

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

La gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo

Tesis

Que para obtener el título de:

LICENCIADO EN LENGUA Y LITERATURAS HISPÁNICAS

Presenta

Jorge Enrique Gutiérrez Solís

Asesor:

Alejandro de la Mora Ochoa

Sinodales:

Fulvia Colombo Airoldi
Concepción Company Company
Beatriz González Ortuño
Jeanett Reynoso Noverón



Ciudad Universitaria, 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

La gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo

Conviene recordar, sin embargo, que nada existe semejante a una libertad irrestricta. Todo está sujeto a medida, y la libertad puede no consistir en otra cosa que en el sentimiento de la propia posesión dentro de un orden establecido. Las reglas del ajedrez no oprimen al jugador, le trazan una zona de libertad en donde su ingenio se puede desenvolver hasta lo infinito.

José Gorostiza, *Notas sobre poesía.*

Rejoice in it. While we remain prisoners of description, our freedom is in the grammar.

G. M. Edelman y Giulio Tononi,
A universe of consciousness.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a las personas que asisten a terapia del lenguaje en el Centro Médico Nacional Siglo XXI (IMSS) y en el Hospital General de México, por haberme ofrecido su confianza, simpatía y tiempo para participar en la investigación presentada. Pude trabajar con ellos gracias al apoyo de Beatriz González Ortuño en el Centro Médico, y de José Marcos Ortega y Nuria Gadea en el Hospital General de México. Gracias, también, a todos los demás que participaron como grupo control de mi investigación.

En la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México agradezco a mi asesor Alejandro de la Mora Ochoa y a mis sinodales Fulvia Colombo Airoidi, Concepción Company Company, Beatriz González Ortuño y Jeanett Reynoso Noverón (en estricto orden alfabético) por sus muchas lecciones (dentro y fuera del salón de clases), y su generosidad al conversar conmigo, leer de manera crítica la primera versión de este trabajo, proveerme de lecturas enriquecedoras, firmar muchas hojas y asistir a mi examen profesional. En la coordinación de Lengua y literaturas hispánicas agradezco a la coordinadora Marcela Palma Basualdo por confiar en el excéntrico tema de esta tesis y ofrecerme su seminario para llevar a cabo la investigación, y a la incansable Pilar, cuyo nombre refleja con exactitud lo que ella es para la coordinación.

Agradezco a todos mis amigos por haber llenado de alegría este trayecto; a Aurea Mondragón Pérez por el diseño de las imágenes usadas en mi investigación (algunos ejemplos en el apéndice final) y por las muchas horas que dedicó conmigo a dibujar cada una de ellas; a Daniel Hoyos Unda, por su apoyo estadístico para analizar los datos obtenidos en mi investigación; y a Andrés Íñigo Silva, por su apoyo para el diseño de los apéndices de la tesis.

Entre los miembros de mi familia agradezco especialmente a mi abuela Ruth Sánchez Culebro y a mis tíos Guillermo Días Angulo, Susana Gabilondo Navarro, Rafael Monterde Olea y Eva Solís Escobar (también en estricto orden alfabético), por su enorme cariño y apoyo, sin los cuales me hubiera sido imposible escribir este trabajo. Gracias a mi padre, Enrique Gutiérrez Monterde, por todo lo que me ha enseñado sobre la vida, por su compañía constante y amor incondicional.

Dedico esta tesis a la memoria de mi madre, Ruth Solís Sánchez, que me regaló la vida, el amor y la lengua española, núcleo vital de este trabajo y del resto de mi vida profesional.

Índice

1. Introducción

1.1. Presentación del modelo de gramática neuronal.	5
1.2. Una definición preliminar de “gramática”.	6
1.3. Descripción de la tesis.	7

2. Fundamentos de neurobiología

2.1. Cerebro, corteza y neuronas: Anatomía y función	
2.1.1. Cerebro.	8
2.1.2. Corteza cerebral.	10
2.1.3. Neuronas.	14
2.2. Constricciones energéticas de la actividad cerebral.	17

3. Neurolingüística y afasia de Broca

3.1. Localización del procesamiento lingüístico	
3.1.1. Estructuras subcorticales.	19
3.1.2. Asimetría hemisférica de la función lingüística.	19
3.1.3. Distribución de las funciones lingüísticas en el hemisferio izquierdo.	20
3.2. Afasia de Broca	
3.2.1. Historia de la clasificación de las afasias.	22
3.2.2. Afasia de Broca: déficits lingüísticos y localización cortical.	25
3.2.3. Agramatismo y función de la corteza inferior frontal izquierda.	26

4. Gramática neuronal

4.1. Redes neuronales del lenguaje	
4.1.1. Redes de palabra.	28
4.1.2. Detectores de secuencia.	30
4.2. Componentes algorítmicos de la gramática neuronal	
4.2.1. Neuronas de McCulloch-Pitts.	32
4.2.2. Categorías léxicas y sintácticas.	33
4.3. Esquema del circuito de gramática neuronal.	34
4.4. Activación del circuito gramatical	
4.4.1. Principios de gramática neuronal.	37
4.4.2. Tabulación del curso de activación neuronal de una cadena de palabras.	39

5. Las oraciones restrictivas de relativo

5.1. Introducción.	42
----------------------------	----

5.2. Forma básica y función comunicativa de las oraciones restrictivas de relativo.	42
5.3. Gramaticalización de las oraciones restrictivas de relativo.	45
5.4. Panorama tipológico de las estrategias de relativización.	47
5.5. Descripción gramatical de la oración restrictiva de relativo en español.	51

6. Procesamiento neuronal receptivo de las oraciones restrictivas de relativo en español

6.1. Introducción.	57
6.2. Adquisición y uso de la lengua como base de la gramática neuronal.	57
6.3. Circuito de gramática neuronal de la oración restrictiva de relativo de sujeto.	59
6.4. Circuito de gramática neuronal de la oración restrictiva de relativo de objeto directo.	64

7. Correlatos empíricos de la gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo

7.1. Introducción.	72
7.2. Datos cerebrales relacionados con el procesamiento de oraciones restrictivas de relativo.	72
7.3. Estudios psicolingüísticos de las oraciones restrictivas de relativo.	74
7.4. Teoría gramatical y afasia de Broca.	75
7.5. Las oraciones restrictivas de relativo y la afasia de Broca	
7.5.1. Antecedentes.	78
7.5.2. Prueba de comprensión agramatical de las oraciones restrictivas de relativo en español	
7.5.2.1. Método.	79
7.5.2.2. Resultados.	82
7.5.2.3. Interpretación.	85

8. Conclusiones

8.1. Síntesis del método de la gramática neuronal.	89
8.2. Recapitulación de la gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo.	89
8.3. Las oraciones restrictivas de relativo y el problema de la recursividad.	91

Referencias bibliográficas.	96
--	-----------

Apéndices	104
----------------------------	------------

1. Introducción

1.1. Presentación del modelo de gramática neuronal

El progreso en el conocimiento científico de las relaciones entre el comportamiento humano y el cerebro ya permite estudiar el lenguaje con base en un modelo de función neuronal. La aplicación de tecnologías como la electroencefalografía (EEG), la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (TEP), permite observar, cada día con mayor precisión, el correlato fisiológico del pensamiento. Además, actualmente se desarrollan nuevos métodos para observar la actividad cerebral; un ejemplo es la optogenética, que permite alterar proteínas en las neuronas para que reaccionen a la luz o se iluminen con la activación de la células, lo cual revolucionará el estudio de las redes neuronales tan pronto como se perfeccione el método y se pueda usar con humanos (Miesenböck, 2008).

A pesar de este panorama y los muchos conocimientos ya existentes, la mayoría de las investigaciones lingüísticas todavía describe el lenguaje sin referirse explícitamente a la función neuronal. El modelo de gramática neuronal planteado por Friedemann Pulvermüller en *The neuroscience of language. On brain circuits of words and serial order* (2002) es una excepción guiada por la siguiente proposición: “It is a good idea to think about language in terms of brain mechanisms –to spell out language in the language of neurons, so to speak.” (“Es una buena idea pensar sobre el lenguaje en términos de mecanismos cerebrales –deletrear el lenguaje en el lenguaje de las neuronas, por decir.”, todas las traducciones entre paréntesis son mías; Pulvermüller, 2002: 1). Pensar el lenguaje en términos neuronales contribuye a superar el dilema cartesiano mente/materia, y a explicar el sustrato biológico de un sistema transmitido culturalmente (Edelman, 1989: 10; Tecumseh Fitch, 2009).

La construcción de un modelo depende de los aspectos del fenómeno que se busca representar de manera comprensible (Holland, 2004: 158). Por este motivo, la gramática neuronal constituye un modelo formal de redes que imitan el comportamiento de los grupos de neuronas en los cerebros vivos (Díaz, 2005: 20); su carácter gramatical determina que se representen solamente las redes relevantes para responder a la siguiente pregunta: ¿cómo codifica el cerebro la información gramatical presente en los mensajes lingüísticos? Para responder se necesita un cuerpo sólido de conocimientos neurológicos y una descripción satisfactoria de las cualidades formales y propósitos comunicativos de las estructuras lingüísticas que el modelo ha de

representar. Así, la naturaleza multidisciplinaria del modelo exige la participación de especialistas de diversas disciplinas (fisiología, la psicología, la informática y la lingüística) que compartan una experticia interactiva, es decir, una habilidad para comprender los temas ajenos a su especialidad y participar activamente en el debate sobre ellos, aunque no puedan contribuir a incrementar el conocimiento en esas áreas (Aibar, 2002: 174).

