau_i\right) \leq n \sum_{i=1}^n V(\tau_i) \quad (11.7)$$

Probar la desigualdad de Cronbach

$$\frac{V(\tau)}{V(T)} \geq \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n V(T_i)}{V(T)}\right) \quad (11.8)$$

es equivalente a probar

$$\begin{aligned} (n-1)V(\tau) &\geq n \left( V(\tau) + V(\varepsilon) - \sum_{i=1}^n (V(\tau_i) + V(\varepsilon_i)) \right) = \\ &n \left( V(\tau) + V(\varepsilon) - \sum_{i=1}^n V(\tau_i) - \sum_{i=1}^n V(\varepsilon_i) \right) = \\ &= nV(\tau) - n \sum_{i=1}^n V(\tau_i) \end{aligned} \quad (11.9)$$

Esta última simplificación se debe a que

$$V(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n V(\varepsilon_i)$$

por ser los  $\varepsilon_i$  independientes (los  $\tau_i$  se espera que no lo sean). La desigualdad:

$$(n-1)V(\tau) \geq nV(\tau) - n \sum_{i=1}^n V(\tau_i) \quad (11.10)$$

es equivalente a

$$-V(\tau) \geq -n \sum_{i=1}^n V(\tau_i) \quad (11.11)$$

que a su vez es equivalente a la desigualdad 11.7. Sólo resta entonces demostrar la desigualdad 11.7. Lo haremos por inducción completa sobre  $n$ . Para  $n = 1$  esta desigualdad se reduce a la igualdad:

$V(\tau_1) = \sum_{i=1}^1 V(\tau_i) = V(\tau_1)$ . Por otra parte, si asumimos como hipótesis

que la desigualdad se cumple para  $n$ :  $V\left(\sum_{i=1}^n \tau_i\right) \leq n \sum_{i=1}^n V(\tau_i)$  sólo nos resta demostrar que la desigualdad se cumple para  $n + 1$ .

$$V\left(\sum_{i=1}^{n+1} \tau_i\right) = V\left(\sum_{i=1}^n \tau_i\right) + V(\tau_{n+1}) + 2 \sum_{i=1}^n \text{cov}(\tau_{n+1}, \tau_i) \quad (11.12)$$

El primer sumando del segundo miembro de la igualdad está acotado por  $n \sum_{i=1}^n V(\tau_i)$  en virtud de la hipótesis de inducción. Por otra parte, para cada  $i$ , se cumple trivialmente que  $2 \text{cov}(\tau_{n+1}, \tau_i) \leq V(\tau_{n+1}) + V(\tau_i)$ . Por lo tanto tenemos que:

$$V\left(\sum_{i=1}^{n+1} \tau_i\right) \leq n \sum_{i=1}^n V(\tau_i) + V(\tau_{n+1}) + \sum_{i=1}^n V(\tau_i) + nV(\tau_{n+1}) = (n+1) \sum_{i=1}^{n+1} V(\tau_i) \quad (11.13)$$

Q.E.D.

# Referencias

- Abrevaya S., Sedeño L., Fittipaldi S., Pineada D., Lopera F. et al.(2017).** *The road less traveled : alternative pathways for action- verb processing in Parkinson's disease.* J. Alzheimers Dis. 55, pp. 1429-1435.
- Bak, T. H., & Hodges, J. R. (2003).** *Kissing and dancing A test to distinguish the lexical and conceptual contributions to noun/verb and action/object dissociation: Preliminary results inpatients with frontotemporal dementia.* Journal of Neurolinguistics, 16, 169–181.
- Barsalou L.W. (2008).** *Grounded Cognition.* Annu. Rev. Psychol. 59. pp. 617-45.
- Bartlett F. (1932)** *Remembering: A study in experimental and social psychology,* Cambridge University Press.
- Boronat et al. (2005).** *Distinctions between manipulation and function knowledge of objects: evidence from functional magnetic resonance imaging.* Cognitive Brain Research, Volume 23, Issues 23,May 2005, Pages 361–373.
- Bright, P., Moss, H. & Tyler, L. K. (2004).** *Unitary vs multiple semantics: PET studies of word and picture processing.* Brain and Language 89, 417–432.
- Brunner R.J., Kornhuber H.H., Seemuller E., Suger G., Wallesch C.W. (1982).** *Basal ganglia participation in language pathology.* Brain and Language, 16: pp. 281–299.
- Buxbaum, L.J., Schwartz M.F., Carew T.G. (1997).** *The role of semantic memory in object use.* Cognitive Neuropsychology. , Vol. 14 Issue 2, p. 219–254.
- Buxbaum L.J., Veramontil T., Schwartz M.F. (2000).** *Function and manipulation tool knowledge in apraxia: knowing 'what for'but not 'how'.*- Neurocase, 6 83–97.