El modelo de gramática neuronal descrito por Pulvermüller (2002) no es universal ni exhaustivo; está basado en la gramática del inglés y la describe con conceptos lingüísticos rudimentarios. Su desarrollo depende de su adaptación a las gramáticas de otras lenguas, basada en un análisis profundo de las lenguas, y de su fundamentación en datos empíricos. Este trabajo tiene el propósito de contribuir desde una perspectiva lingüística a la investigación de los componentes neuronales específicos requeridos en el procesamiento perceptivo de la oración restrictiva de relativo (ORR); el análisis contendrá aspectos válidos para la estructura en cualquier lengua (determinados por la tipología lingüística) y aspectos específicos de la estructura en español.

Los enunciados del modelo constituyen hipótesis susceptibles de ser reconocidas como falsas o verdaderas con base en la experiencia. A diferencia de los modelos generativos y cognitivos de la gramática, este modelo postula entidades físicamente comprobables: redes de neuronas que realizan el procesamiento lingüístico en tiempo real. Su plena comprobación o refutación dependerá del diseño de experimentos guiados por este tipo de investigación teórica.

1.2. Una definición preliminar de “gramática”

El término “gramática” es problemático porque incluye fenómenos lingüísticos diversos y es definido de maneras muy diferentes en cada teoría lingüística. Definiciones como *conjunto de reglas que determinan los enunciados posibles de una lengua* (Chomsky 1965/1975, 1968, entre muchos otros) o *conjunto emergente e inestable de ritos del uso lingüístico* (Hopper, 1998) reducen antagónicamente su concepción a un sistema lógico de simbolización formal o a un conjunto asistemático de costumbres comunicativas, respectivamente. Con la intención de poseer una definición básica a partir de la cual pueda establecerse una investigación multidisciplinaria de su naturaleza, entiéndase por “gramática” el conjunto de recursos morfológicos, léxicos, prosódicos y sintácticos que codifican las relaciones semánticas y valores pragmáticos de las entidades, cualidades y procesos referidos en el discurso. De manera simplificada, “gramática

neuronal” refiere el conjunto de redes neuronales que permiten la formación y comprensión de cadenas significativas de morfemas y palabras.

1.3. Descripción de la tesis

La presentación del núcleo teórico de esta tesis requiere una exposición inusualmente extensa de conocimientos básicos, debido al carácter innovador de este enfoque multidisciplinario. En el capítulo dos (a partir de aquí, capítulos y apartados se referirán con el signo §) se presentan los “Fundamentos de neurobiología” requeridos para comprender las relaciones entre anatomía cerebral y función lingüística, y para sustentar los rasgos de comportamiento de las redes neuronales del modelo. En “Neurolingüística y afasia de Broca” (§3) se presentan los datos que relacionan la localización cortical del procesamiento lingüístico y la afasia de Broca, alteración del lenguaje históricamente relevante para la investigación de la neurobiología de la gramática. En “Gramática Neuronal” (§4) se expone el modelo en el cual se inscribe el planteamiento de esta tesis, así como las modificaciones requeridas para extender su uso a lenguas diferentes del inglés (lo cual incrementa su aceptabilidad como modelo científico, pues lo hace más universal). En “Las oraciones restrictivas de relativo” (§5), se presentan los datos lingüísticos necesarios para revelar los requisitos estructurales de un modelo neuronal de estas oraciones. En “Procesamiento neuronal receptivo de las oraciones restrictivas de relativo en español” (§6), se aplica el modelo de gramática neuronal a las OsRsR del español y se analiza cómo el circuito gramatical postulado manifiesta numerosas propiedades del objeto de estudio. En “Correlatos empíricos de la gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo” (§7), se reseñan estudios empíricos cuyos resultados son explicados por la gramática neuronal, y se presenta un estudio de comprensión de las OsRsR aplicado a un grupo de personas con afasia de Broca para evaluar las predicciones del modelo con respecto al desempeño interpretativo de los participantes con agramatismo). Este capítulo sustenta la aceptabilidad del modelo como sucedáneo del procesamiento neuronal efectivo de la gramática, rasgo principal de un buen modelo científico (Pérez Tamayo, 2005: 55). Por último, en “Conclusiones” (§8) se sintetiza el método de la gramática neuronal y los rasgos teóricos del circuito de procesamiento de las OsRsR. Como reflexión final, se propone una explicación de la recursividad de las estructuras lingüísticas estudiadas como consecuencia de las características de las redes neuronales que las procesan.

2. Fundamentos de neurobiología

2.1. Cerebro, corteza y neuronas: anatomía y función

2.1.1. Cerebro

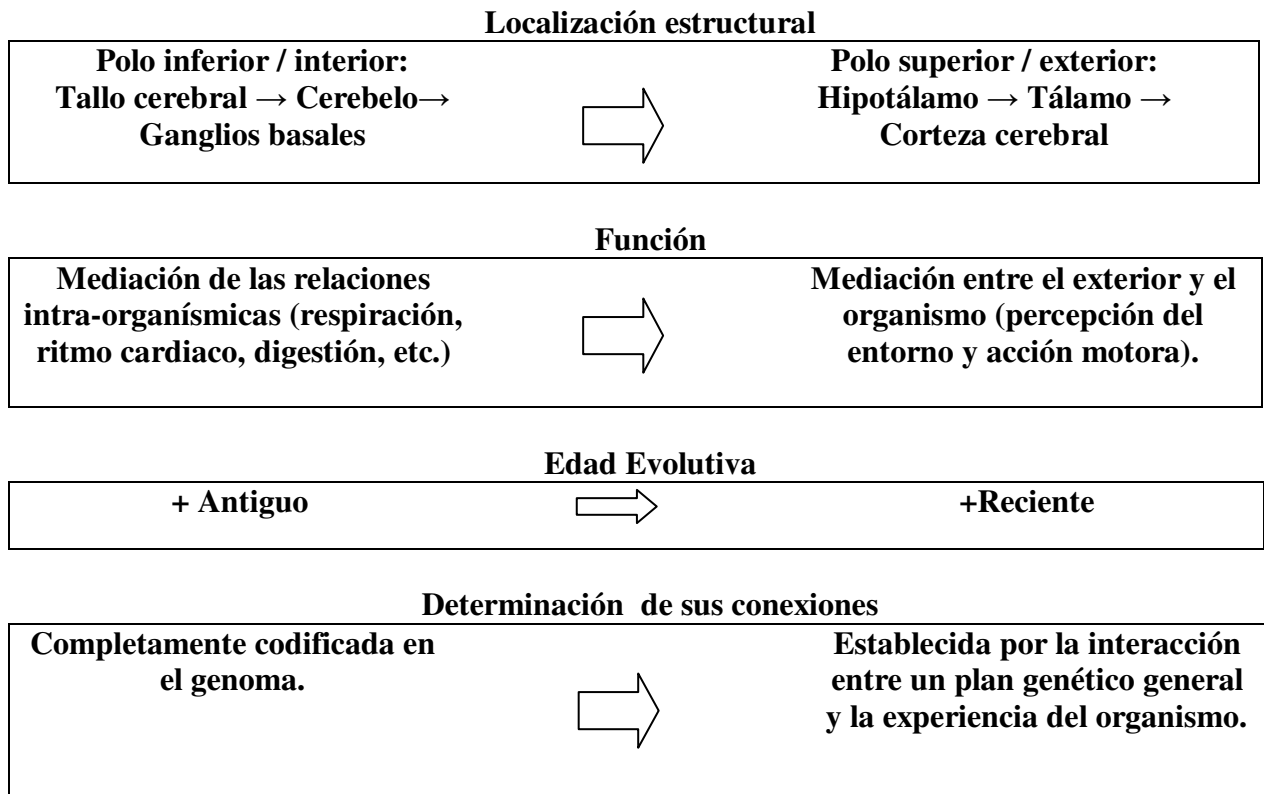
La adaptabilidad de la especie humana se debe principalmente a las características del cerebro, órgano en el que las señales transmitidas por el resto del sistema nervioso interactúan con el fin de optimizar las relaciones entre las partes del organismo, y entre el organismo y el entorno. El cerebro interactúa con el ambiente por medio de la actividad electroquímica de las neuronas.

Al expresar la función del cerebro como la mediación de las relaciones del organismo (entre sus partes y con su ambiente), se evita reducir la función del órgano a uno de los problemas biológicos que ayuda a resolver (Edin, 2008: 211). Ejemplos de este error se encuentran en definiciones reduccionistas del cerebro como “parte del cuerpo destinada a reconocer y localizar presas.” (Thom, 1990: 201) o “selective recognition system equipped with a capacity to memorize what it recognizes” (“sistema de reconocimiento selectivo equipado con la capacidad de memorizar lo que reconoce”; Thibault, 2004: 139).

Debido a que la sobrevivencia de los individuos depende de la colaboración social exitosa, los elementos ambientales más relevantes con los que el cerebro interactúa son otros humanos, cuyo comportamiento es más variable que el resto del entorno. Para establecer relaciones sociales exitosas es preciso poseer, entre otras, las capacidades de coordinar la acción conjunta, establecer alianzas, reconocer posiciones jerárquicas e interpretar actos comunicativos. El lenguaje, entendido como sistema semiótico producido por la evolución cultural (Cavalli-Sforza y Cavalli-Sforza, 2004) y aprendido individualmente durante la infancia temprana, contribuye a interactuar socialmente con mayor certidumbre y facilidad, en congruencia con la función general propuesta para el cerebro (definido también como barrera contra la variación ambiental por esta capacidad para incrementar la certidumbre (Allman 2000:3)).

Se puede sintetizar la relación entre la función, edad evolutiva, y el mapa conectivo de las estructuras cerebrales según una pauta de organización topológica del cerebro (inferior/ interior→ superior /exterior) basada en los principios guadores de Linden (2007: 21-24). Si, como sabemos, el lenguaje doblemente articulado es un sistema cultural de mediación social exclusivo de nuestra especie, entonces podemos inferir que la localización de las estructuras cerebrales que lo sustentan es superior/exterior, de edad evolutiva reciente y de conexiones determinadas por la

experiencia temprana. (Figuras 2.1. y 2.2.) Es sabido que los circuitos neuronales específicos del almacenamiento de palabras y mecanismos gramaticales se encuentran en la corteza cerebral (descrita en §2.1.2). La correlación observable entre el tamaño de la corteza de los primates y la complejidad de la estructura de sus grupos es una evidencia de su relevancia para la mediación social (Ehrlich, 2005: 217).



Figuria 2.1. Relaciones anatómico-evolutivo-funcionales de las estructuras cerebrales.

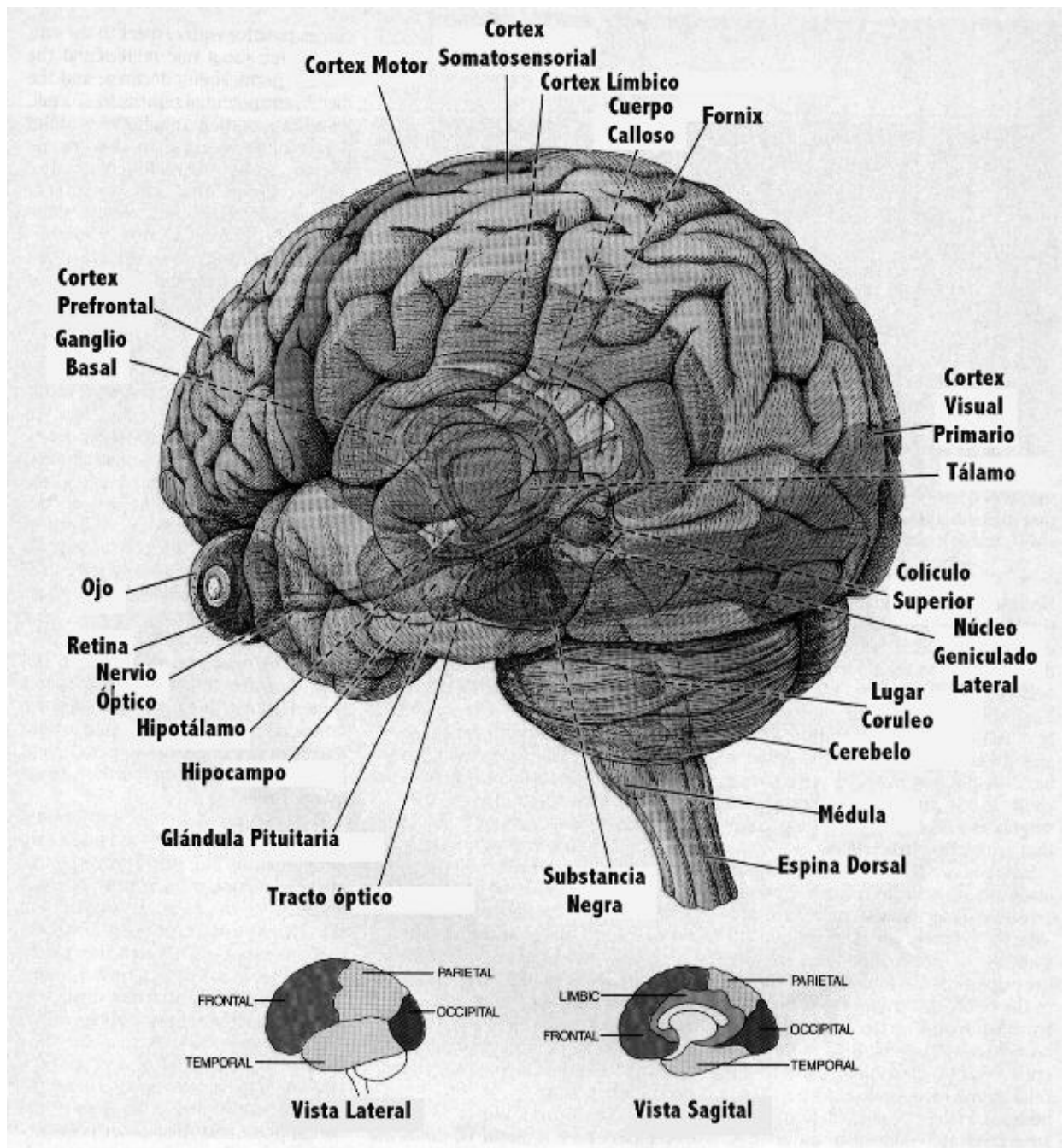


Figura 2.2. El cerebro. (<http://www.ucm.es/info/pslogica/mente/cap2.htm>)

2.1.2. Corteza cerebral

La corteza cerebral está formada por alrededor de 10^{10} neuronas (Hagmann P, Cammoun L, Gigandet X, Meuli R, Honey CJ, *et al.*, 2008) que funcionan como una memoria de asociación

(Pulvermüller, 2002: 28); en ella se vincula información diversa por medio de la correlación de patrones espaciotemporales de actividad neuronal. La cualidad de fijación de estos patrones de actividad y su estimulación constituye la memoria. Cuando un patrón de actividad de la corteza auditiva estimula la activación de un complejo de neuronas asociadas con imágenes, eventos, opiniones, etc., se forma lo que percibimos como una palabra: un fenómeno complejo de memoria en el que se vinculan diversos patrones de actividad neuronal (que constituyen la información fonológica, gramatical y semántica de la palabra).

La corteza es una estructura delgada (entre 2 y 5 mm.) que rodea las demás partes cerebrales y forma una unidad funcional con el tálamo; el sistema talámico-cortical (Edelman y Tononi, 2000) procesa la información exterior percibida por los sentidos y determina la acción voluntaria del organismo. El enorme incremento de su volumen durante la evolución de nuestra especie la obliga a plegarse en giros (protuberancias visibles desde el exterior) y surcos para caber en el espacio craneal. A simple vista, la corteza se divide en dos hemisferios (izquierdo y derecho) que, a su vez, pueden separarse en los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital. Es posible reconocer la frontera entre los lóbulos frontal y parietal gracias al prominente surco o cisura central; la cisura de Silvio separa el lóbulo temporal de los lóbulos frontal y parietal y las áreas a su alrededor son fundamentales en la función lingüística.

Las conexiones y funciones de la corteza, de acuerdo con la Figura 2.1, se establecen gracias a la interacción entre factores genéticos y ambientales. Existen tendencias genéticas de especialización funcional vinculada con las áreas corticales de mayor escala (hemisferios, lóbulos, giros y surcos); las áreas posteriores de la corteza (lóbulos occipital, temporal y parietal) se especializan en el procesamiento, asociación y almacenamiento de información percibida: el lóbulo occipital contiene áreas vinculadas con la visión, el lóbulo temporal contiene áreas de percepción auditiva y el lóbulo parietal áreas de percepción táctil. El lóbulo frontal se especializa en el control de la acción y la manipulación consciente de información. La enorme plasticidad cortical (capacidad de reorganización celular) es patente, por ejemplo, en la refuncionalización lingüística de la corteza visual en los ciegos de nacimiento: Amedi *et al.* (2003) presentan un estudio de RMf con diez participantes en el que se descubre una consistente activación de áreas generalmente dedicadas al proceso visual temprano (en el extremo posterior del lóbulo occipital) durante tareas que requieren memoria verbal (reconocimiento y generación de palabras). La

posibilidad de reclutar áreas de procesamiento visual para tareas lingüísticas es una prueba contundente de que la experiencia es primordial en el establecimiento de las funciones corticales.

La corteza cerebral está organizada verticalmente en capas reconocibles por el tipo, densidad y conectividad de las neuronas que las forman (Maass y Markram, 2006: 372). De manera horizontal, la corteza está organizada en columnas de alrededor de 0.07 cm de diámetro; entre 1000 y 10,000 neuronas las forman y están definidas por sus aferencias subcorticales y sus patrones de respuesta integral (Frégnac, 2006: 403-404; Shaw, 2004: 74). La interacción de neuronas que excitan o inhiben a otras neuronas permite la integración de la actividad de la columna que, a su vez, coopera (excitación) y compite (inhibición) con otras columnas; esta interacción produce los patrones de actividad cortical que permiten las relaciones adaptativas del organismo con el ambiente.

Estudios recientes con imagen de difusión de espectro han permitido comenzar a reconocer los patrones generales de conexión entre regiones corticales: las proyecciones existentes entre grupos neuronales obedecen a un principio de economía en el que cada región se encuentra más densamente conectada con las regiones adyacentes, de tal suerte que la cantidad de tejido conectivo (axones) se minimice (Laughlin y Sejnowski, 2003). Los resultados de un estudio cuidadoso de la corteza de cinco cerebros humanos vivos revela los siguientes porcentajes de conectividad entre 998 “regiones de interés”: 54% de todas las conexiones entre estas regiones pertenecen a la misma subregión anatómica; 42% pertenece a diferentes regiones en el mismo hemisferio y sólo 4% de las conexiones son interhemisféricas (Hagmann P, Cammoun L, Gigandet X, Meuli R, Honey CJ, *et al.*, 2008: 1480). En la Figura 2.3 pueden observarse los promedios de conexión regional entre áreas del hemisferio izquierdo.

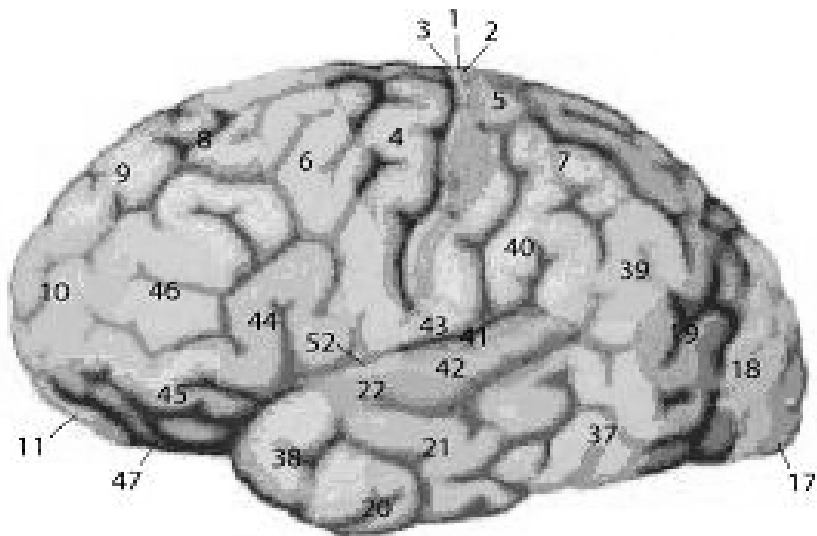


Figura 2.4. Áreas de Brodmann.