- Buxbaum, L.J.; Saffran E.M. (2002).** *Knowledge of object manipulation and object function: dissociations in apraxic and non-apraxic subjects.* *Brain and Language* 82 179-199.
- Capitani E., Laiacona M., Mahon B., Caramazza A. (2003).** *What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence.* *Cognitive Neuropsychology*, 20, 213-261.
- Cappa S.F., Cavallotti G., Guidotti M., Papagno C., Vignolo L. (1983).** *Subcortical aphasia: two clinical-CT scan correlation studies.* *Cortex*, 19: pp. 227-41.
- Caramazza A., Hillis A.E., Rapp B., Romani, C. (1990).** *The multiple semantics hypothesis: Multiple confusion?.* *Cognitive Neuropsychology*, 7, 161-189.
- Caramazza A., Shelton J.R. (1998).** *Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction.* *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 1-34. (EW)
- Cardona J.F., Gershanik O., Gelormini-Lezama C., et al (2013)** *Action-verb processing in Parkinson's disease: New pathways for motor-language coupling.* *Brain. Struct. Funct.* 218, pp. 1355-1373.
- Colotla V., Bach-y-Ritta P. (2002)** *Shepherd Ivory Franz: His contributions to neuropsychology and rehabilitation,* *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2 (2) pp. 141-148.
- Crosson B., Benjamin M., Levy I. (2007).** *Role of the basal ganglia in language and semantics: supporting cast del libro Neural Basis of Semantic Memory,* Hart J., Kraut M. Ed., Cambridge University Press.
- Damasio A.R. (1989)** *The brain binds entities and events by multi-regional activation from convergence zones.* *Neural Computation*; Vol. 1 Issue: 1 pp. 123-132.
- Delacourte A., David J.P., Sergeant N., Buée L., Watez A., Vermersch P., Ghazali F., Fallet-Bianco C., Pasquier F., Lebert F., Petit H., Di Menza C. (1999)** *The biochemical pathway of neurofibrillary degeneration in aging and Alzheimers disease.* *Neurology* 52, pp. 1158-1165.
- Devlin et al (2002).** *Is there an anatomical basis for category-specificity? Semantic memory studies in PET and fMRI.* *Neuropsychologia* 40, 54-75.

- Donders F.C. (1868)** *Die Schnelligkeit psychischer Prozesse*. Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin, pp. 657-681.
- Ebbinghaus (1913)** *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*, Teachers College, Columbia University, New York.
- Folstein, M., Folstein, S.E., McHugh, P.R. (1975)**. “Mini-Mental State” a Practical Method for Grading the Cognitive State of Patients for the Clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3); 189–198.
- García A., Ibáñez A. (2014)**. *Words in motion: Motorlanguage coupling in Parkinson’s disease*. *Transl. Neurosci.* 5, pp. 152–159.
- García A., Carrillo F., Orozco-Arroyave J.R., Trujillo N. et al (2016)** *How language flows when movements dont: An automated analysis of spontaneous discourse in Parkinsons disease*. *Brain. Lang.* 162, pp. 19–28.
- Glenberg A.M., Kaschak M.P. (2002)**. *Grounding language in action*. *Psychonomic bulletin & review*, 9 (3), pp. 558–565.
- Goldstein, E. (2011)**. *Cognitive psychology: Connecting mind, research, and everyday experience (3rd ed.)*. Australia: Wadsworth Cengage Learning.
- Gorno-Tempini M.L. et al (2011)**. *Classification of primary progressive aphasia and its variants*. *Neurology*. 76(11): 1006-1014.
- Gudayol-Ferre et al. (2008)**. *Semantic memory as assessed by the Pyramids and Palm Trees Test: The impact of sociodemographic factors in a Spanish-speaking population*. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14, 148-151.
- Guo et al (2013)**. *Adapting the Pyramids and Palm Trees Test and the Kissing and Dancing Test and developing other semantic tests for the Chinese population*. *Applied Psycholinguistics*, pp. 1-19, Cambridge University Press.
- Hart. J.R., Kraut M. (2007)**. *Neural Basis of Semantic Memory*. Cambridge University Press.
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2016)**. *The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction*. Springer Verlag, New York.