(<http://go.owu.edu/~dorobbin/PSYC%20374%20Topics%20in%20Neuroscience%20Syllabus.htm>)

Lo descrito en este apartado sirve para establecer un marco de relación descriptiva entre la anatomía cerebral y el procesamiento del lenguaje; para comprender este procesamiento es preciso conocer la actividad de las neuronas, células en cuya actividad reside la función cerebral.

2.1.3. Neuronas

Las neuronas son células especializadas en la transmisión de señales electroquímicas; poseen tres regiones anatómicas: 1) una región receptiva formada por numerosas dendritas (fibras delgadas con espinas receptoras de señales electroquímicas) y el cuerpo celular; 2) una región conductora de la señal nerviosa: el axón, proyección gruesa que se subdivide en ramas; 3) en los extremos de las ramas axónicas se encuentran las terminales sinápticas, regiones transmisoras de señales eléctricas o químicas. (Pasantes *et al.*, 1991: 52) (Figura 2.5.) La recepción de señales químicas (moléculas llamadas neurotransmisores) en las espinas dendríticas produce una cadena de reacciones que altera, gracias a la entrada y salida de iones por canales en la membrana celular, la carga eléctrica de la célula. En reposo, la diferencia de voltaje entre el interior y el exterior de la membrana se encuentra en el rango de -50 a -80 milivoltios. Si el número de señales recibidas en las espinas dendríticas es suficiente para reducir el gradiente de voltaje de la membrana celular hasta cierto umbral (>-50 milivoltios, p.ej.), hay una reacción violenta de despolarización en la base del axón, lo cual produce un rápido flujo de iones a través del axón que genera la expulsión

de neurotransmisores en la terminal sináptica; esta reacción general de la neurona es el potencial de acción, unidad de transmisión neuronal.

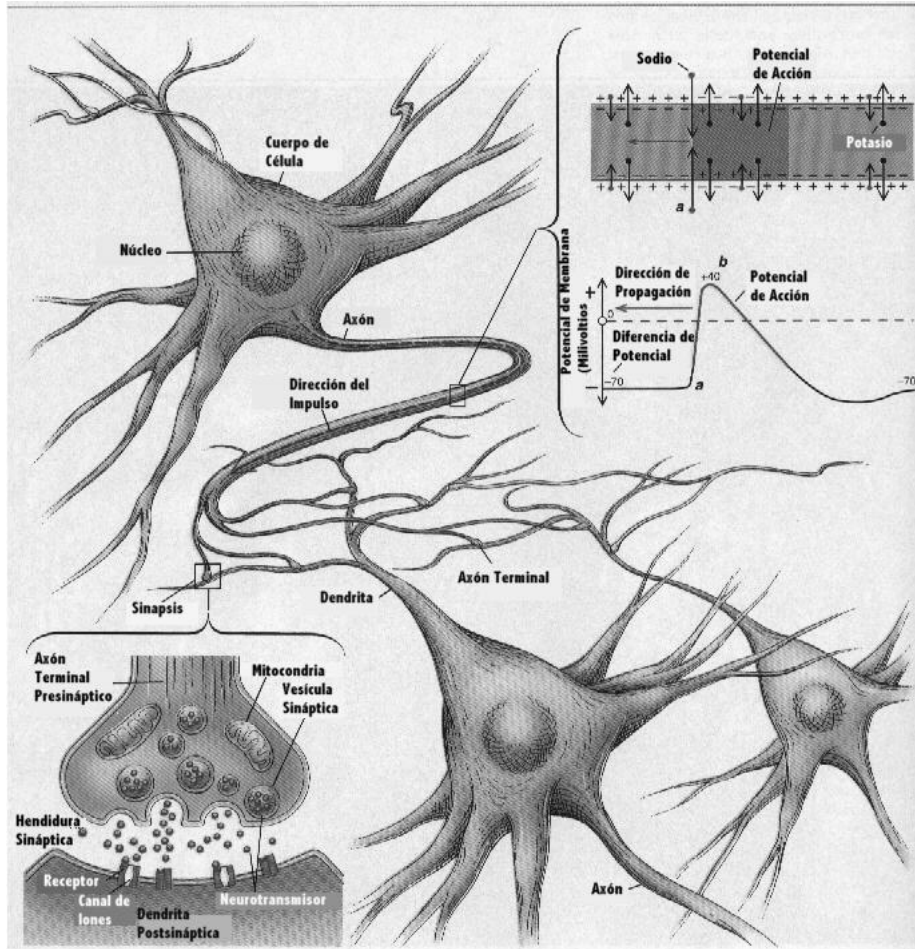


Figura 2.5. Neurona, potencial de acción y terminal sináptica. (<http://www.ucm.es/info/pslogica/mente/cap2.htm>)

La actividad electroquímica es fundamental para la vida de la neurona. Existen experimentos con roedores que demuestran que la privación de estímulos exteriores produce una muerte masiva de neuronas (Linden, 2007: 70). Además, durante el desarrollo prenatal se producen muchas más neuronas y sinapsis (las uniones entre una terminal sináptica y una espina dendrítica) de las que sobreviven en la madurez (Rosenzweig *et al.*, 2001: 231); esto se debe a que cada neurona compite con las demás por establecer las sinapsis que le permitan formar parte de un circuito neuronal útil para el organismo; si una neurona no logra formar parte de un circuito adaptativo, muere (Changeux y Dehaene, 1989).

Existen neuronas excitatorias, cuyas señales estimulan la activación de la neurona receptora, y neuronas inhibitorias cuyos neurotransmisores aumentan el potencial de reposo (producen una hiperpolarización: <-70 milivoltios, p. ej.). La actividad de las neuronas inhibitorias regula la activación excesiva de neuronas.

Es común referirse a los mecanismos de actividad neuronal en términos de transmisión analógica y digital. La recepción es analógica ya que las señales recibidas por las dendritas se acumulan y alteran gradualmente el potencial de membrana: hay un rango de variación de voltaje del potencial de reposo. Existe un umbral de voltaje a partir del cual el potencial de acción es absoluto (todo o nada); la señal axónica es digital porque carece de graduación. La recepción analógica permite que una neurona sea sensible y responda solamente a una cantidad específica de señales aferentes, lo cual le permite especializarse dentro de un circuito definido, ya que no responderá a cualquier estímulo. La certidumbre de transmisión es bastante defectuosa: la probabilidad de que un potencial de acción culmine en la liberación de neurotransmisores varía entre 10 y 100% (Linden, 2007: 44); además, la cantidad de neurotransmisores liberados también varía. Esta incertidumbre en la transmisión neuronal explica el número de neuronas existentes en el cerebro (alrededor de 100,000 millones) ya que la redundancia (la existencia de numerosas neuronas que transmiten el mismo tipo de señal) incrementa la probabilidad de actividad neuronal eficiente.

La probabilidad de transmisión sináptica también depende de la fuerza de las sinapsis involucradas. Esa fuerza se incrementa con la actividad simultánea de las neuronas pre- y post-sinápticas. Así se da el aprendizaje asociativo que forma los célebres ensambles (o redes) neuronales descritos por Donald Hebb en *The Organization of Behavior* (1949): si dos neuronas, activadas por dos eventos A y B independientes pero contiguos en el tiempo, se activan simultáneamente, las conexiones existentes entre ellas se fortalecerán y la presentación futura de A recuperará una representación de B y viceversa. (En Rudy, 2008, se encuentra una descripción clara de los complejos procesos moleculares de este fenómeno.) Por último, es conveniente describir dos cualidades de la actividad neuronal cuya importancia para el procesamiento lingüístico es crucial:

- I. Preparación (*priming*): existen varios procesos que facilitan o inhiben el potencial de acción de una neurona. La actividad de algunos circuitos de neuronas valorativas

(Edelman y Tononi, 2000: 46) altera la dinámica de las neuronas de otros sistemas; ciertos neurotransmisores como la dopamina disminuyen el umbral de potencial de acción, incrementando la probabilidad de activación de una neurona. Otra forma de la preparación facilitatoria se da cuando la presentación de un evento A envía señales excitatorias a las neuronas asociadas con un evento B sin lograr activarlas; sin embargo, las señales transmitidas por las neuronas del evento A a las neuronas del evento B reducen el potencial de reposo de estas (de -70mV a -65mV), lo cual disminuye la distancia entre el potencial de reposo y el umbral del potencial de acción (-60mV) y aumenta la probabilidad de que un tercer evento C, también asociado con A, logre activar una representación del evento A. Además, la facilitación disminuye la cantidad de potenciales de acción necesarios para definir una red neuronal como activada, por lo que contribuye a la eficiencia energética. Sobre este proceso de facilitación y su protagonismo en el procesamiento gramatical abundaremos en §4.

II. Periodo refractario: Después de un potencial de acción, la neurona experimenta un periodo de insensibilidad a los estímulos debido al proceso en el que unas máquinas proteínicas complejas (bombas) trabajan en la membrana transportando iones para recuperar la diferencia de voltaje que permite la transmisión electroquímica. La existencia de este periodo tiene consecuencias en la forma en que los circuitos neuronales se establecen y es relevante en el procesamiento lingüístico de información secuencial (sintaxis).