- Hebb. D.O., (1949).** *Organization of behavior*. John Wiley and Sons, New York.
- Herculano-Houzel S., Lent R. (2005).** *Isotropic Fractionator: A Simple, Rapid Method for the Quantification of Total Cell and Neuron Numbers in the Brain*. *The Journal of Neuroscience*. 25 (10): pp. 2518-2521.
- Hermann K., Turner J.W., Gillingham F.J., Gaze R.M. (1966).** *The effects of destructive lesions and stimulation of the basal ganglia on speech mechanisms*. *Confinia Neurologica*, 27: pp. 107–207.
- Hodges J., Graham N., Patterson K. (1995)** . *Charting the progression in semantic dementia: Implications for the organisation of semantic memory*. - *Memory*,3, pp. 463–495.
- Hodges J.R., Patterson K. (2007).** *Semantic dementia: a unique clinicopathological syndrome*. *The Lancet Neurology*, Elsevier; 6, pp. 1004–1014.
- Howard, D., Patterson, K. (1992).** *The Pyramids and Palm Trees Test: A test for semantic access from words and pictures*. Bury St. Edmunds: Thames Valley Test Company.
- Hubel D.H., Wiesel T.N. (1959)** *Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex*. *J Physiol*. 148. pp 574-591.
- Humphreys G.W., Forde E.M.E. (2001).** *Hierarchies, similarity, and interactivity in object recognition: "Category-specific" neuropsychological deficits*. *Behavioural and Brain Sciences*, 24, 453-509.
- Ito M., Tamura H., Fujita I., Tanaka K. (1995).** *Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex*. *Journal of Neurophysiology*, 73, 218-226.
- James W. (1890)** *The Principles of Psychology*, Henry Holt and Company.
- Jefferies E., Lambon Ralph M.A. (2006).** *Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison*. *Brain* 129, pp. 2132-2147.
- Jefferies E., Patterson K., Lambon Ralph M.A. (2007).** *Deficits of knowledge vs. executive control in semantic cognition: insights from cued naming*. *Neuropsychologia* 46, pp. 649-658.
- Kable, J. W., Lease-Spellmeyer, J., & Chatterjee, A. (2002).** *Neural substrates of action event knowledge*. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 795-805.

- Kandel E.R. (2001)** *The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialogue Between Genes and Synapses*. Science, 294, pp. 1030–1038.
- Kaplan, E., Goodglass, H., Weintraub, S. (1983)**. *Boston naming test*. Philadelphia: Leaand Febiger
- Keil F.C. (1989)**. *Concepts, Kinds, and Cognitive Development*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Kemmerer, D., Tranel, D., & Barrash, J. (2001)**. *Patterns of dissociation in the processing of verb meanings in brain-damaged subjects*. Language and Cognitive Processes, 16, 1-34.
- Kohler S., Kapur S., Moscovith M., Winocur G., Houle S. (1995)**. *Dissociation of pathways for object and spatial vision: A PET study in humans*. NeuroReport, 6, 1865-1868.
- Kohonen T. (1982)** *Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps*. Bio. Cybern., 43, 59–69.
- Kohonen T. (1984)** *Self-Organization and Associative Memory*. Springer Series in Information Sciences 8, Heidelberg.
- Kovács Z. (2002)**. *Redes Neurais Artificiais*, Editora Livraria da Física
- Landauer, T. and Dumais, S. (1997)**. *A solution to Platos problem: the latent semantic analysis theory of acquisition, induction and representation of knowledge*. Psychological review, 104, 211-240.
- Landin-Romero R., Tan R., Hodges J., Kumfor F. (2016)**. *An update on semantic dementia: genetics, imaging, and pathology*. Alzheimer's Research & Therapy volume 8, Article number: 52.
- Lashley K.S. (1950)** *In search of the Engram*, Symposia of the Society for Experimental Biology, 4, pp. 454–482.
- Lima Lages E. (2004)**. *Algebra Linear*. IMPA.
- Magni  M., Ferreira C., Giusiano B., Poncet M. (1998)**. *Category specificity in object agnosia: Preservation of sensorimotor experiences related to objects*. Neuropsychologia, 37 67–74.
- Mahon B.Z., Caramazza A. (2003)**. *Constraining questions about the organisation and representation of conceptual knowledge*. Cognitive Neuropsychology, 20, pp. 433–450.