2.2. Constricciones energéticas de la actividad cerebral

El cerebro humano constituye alrededor del 2% de la masa total del organismo y consume alrededor del 20% de su energía metabólica en reposo. El alto consumo de energía cerebral revelado por esta proporción constriñe sus posibilidades funcionales, por lo que es conveniente para el cerebro poseer mecanismos de transmisión de información eficientes energéticamente (Schreiber, Machens, Herz y Laughlin, 2002). El cerebro también está diseñado para reducir la longitud de sus conexiones (axones y dendritas), ya que ocupan alrededor de un 60% de su volumen. La probabilidad de que dos neuronas estén conectadas dentro de una columna es de una

entre cien; para neuronas más distantes es de una en un millón (Laughlin & Sejnowski, 2003: 1871).

En la corteza cerebral de los mamíferos, alrededor del 80% de la energía se gasta en generar y propagar señales neurales, y el resto se destina al mantenimiento del potencial de reposo neuronal y al metabolismo celular (Laughlin, 2001: 475). La generación de una señal no siempre culmina en la propagación: como ya se señaló arriba, la transmisión del potencial de acción es incierta (Schreiber, Machens, Herz y Laughlin, 2002: 1324); esto disminuye la confiabilidad de transmisión y para incrementarla es preciso elevar el ritmo de activación neuronal, lo cual incrementa aún más el gasto energético.

Debido a las condiciones fisiológicas descritas, se concluye que la transmisión de señales neuronales es mucho más costosa que el mantenimiento celular, por lo que un sistema neuronal eficiente distribuye la información entre un gran número de neuronas ruidosas (con baja confiabilidad de potencial de acción) de capacidad informativa baja (Laughlin y Sejnowski, 2003: 1873). Así, el fracaso en la transmisión del potencial de acción de una neurona a otra no representa una pérdida irreparable de información y cada neurona se activa tan poco como sea posible. La participación diminuta de una neurona en la representación de información permite que un ensamble neuronal pueda cumplir su función informativa de manera eficaz sin la activación regular de todas las neuronas que lo constituyen.

3. Neurolingüística y afasia de Broca

3.1. Localización del procesamiento neurolingüístico

3.1.1. Estructuras subcorticales

Las estructuras subcorticales del cerebro colaboran con la corteza en el procesamiento del lenguaje al aportar mecanismos básicos de integración informativa, memoria, automatización de patrones motores y habituación perceptiva. El cerebelo, por ejemplo, es relevante para la automatización de los procesos articulatorios, pues en él se almacenan patrones específicos de actividad muscular (Eichenbaum y Cohen, 2001: 513); el hipocampo, como área fundamental de la memoria temporal (Takashima *et al.*, 2009), es necesario para el aprendizaje y consolidación de la memoria lingüística (Rudy, 2008: 274). No existen déficits lingüísticos específicos de daños a estructuras ajenas del sistema talámico-cortical (Nadeau, 2008).

El tálamo establece una unidad funcional con la corteza y su involucramiento en el procesamiento neurolingüístico es importante como centro de relevo entre la corteza y los órganos de la percepción y acción, y como región que contribuye a la conectividad entre distintas regiones de la corteza. En un estudio reciente (Wahl *et al.*, 2008), se registró actividad talámica asociada con violaciones sintácticas y semánticas en oraciones escuchadas por los participantes; sus resultados indican que el tálamo es importante para conectar áreas corticales especializadas en distintas fases del procesamiento del lenguaje y lograr así la integración consciente de la información.

3.1.2. Asimetría hemisférica de la función lingüística

La localización anatómica de la información fonológica y morfosintáctica suele establecerse en el hemisferio cerebral izquierdo. Esta asimetría funcional se ha asociado, sin ser explicada, con asimetrías de volumen en áreas particularmente relevantes para el procesamiento lingüístico. Foundas *et al.* (1996) encontraron una correlación entre la asimetría de volumen mayor de la *pars triangularis* del giro inferior frontal izquierdo (AB45) y la lateralización del lenguaje en nueve de once participantes. Los otros dos participantes tenían una *pars triangularis* derecha mayor que la izquierda; uno de ellos tenía la función lingüística lateralizada a la derecha y el otro no. Esto es relevante porque demuestra que la lateralización izquierda del lenguaje es una tendencia fuerte y no una necesidad. De hecho, se calcula que alrededor de un 3% de los hablantes tiene una

localización preferencial del lenguaje en el hemisferio derecho (Obler y Gjerlow, 2001: 48). Lesiones congénitas en el hemisferio izquierdo pueden producir una organización derecha del lenguaje sin déficits en el comportamiento lingüístico (Lidzba et al., 2008). Las asimetrías de volumen de ciertas regiones temporales también involucradas en el lenguaje se han reconocido también en chimpancés y orangutanes (Jenkins, 2000:140), por lo que no son dependientes de la función lingüística en nuestra especie. La distribución asimétrica izquierda mayoritaria no se correlaciona estrictamente con el aspecto fonarticulatorio del lenguaje; se ha descubierto que el procesamiento de las lenguas de señas también parece localizarse mayoritariamente en la corteza izquierda (Corina, 1998: 323).

El desempeño lingüístico normal depende más de la colaboración interhemisférica de lo que el párrafo anterior permite suponer. En un grupo de seis pacientes con desconexión del cuerpo calloso (vínculo entre los hemisferios cerebrales) (Zaidel, 1998), pudo estudiarse el conocimiento lingüístico del hemisferio derecho y se reconoció una competencia lingüística receptiva con una semántica rica en tareas léxicas y pictóricas de reconocimiento. Además de este conocimiento semántico y de una incapacidad de procesamiento sintáctico (Obler y Gjerlow, 2001: 110), es ya aceptado que el hemisferio derecho tiene un papel fundamental en el procesamiento de la información prosódica (Friederici, 2006: 198).

3.1.3. Distribución de las funciones lingüísticas en el hemisferio izquierdo

Al reducir la escala anatómica de descripción es necesario precisar el tipo de información lingüística localizada. Para la descripción siguiente pueden consultarse, en general: Grodzinsky y Amunts, 2006; Obler y Gjerlow, 2001; Stemmer y Whitaker, 1998; y Stemmer y Whitaker, 2008.

En primer lugar, el procesamiento fonológico de la información auditiva se localiza inmediatamente adyacente a la corteza sensorial auditiva (en congruencia con el principio de economía conectiva descrito en §2.2) en la parte posterior del AB22, conocida como área de Wernicke, y parte del AB40. La producción de fonemas depende del AB44 posterior (parte del área de Broca) y la parte pertinente de la corteza motora (AB6).

La prosodia, tanto lingüística (p. ej., la línea ascendente del tono asociada con la interrogación en español) como emotiva, se procesa principalmente en el hemisferio derecho (giro medio temporal), aunque en el lóbulo frontal se ha reconocido una asociación entre la prosodia

lingüística y el giro inferior izquierdo (incluida el área de Broca), y la prosodia emocional y el giro inferior derecho (Ethofer et al., 2006).

El sistema léxico-semántico se distribuye de manera más amplia y variable; las regiones consistentemente activadas con tareas involucradas en él son: áreas temporales medias e inferiores (AB 21 y 37) y áreas frontales (AB 44 y 45, conocidas como área de Broca, y AB 47 y 9). La información exclusivamente léxica (integración de los fonemas constituyentes de la palabra) se localiza en las áreas temporales mencionadas y la información semántica asociada con ellas tiene una distribución amplia, asociada con la memoria declarativa (información sobre eventos y datos) en los lóbulos temporal y parietal (Ullman et al., 1997); Pulvermüller (2005) ha mostrado que la activación cortical motivada por escuchar las palabras “brazo” y “pierna” en inglés incluye regiones de la corteza frontal motora asociadas con el movimientos muscular de dichas extremidades. Así, mientras que la forma léxica de una palabra se representa en regiones próximas a las que procesan sus componentes fono-articulatorios, su contenido semántico se encuentra en cualquier área cortical cuya función aporte información relevante para la comprensión de la palabra.

La morfología y la sintaxis forman una unidad tanto funcional como anatómica. Puesto que estos sistemas lingüísticos aportan información sobre las relaciones funcionales entre palabras y el rastreo referencial (la concordancia entre sujeto y verbo dada por los afijos, la función gramatical aportada por el sufijo de caso o la posición en la oración, los pronombres, etc.), su función depende de la interacción entre las áreas de procesamiento léxico-semántico y las áreas capaces de establecer relaciones secuenciales (prospección y memoria provisional). Las primeras ya han sido tratadas y las segundas dependen de la corteza frontal lateral izquierda. Esta interacción se hace patente en la disociación del déficit de producción de verbos irregulares y regulares en distintas afecciones corticales; mientras que los impedimentos de la corteza asociada con la memoria léxica (afasia de Wernicke y enfermedad de Alzheimer) dificultan la inflexión de verbos irregulares (sin un paradigma morfológico), los impedimentos de la corteza frontal (afasia de Broca y enfermedad de Parkinson) dificultan la inflexión de verbos regulares (Ullman *et al.* 1997). Otros estudios también han demostrado que la presentación consecutiva de palabras relacionadas morfológicamente produce facilitación (reacción más veloz y actividad reducida en regiones frontales inferiores) (Marslen-Wilson y Tyler, 2007). La corteza prefrontal, vinculada con la actividad intencional del sujeto, contribuye a la planeación gracias a la anticipación de

elementos en una secuencia aprendida y en el mantenimiento en la memoria provisional (o de trabajo) de la información relevante para alcanzar una meta (Changeux y Dehaene, 1989: 97). Esta función general se concretiza en la integración de secuencias lingüísticas, y numerosos estudios de imagen cerebral indican que las AsB 44, 45 y 46 (área de Broca), contribuyen a la unificación de información léxica en estructuras lingüísticas mayores (frases y oraciones); es decir, en estas áreas se procesa información sintáctica (Hagoort, 2006: 248). Las formas en que estas áreas contribuyen al procesamiento sintáctico e interactúan con áreas posteriores se describirán con mayor precisión en la descripción del déficit lingüístico vinculado con su lesión (afasia de Broca, §3.2.) y en la exposición del modelo de gramática neuronal (§4).