- Maldonado H., Romano A., Tomsic D. (1997)** *Long-term habituation (LTH) in the crab Chasmagnathus: a model for behavioral and mechanistic studies of memory*. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 30, pp. 813–826.
- Maldonado H. (2008)** *La memoria animal: Adquisición, persistencia y olvido*, Eudeba.
- Mäntylä T., Sgaramella T. (1997)** *Interrupting intentions: Zeigarnik-like effects in prospective memory*, Psychol Res. (60) pp. 192–199.
- Martin A., Haxby J.V., Lalonde F.M., Wiggs C.L. (1995)** *Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action*, Science, 270, 102–105.
- Martin A., Ungerleider L.G., Haxby J.V. (2000)**. *Category specificity and the brain: The sensory/motor model of semantic representations of objects*. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 1023-1036). Cambridge, MA: MIT Press.
- Martínez-Cuitiño, M., Barreyro, J.P. (2010)**. *¿Pirámides y palmeras o pirámides y faraones?: Adaptación y validación de un test de asociación semántica al español rioplatense*. Interdisciplinaria. 27. 247-260.
- McClelland, J.L., D.E. Rumelhart and the PDP Research Group (1986)**. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Volume 2: Psychological and Biological Models, Cambridge, MA: MIT Press.
- Mesulam MM. (1982)**. *Slowly progressive aphasia without generalized dementia*. Ann. Neurol.; 11 : pp. 592–598.
- Mizraji, E. (1989)** .*Context-dependent associations in linear distributed memories*. Bulletin of mathematical biology, 51, pp. 195-205.
- Mizraji, E., Pomi, A. and Alvarez, F. (1994)**. *Multiplicative contexts in associative memories*. Biosystems, 32, pp. 145-161.
- Mizraji E. (2010)**. *En busca de las leyes del pensamiento*, Ed. Trilce.
- Morris R.G., Salmon D.P. (2007)** *The centennial of Alzheimer's disease and the publication of "über eine eigenartige erkankung der hirnrinde" by Alöis Alzheimer*. Cortex, 43, pp. 821–825.
- Nambu A., Tokuno H., Hamada I., Kita H., et al. (2000)** . *Excitatory cortical inputs to pallidal neurons via the subthalamic nucleus in the monkey*. Journal of Neurophysiology, 84: pp. 289–300.

- Nass, M. M., Cooper, L. N. (1975).** *A theory for the development of feature detecting cells in visual cortex.* Biological cybernetics, 19(1), 1–18.
- Nestor P.J., Fryer T.D., Smielewski P., Hodges J.R. (2003)** *Limbic hypometabolism in Alzheimers disease and mild cognitive impairment.* Ann. Neurol. 54, pp.343-351.
- Noppeney U., Patterson K., Tyler L.,K., Moss H., Stamatakis E.A.,**
- Bright P. Mummery C., Price C.J. (2007).** *Temporal lobe lesions and semantic impairment: a comparison of herpes simplex virus encephalitis and semantic dementia.* Brain 130, pp. 1138-1147.
- K Patterson, PJ Nestor, T.T. Rogers. (2007)** *Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain.* Nature Reviews Neuroscience, - nature.com
- Pulvermüller F. (2013).** *Semantic embodiment, disembodiment or misembodiment? In search of meaning in modules and neuron circuits.* Brain Lang. 127, pp. 86–103.
- Renshaw B. (1946).** *Central effects of centripetal impulses in axons of spinal ventral roots,* J. Neurophysiol; 9, pp. 191–204.
- Ritter H., Kohonen T. (1989).** *Self-Organizing Semantic Maps.* Bio. Cybern., 61, pp. 241–254.
- Ritter H., Martinetz T., Schulten K. (1992).** *Neural Computation and Self-Organizing Maps - An Introduction.* Addison-Wesley, New York.
- Robinson D.L., Goldberg M.E., Stanton G.B. (1978).** *Parietal association cortex in the primate: Sensory mechanisms and behavioral modulation.* Journal of Neurophysiology, 41, 910-932.
- Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2004).** *Semantic cognition: A parallel distributed processing approach.*, MIT Press.
- Rogers T., Cox C. (2015).** *The Neural Bases of Conceptual Knowledge.* The Wiley Handbook of Cognitive Neuroscience of Memory.
- Rogers T., Patterson K. Jeffereis E. Lambon Ralph M. (2015)** *Disorders of representation and control in semantic cognition: Effects of familiarity, typicality, and specificity.* Neuropsychologia 76, pp. 220-239