La colaboración entre las regiones temporales y frontales que rodean la cisura de Silvio en el procesamiento del lenguaje se debe a su estrecha interconexión. Desde la monografía anatómica de J. Déjérine (*Anatomie des centres nerveux*, París, 1895) se acepta que el lóbulo temporal y el lóbulo frontal están principalmente conectados por un haz de axones llamado fascículo arqueado, que rodea la cisura de Silvio entre el giro inferior frontal izquierdo y los giros medio y superior del lóbulo temporal izquierdo. En las primeras fases de percepción lingüística se involucra la corteza auditiva (giro temporal superior, AB 41, 42, 22) de ambos hemisferios; posteriormente hay dos cauces de procesamiento lingüístico: 1) Cauce ventral, que se proyecta hacia el giro temporal medio posterior (AB 21 y 37) para conectar las representaciones fonéticas de las palabras y sus contenidos conceptuales distribuidos en la corteza; 2) Cauce dorsal, que se proyecta hacia la unión entre los lóbulos temporal y parietal (extremo posterior del AB22) y de ahí, por el fascículo arqueado, hacia la corteza frontal para coordinar las representaciones auditivas y motoras de las palabras (Hickok y Poeppel, 2004). En un estudio reciente de tractografía de difusión de tensor (IDT) (Glasser y Rilling, 2008), se plantea que hay dos rutas de conexión fronto-temporal, basadas en los dos cauces de procesamiento de Hickok y Poeppel 2004. El procesamiento fonológico se da en la ruta del giro temporal superior con el giro inferior frontal posterior (AB22 ↔ AB 44, 6); el procesamiento léxico-semántico y gramatical se da en la ruta del giro temporal medio y el giro inferior frontal anterior (AB 21, 37 ↔ AB 44, 45, 9).

3.2. Afasia de Broca

3.2.1. Historia de la clasificación de las afasias

En 1861, el cirujano francés Paul Broca conoció a Leborgne, un paciente que veinte años antes había perdido la habilidad de hablar y que era conocido en el hospital donde vivía como *Tan*: “comprendía todo lo que uno le decía; incluso tenía un sentido del oído muy sensible; pero no importaba qué pregunta le hiciéramos, él siempre respondía: *tan, tan*, y acompañaba esto con movimientos variables con los que podía expresar la mayoría de sus ideas.” (Broca, 1861/2006: 297). Al morir Leborgne, Broca extrajo su cerebro y descubrió una lesión que incluía la porción posterior del giro inferior frontal izquierdo y partes de la materia blanca subcortical, el lóbulo temporal y el lóbulo parietal inferior. Sabía que durante los primeros diez años de su convalecencia, el paciente sólo había sufrido incapacidad de expresión lingüística (que Broca llamó “afemia”, el término afasia se debe a Trousseau y engloba todo desorden lingüístico debido a una lesión cerebral) y la zona de la lesión que parecía más antigua era la frontal. De ese modo pudo proponer una correlación anatómico-funcional entre la zona central de la lesión de Leborgne, ahora conocida como “área de Broca” (AB 44 y 45), y la expresión lingüística.

En 1874, Carl Wernicke describió tres tipos principales de afasia: motora, debida a lesiones frontales que incluyen la corteza premotora y las áreas adyacentes (afasia de Broca; AB 6, 44 y 45); sensorial, vinculada con la pérdida de la capacidad para descodificar los sonidos del lenguaje (AB 22) y para producir lenguaje comprensible (afasia de Wernicke); y comisural, vinculada con la conexión entre el aspecto receptivo y expresivo del lenguaje (afasia de conducción). Con base en este planteamiento, Ludwig Lichtheim (1885/2006) desarrolló un modelo en el que se esquematiza el procesamiento neurolingüístico como la conexión entre la percepción auditiva (a), los centros de las imágenes auditivas (A), los conceptos (B), las imágenes motoras (M) y la expresión motora (m). (Ver Figura 3.1.)

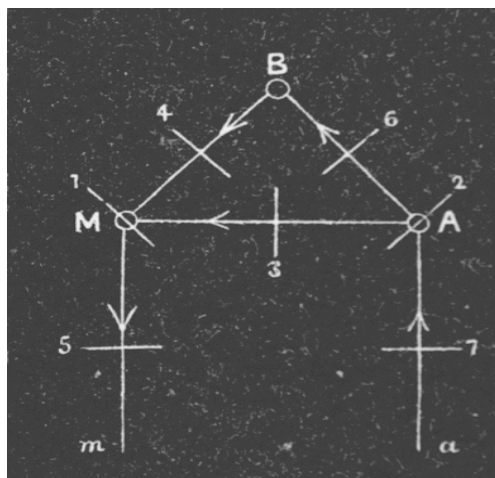


Figura 3.1. Diagrama del procesamiento del lenguaje en el cerebro según L. Lichtheim. (Brain 2006 129(6):1347-1350; doi:10.1093/brain/awl134)

Se asume que la función lingüística es el resultado del procesamiento sucesivo e integral del lenguaje en distintos centros corticales conectados y se explica el conjunto de déficits de una afasia según el centro o conector lesionado. Con base en este modelo, Norman Geschwind clasificó las afasias según cuatro criterios de evaluación: fluidez expresiva, capacidad de denominación, comprensión y capacidad de repetición. Un rasgo adicional es la aparición de parafasias: sustituciones de fonemas, sílabas o palabras enteras en el habla. En la tabla 3.1. se presenta una caracterización basada en este modelo para cuatro de los ocho tipos de afasia.

Caracterización de afasias

Tipo de afasia	Comprensión	Parafasia	Repetición	Denominación	Habla espontánea
Afasia de Broca	Buena	Poco frecuente	Pobre	Pobre	No fluida
Afasia de Wernicke	Pobre	Frecuente	Pobre	Pobre	Fluida
Afasia de conducción	Buena	Frecuente	Pobre	Pobre	Fluida
Afasia global	Pobre	Variable	Pobre	Pobre	No fluida

Tabla 3.1. (Rosenzweig *et al.*, 2001: 720)

La mayoría de las áreas corticales relacionadas con el lenguaje se activa tanto en la percepción como en la producción lingüísticas; este hecho es la base empírica de la teoría motora de la

percepción auditiva, según la cual se reconocen los sonidos del lenguaje gracias a la existencia de una pauta cortical de articulación muscular (Corbalis, 2009). La experiencia de los estudios afasiológicos apoya la concepción derivada de §3.1: los síndromes afásicos nunca afectan solamente una modalidad comunicativa (comprensión/expresión) y dejan intacta a la otra.

3.2.2. Afasia de Broca: déficits lingüísticos y localización cortical

Benson y Ardila (1996) clasifican la afasia de Broca en dos tipos. El *tipo I* suele ser transitorio y asociarse con una lesión restringida al área de Broca. Después de un mutismo inicial, se presentan dificultades articulatorias y de denominación; también hay reducción en la longitud y complejidad de frases y oraciones sin que haya una pérdida de otras estrategias gramaticales. El *tipo II* se asocia con una lesión que se extiende hacia el giro precentral inferior, anterior al área de Broca, la ínsula anterior y la sustancia blanca periventricular (Trejo-Martínez et al., 2007: 144). Este tipo de afasia es permanente y produce una expresión muy poco fluida y agramatismo.

El área de Broca está implicada en numerosas funciones cognitivas como memoria operativa, atención, cálculo y aritmética, decodificación musical, ejecución de movimientos distales como aprehensión manual e imaginación de actividades motoras, control orofacial y programación y análisis de secuencias. (Fadiga *et al.*, 2006; Fink *et al.*, 2006); Los déficits lingüísticos asociados con la afasia de Broca son producto del impedimento simultáneo de esas funciones cognitivas.

La relación entre el área y la afasia de Broca es controversial. La corteza inferior frontal izquierda es uno de las zonas que se activa de forma más consistente y regular en toda clase de estudios de imagen cerebral relacionados con el lenguaje (Müller, 2000: 42). Además, puesto que la afasia de Broca tipo II requiere una lesión extensa, no hay forma de atribuir a la lesión del área los síntomas de la afasia (Dick y Bates, 2000; Dronkers, 2000). Existen casos en los que una lesión en el área no produce una afasia de Broca (Hagoort, 2006: 244-245). Willmes y Poeck (1993), por ejemplo, estudiaron la tomografía computarizada de la lesión de 221 afásicos con una lesión vascular de la arteria cerebral media (que irriga el giro inferior frontal izquierdo) y encontraron que la probabilidad de que una lesión anterior provocara una afasia de Broca era del 35%. Los resultados de este estudio no cancelan la relación causal entre la lesión del área y la afasia porque no son específicos con respecto a la severidad de la muerte celular causada por la lesión vascular, pero obligan a ser prudentes al establecer relaciones anatómico-funcionales.

Con base en mi convivencia con personas con afasia, sé que el término “afasia de Broca” es útil en la práctica terapéutica porque permite reconocer un comportamiento lingüístico caracterizado por la reunión de los siguientes rasgos (González Ortuño, 2003: 13-17): 1) buena comprensión léxica y pragmática; 2) autoconciencia del fracaso expresivo y de comprensión (reconocen cuando han emitido una parafasia y cuando no comprenden lo que se les ha dicho); 3) dificultad en la articulación de algunos sonidos; 4) agramatismo. Los estudios referidos en los párrafos anteriores permiten afirmar que la mayoría de las veces esta afasia está fuertemente asociada con lesiones frontales izquierdas.

3.2.3. Agramatismo y función de la corteza inferior frontal izquierda

El término “agramatismo”, acuñado por Kussmaul en 1877, describe un cuadro afásico en el que fallan los recursos morfosintácticos en la comprensión y la producción lingüísticas (Pick 1913/2006: 337-342). El agramatismo es uno de los rasgos fundamentales asociados con la afasia de Broca, pero la gramática es afectada en cualquier tipo de afasia; de hecho, hay casos claros de personas con lesiones posteriores que presentan agramatismo (Caplan, 2000: 26).

El agramatismo posee un aspecto léxico (déficit en el uso de palabras funcionales de clase cerrada) y otro sintáctico (relaciones estructurales manifiestas en la secuencia de palabras). Mientras que las palabras de contenido semántico tienen una representación neuronal extendida por la corteza (cf. §3.1.3), la representación neuronal de las palabras de clase cerrada está restringida a las zonas de su representación léxica (en el lóbulo temporal) y sus componentes de categorización secuencial (corteza inferior frontal izquierda), que se describirán en §4. Así, cualquier lesión en un área principal del lenguaje afecta una porción mayor de la representación de una palabra funcional que de una palabra de contenido semántico (Pulvermüller, 1995). A diferencia de palabras que incluyen información sensorial relacionada con sus referentes (quesadilla, mujer, acantilado), y que se representan en diversas zonas de la corteza, las palabras funcionales se representan solamente en las regiones adyacentes a la cisura silvanica y por lo tanto son más vulnerables. Por eso, la incapacidad de repetir una oración de palabras funcionales del inglés como “No ifs, ands, or buts” (adaptada al español como “Sin peros ni más porques”) es un signo claro de las afasias de Broca y conducción (Geschwind 2006/1970: 379).

Mientras que la producción de un afásico de Wernicke es fluida y rica en palabras gramaticales, la producción de un afásico de Broca es particularmente deficiente en el ámbito de

las palabras funcionales, la producción de verbos y la concordancia entre sujeto y verbo. La evidencia reunida por la afasiología en el último siglo confirma que hay una tendencia fuerte a que una lesión inferior frontal izquierda produzca una afasia de Broca y que hay una correlación necesaria entre el diagnóstico de afasia de Broca y el agramatismo. De este modo, es razonable proponer una relación entre la función de la corteza inferior frontal izquierda y la gramática. Los dos aspectos de la función general del giro inferior frontal izquierdo (incluida el área de Broca) que se podrían relacionar con la gramática son la memoria operativa y el procesamiento secuencial (Goldman-Rakic, 2000). Así, las regiones posteriores que procesan información lingüística interactúan con la corteza frontal para el procesamiento ejecutivo: toma de decisiones (asignación de funciones gramaticales, por ejemplo), comparación y recuperación activa de información en una secuencia (establecimiento de dependencias referenciales, p. ej.) (Petrides 2000: 108).

La codificación de relaciones gramaticales propia de las palabras funcionales depende del procesamiento frontal de secuencias. La concordancia gramatical establece relaciones entre elementos de una secuencia e implica recuperación de información (concordar un verbo con el sujeto implica recuperar su persona y número); las palabras funcionales toman una decisión sobre las palabras de contenido que acompañan en la secuencia, es decir, afectan el tipo de información recuperada durante el procesamiento de un mensaje lingüístico (el tipo de artículo determina si el sustantivo que precede será recuperado como (in-)definido; la preposición “de” puede marcar de antemano al sustantivo que antecede como “poseedor” (“el libro *de Juan*”); la presencia de la preposición “a” marca como objeto directo (O) al sustantivo personal que antecede en la secuencia (“Lutero besó *a Erasmo*”), etc.).

La forma en que el procesamiento de información secuencial se realiza efectivamente en la corteza y permite la existencia de información gramatical se describe en §4.

4. Gramática Neuronal

4.1. Redes neuronales del lenguaje

4.1.1. Redes de palabra

Las neuronas corticales establecen redes funcionales de activación que les permiten sobrevivir como células individuales al tiempo que contribuyen a la función adaptativa del cerebro (§2.1). Los ensambles o redes neuronales formados por aprendizaje asociativo (descritos en §2.3.) y vinculados con el lenguaje se pueden dividir en dos clases afines con la tradición lingüística: redes correspondientes al léxico (redes de palabra) y a la gramática (detectores de secuencia). Su localización cortical, sugerida por numerosos estudios representados en §3.1, se puede esbozar así: las redes de palabra tienen una distribución amplia en la corteza de ambos hemisferios con un núcleo común de carácter fono-articulatorio localizado en el lóbulo temporal del hemisferio izquierdo; los detectores de secuencia dependen de la corteza frontal del mismo hemisferio y establecen conexiones con la corteza temporal por medio de los cauces descritos en §3.1.3. En este y en el siguiente apartado se describen las características funcionales de estas dos redes neuronales del lenguaje.

Se llama *red de palabra* al ensamble o red neuronal que vincula un segmento de información fonológica estable y recurrente en distintos contextos lingüísticos (unidad lingüística con libertad de movimiento: Bloomfield, 1933/1964) con información referente a algún aspecto particular del mundo (un objeto, persona, acción, estado emocional, etc.) o de la interacción lingüística (un rol discursivo, la accesibilidad de un referente, su valor pragmático, etc.). Las conexiones fuertes entre las neuronas que forman la red funcional de una palabra permiten que la activación de algunas de las neuronas de la red provoque la activación simultánea de la red entera, fenómeno llamado *ignición*. Así se explica que el escuchar un conjunto de fonemas determinado induzca de manera necesaria (no depende de la voluntad que la palabra “árbol” signifique algo al ser escuchada o leída) un estado de consciencia asociado con otros tipos de información sensorial; de igual forma, otras funciones cerebrales (memoria episódica, percepción visual, olfativa, etc.) pueden inducir la activación de un patrón fono-articulatorio. La experiencia humana del mundo está impregnada de lenguaje por la amplísima y fuerte distribución de la información susceptible de asociarse con patrones fono-articulatorios que reconocemos como palabras. En §3.1.3 se describe la localización general del sistema léxico-semántico al que pertenecen las palabras y se

refiere un estudio (Pulvermüller, 2005) en el que se demuestra la existencia y amplia extensión de las redes de palabras.

Una red de palabra posee tres estados posibles análogos a los estados posibles de las neuronas que la constituyen:

I) Descanso (0): La mayoría de las neuronas de la red se encuentran en potencial de reposo. Es preciso acotar que se trata de la mayoría y no todas las neuronas, pues todas las redes de palabras comparten algunas de sus neuronas constituyentes. Esto es evidente si pensamos que todas las redes de palabras contienen información fonológica y que en las lenguas existen entre alrededor de 15 y 60 fonemas solamente. Así, es muy probable que en el AB22 se encuentren ensambles neuronales que representen los fonemas y que formen parte de todas las redes de palabras cuyo patrón fonológico incluya esos fonemas. Aunque durante la percepción de la palabra “gato” se activen las mismas redes de fonemas de la palabra “toga”, la red de esta palabra permanece en descanso.

II) Ignición (I): La mayoría de las neuronas de la red se activa de manera simultánea. Recordemos que la transmisión de un potencial de acción es probabilística y que en muchas ocasiones no se consigue, por lo que nunca se activarán todas las neuronas de una red de palabra. Sólo existe un umbral de ignición (porcentaje mínimo de neuronas activadas para una ignición). El correlato cognitivo de la ignición es la percepción plena de la palabra, su comprensión. Cuando la ignición de una red neuronal no ha sido “preparada” (ver inciso III), esta produce una intensa inhibición de la actividad de las redes neuronales con las que compite por medio de la activación de neuronas inhibitorias; con esto se consigue mantener una activación ordenada y funcional de las redes neuronales.

III) Preparación (*priming*) (P): Las neuronas pueden ser preparadas de manera facilitatoria (aumentando el voltaje del potencial de reposo) o inhibitoria (disminuyéndolo). Una red de palabra puede ser preparada de esta manera (la mayoría de sus neuronas reciben señales electroquímicas que determinarán su potencial de acción al presentarse un estímulo sucesivo) o puede ser preparada por la activación de un subgrupo de sus neuronas que contribuirá a que la red de palabra tenga ignición más rápida, consistente y reducida; es decir, un número menor de sus neuronas serán necesarias para que su ignición se cumpla (Schacter y Buckner, 1998), por lo que se logra un ahorro energético (§2.4.). La preparación es un procesamiento

parcial y anticipado de un estímulo (Rosenzweig, *et al.*, 2001: 659); es la realización neuronal del componente predictivo de la función cerebral (§2.1.) y contribuye, por un lado, a incrementar la eficiencia de interacción con el ambiente y, por otro, a ahorrar energía.

Existe otro estado posible de una red de palabra que no coincide con un estado de la neurona, pues es un estado propio de un ensamble neuronal:

IV) Reverberación (R): Los grupos de neuronas más relevantes para una red de palabra persisten activándose unos a otros después de la ignición. Este estado se agota naturalmente por el aumento de neuronas en período refractario (§2.3) y por la activación de redes funcionales que activan neuronas inhibitorias vinculadas con la red en reverberación. En la reverberación simultánea de una cadena de palabras se da el fenómeno subjetivo de la comprensión.

4.1.2. Detectores de secuencia

La capacidad de la corteza cerebral para asociar percepciones y acciones no se limita a la simultaneidad. Los detectores de secuencia son redes funcionales cuya activación vincula otras redes funcionales asociadas con elementos de la experiencia (activa o perceptiva) que suelen presentarse en una sucesión temporal próxima (secuencias). El famoso condicionamiento de los perros de Ivan P. Pavlov dependía de la existencia de estos detectores de secuencia: grupos de neuronas cuya función se fijó como mediadores entre el sonido de la campana y la presentación de la comida. El condicionamiento (salivación producida por la campana) dependía de una red funcional que servía como detector de la secuencia campana → comida, y preparaba los circuitos neuronales vinculados con la alimentación (hecho observable en la salivación). Así, la utilidad general de estos detectores de secuencia es funcionar como mediadores entre grupos neuronales que permitan la preparación sucesiva de los componentes de una secuencia.