- Roper-Hall G. (2012)** *Historical Vignette: Franciscus Cornelis Donders (1818–1889): Dutch Biologist, Physiologist, and Ophthalmologist*. *American Orthoptic Journal*, Volume 62, pp. 1553–4448.
- Rumelhart, D. E., Todd, P. M. (1993)**. *Learning and connectionist representations*. *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience*, 3–30.
- Schwartz M.F., Marin O.S.M., Saffran E.M. (1979)**. *Dissociations of language function in dementia: A case study*. *Brain and language*, 7 277–306.
- Schapiro A.C., McClelland J.L., Welbourne S.R., Rogers T T., Lambon-Ralph M. (2013)** *Why bilateral damage is worse than unilateral damage to the brain*. *Journal of cognitive neuroscience*, 25(12), 2107–2123.
- Scoville W., Milner B. (1957)** *Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions*, *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 20 (11), pp. 11–21.
- 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.
- Snodgrass J.G., Vanderwart M. (1980)**. *A Standardized Set of 260 Pictures: Norms for Name Agreement, Image Agreement, Familiarity, and Visual Complexity*. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, Vol. 6, No. 2, pp 174–215.
- Snowden J.S., Goulding P.J., Neary D. (1989)**. *Semantic dementia : a form of circumscribed atrophy*. *Behav. Neurol.*; 2 : pp. 167–182.
- Sokal R. (1983)**. *A Phylogenetic Analysis of the Caminalcules. I. The Data Base*. *Systematic Zoology*, Vol. 32, No. 2, pp. 159–184.
- Suga N., Jen P.H. (1976)** *Disproportionate Tonotopic Representation for Processing CF-FM Sonar Signals in the Mustache Bat Auditory Cortex*. *Science*, 194. pp. 542–544.
- Svennilson E., Torvik A., Lowe R., Leksell, L. (1960)**. *Treatment of Parkinsonism by stereotactic thermolesions in the pallidal region*. *Acta Psychiatrica et Neurologica Scandinavia*, 35: pp. 358–377.

- Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna Z. (2016).** *Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision*. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 2818–2826
- Taylor K., Moss H., Tyler L. (2007)** *The conceptual structure account: A cognitive model of semantic memory and its neural instantiation*. (en Hart, Kraut 2007)
- Thompson-Schill S. (2003).** *Neuroimaging studies of semantic memory: inferring “how” from “where”*. *Neuropsychologia* 41, pp. 280-292
- Timoney P.J., Breathnach C.S. (2015).** *Franciscus Cornelis Donders (1818-1889)*. *Irish Journal of Medical Science*, Volume 184, Issue 3, pp. 573-575.
- Tranel D., Kemmerer D., Adolphs R., Damasio H., Damasio A.R. (2003).** *Neural correlates of conceptual knowledge for actions*. *Cognitive Neuropsychology* 20. 409-432.
- Tulving E. (1972).** *Episodic and semantic distinction*. In : Tulving E, Donaldson W, eds. *Organization of memory*. New York : Academic Press, 1972 : pp. 381–403.
- Ungerleider L.M., Mishkin M., Macko K.A. (1983)** *Object vision and spatial vision: two cortical pathways*, *Trends in neurosciences*, Elsevier, 414–417.
- Valle-Lisboa J.C., Reali F., Anastasia H. and Mizraji E. (2005).** *Elman topology with sigma pi units: an application to the modeling of verbal hallucinations in schizophrenia*. *Neural networks*, 18, 863-877.
- Valle-Lisboa J.C., Mizraji, E. (2007).** *The uncovering of hidden structures by latent semantic analysis*. *Information sciences*, 177, 4122-4147.
- Van Buren J. M. (1963).** *Confusion and disturbance of speech from stimulation in the vicinity of the head of the caudate nucleus*. *Journal of Neurosurgery*, 20: pp. 148–157.
- Van Buren, J. M. (1966).** *Evidence regarding a more precise localization of the frontal-caudate arrest response in man*. *Journal of Neurosurgery*, 24: pp. 416–17.
- Warrington, E. K. (1975).** *The selective impairment of semantic memory*. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 27, 635-657.

**Warrington E.K., McCarthy R.A. (1987).** *Categories of knowledge. Further fractionation and an attempted integration.* Brain, 110, 1273-1296. (YOT)

**Yang Q., Guo Q.H., Bi Y. (2015).** *The Brain Connectivity Basis of Semantic Dementia: A Selective Review.* CNS Neuroscience & Therapeutics 21. 784-792.