En el procesamiento neurolingüístico los detectores de secuencia están vinculados con la función de la morfología, la sintaxis (§3.1.3.) y las palabras funcionales a las que se aludió en la descripción del agramatismo (§3.2.2). Este vínculo es claro en la sintaxis, pues su capacidad informativa depende del reconocimiento del orden de las palabras. En el caso de la morfología, la importancia de la secuencia se manifiesta en los fenómenos de concordancia gramatical, donde la información aportada por los morfemas de persona y número de un sustantivo (Sust) en función

de sujeto (S) determinará la forma de otros elementos en la secuencia: el adjetivo (Adj) y el verbo (V).

Las redes de palabras funcionales involucran detectores de secuencia porque contribuyen a la categorización de las palabras que acompañan. Así, las preposiciones en español preparan la clasificación de las palabras que preceden, por ejemplo: “a” → *destino, paciente*; “de” → *poseedor*; con → *instrumento*. La importancia de los detectores de secuencia asociados con redes de palabras funcionales es capital para la propuesta teórica de este trabajo (ver §6).

La capacidad de producir y comprender secuencias de palabras diversas, nunca antes experimentadas, es un rasgo definitorio y exclusivo del lenguaje humano (la productividad de Hockett, 1958). Esta capacidad es usada por Chomsky para defender la existencia de una gramática universal innata, apoyado en el supuesto de que el conocimiento gramatical del hablante excede por mucho su experiencia (Chomsky, 1968). Si hay alguna gramática universal es, sencillamente, la posibilidad de generalización de detectores de secuencia. La generalización funciona gracias a que las redes de palabra se organizan en conjuntos corticales definidos por rasgos formales y semánticos compartidos (muchas redes de palabra comparten la referencia a entidades concretas del mundo con cualidades de género y número que encuentran expresión morfológica: el Sust; otras refieren procesos y su morfología expresa la persona y el número del participante más prominente del proceso: el V; etc.). Un conjunto de redes de palabra (frases nominales (FsNs) con ciertas propiedades informacionales (tópico) y contextuales (primera posición en la cadena)) puede poseer un detector de secuencia que lo vincula con otro conjunto de redes de palabra y morfema (verbos conjugados). Es posible aprender una nueva red de palabra (“astronauta”) que, por sus cualidades, compartirá el núcleo de su representación con otras redes de palabra (el núcleo es Sust); así, al activarse esta red de palabra en ciertas condiciones puede preparar, sin haber experimentado esta secuencia específica antes, la entrada de un miembro de otro conjunto de redes de palabra (V), determinar la forma de este (concordancia morfológica) y aceptar como gramatical una secuencia del tipo: “El astronauta golpeó...”; la experiencia previa del verbo *golpear* en diversos contextos puede activar un detector de secuencia que prepare la aparición de una secuencia que especifique el participante golpeado: la frase nominal (FN) “la nave”.

El rango de tiempo dentro del que pueden aparecer dos redes funcionales que activen un detector de secuencia es variable. Por ese motivo, las redes de palabra vinculadas por un detector

de secuencias pueden estar separadas por la activación de otras redes de palabra (Pulvermüller, 2002: 162).

4.2. Componentes algorítmicos de la gramática neuronal

La gramática neuronal es, como se planteó en §1, un modelo del procesamiento neurolingüístico cuyo fin es representar de manera explícita la actividad neuronal asociada con la comprensión del lenguaje. Para lograr esto, el modelo consta de dos componentes teóricos y una serie de reglas derivadas de ellos que establecen un algoritmo de análisis lingüístico. Un algoritmo es un procedimiento sistemático aplicado a un conjunto de símbolos para alcanzar un resultado; este tipo de procedimiento está determinado por una serie de reglas y asegura que “se obtendrá una respuesta definida en un número finito de pasos. En cada paso está perfectamente claro qué operación debe realizarse, y también es perfectamente clara la decisión de cuándo debe darse por terminado todo el proceso.” (Penrose, 2002: 49). Los componentes teóricos de un algoritmo de gramática neuronal son de tipo computacional (neuronas de McCulloch-Pitts) y de tipo lingüístico (categorías léxicas y sintácticas según una teoría gramatical).

4.2.1. Neuronas de McCulloch-Pitts

Warren McCulloch y Walter Pitts son los fundadores de los modelos computacionales del cerebro. Su aportación principal fue afirmar que cualquier fenómeno cognitivo (psicológico, en sus términos), puede analizarse y comprenderse en términos de la actividad de una red de dispositivos computacionales binarios conocidos como “neuronas de McCulloch-Pitts” (Glimcher, 2009: 131-135). Estos dispositivos se asemejan a las neuronas porque, como vimos en §2.4, transmiten información de manera analógica (preparación) y digital (ignición). Con estos dispositivos, McCulloch y Pitts desarrollaron un modelo computacional de la función neuronal en el que se podía realizar cualquier cálculo determinista. A pesar de que la función neuronal está determinada por factores probabilísticos, las neuronas de McCulloch-Pitts son adecuadas como parte de un modelo de gramática neuronal, ya que el procesamiento neurolingüístico es fuertemente determinista, pues maximiza la certidumbre comunicativa.

Una neurona de McCulloch-Pitts es un dispositivo (representado gráficamente en los esquemas por un círculo asociado a una palabra o categoría) que transforma un estado computacional de entrada (*input*) en uno de salida (*output*). En la gramática neuronal este dispositivo representa las

redes de palabra (§4.1.1) y los detectores de secuencia (§4.1.2). Sus estados posibles son los cuatro descritos en §4.1.1: ignición (I), descanso (0), preparación (P) y reverberación (R). Estos estados tienen duraciones específicas llamadas *pasos de tiempo t* (equivalentes a los pasos de cualquier algoritmo) y son resultado de la interacción entre el estado de la neurona y la influencia de otras neuronas en ella en un *t* anterior; sus efectos sobre otras neuronas están definidos por un conjunto de reglas (principios de gramática neuronal descritos en §4.3). Estos dispositivos son usados en la gramática neuronal por ser capaces de representar operaciones sintácticas diversas de manera simple, aunque no reflejen los aspectos probabilísticos del procesamiento lingüístico (Pulvermüller 2002: 106-107).

4.2.2. Categorías léxicas y sintácticas

Pulvermüller (2002) basa el componente gramatical de sus algoritmos en categorías léxicas definidas según la gramática estructural (de dependencia) de L. Tesnière (1959). Una gramática de dependencia puede formularse en términos de reglas de dependencia que operan sobre las categorías léxicas y prescinden de categorías sintácticas. Esas reglas indican que un miembro de una categoría léxica en la secuencia requiere miembros de otras categorías léxicas: un verbo transitivo (V) requiere dos sustantivos, uno en caso nominativo (N1) y otro en acusativo (N2), lo cual puede expresarse así: V (N1 /*/N2) (**Juan** pasteuriza a *María*); la categoría Sust también puede estar determinada por la presencia de un determinante (Det /*/) (Pulvermüller, 2002: §7.4). La idea básica de este tipo de teoría gramatical es que las categorías léxicas pueden definirse por el conjunto de categorías léxicas que las complementan.

Cada red de palabra se inscribe en una categoría léxica al poseer un grupo determinado de detectores de secuencia que la vinculan con miembros de otras categorías. La activación completa de la red de palabra de un Sust nominativo dependería de la activación de sus detectores de secuencia vinculados con algún tipo de determinante (un artículo, por ejemplo) y un verbo con el cual concuerde.

Sin alterar el principio básico por el que Pulvermüller (2002) usa una teoría gramatical de dependencia estructural (el hecho de que una categoría está definida por las categorías de las que depende para significar en un mensaje), en este trabajo se usan categorías pertenecientes a la sintaxis funcional (Foley y Van Valin, 1984). Esto se debe a dos factores principales: 1) que los términos usados por Pulvermüller (2002) están adaptados al inglés y al alemán (lenguas sobre las

que reflexiona), por lo que el orden de palabras (para el inglés) y el caso morfológico (para el alemán) son las estrategias a las que su modelo presta más atención; el español es una lengua de orden dependiente del valor pragmático de los constituyentes (su orden básico es SVO) y carece de caso morfológico; 2) numerosas pruebas lingüísticas prueban la realidad de la frase como unidad formal de las funciones gramaticales (sujeto (S), objeto directo (O)) y el análisis de las estructuras gramaticales estudiadas aquí (las oraciones restrictivas de relativo) requiere que la activación de los detectores de secuencia dependa de la información contenida en la frase, categoría sintáctica que el modelo original no reconoce.

Como el análisis demostrará, para establecer un algoritmo coherente de ciertas estructuras gramaticales complejas se requiere la aceptación de dos modos de relación secuencial: uno basado en categorías léxicas básicas para los constituyentes de la frase (artículo, sustantivo, adjetivo, preposición, verbo, adverbio, pronombre) y otro modo basado en la función gramatical de las frases.

4.3. Esquema del circuito de gramática neuronal

Para comprender el funcionamiento de la gramática en términos de circuitos neuronales, es necesario esquematizar las palabras como neuronas de McCulloch-Pitts terminales, es decir, que están vinculadas directamente con su representación sensorimotora (redes de palabras). Las categorías gramaticales, ya sean léxicas o sintácticas (funcionales), se esquematizan como neuronas de McCulloch-Pitts intermediarias, vinculadas con las representaciones internas de las palabras pero no con estímulos exteriores; estas representan detectores de secuencia (Pulvermüller 2002: 209).

Las operaciones del algoritmo de gramática neuronal de cualquier mensaje lingüístico requieren tres tipos de fórmulas:

- 1) Fórmulas de asignación.- Especifican la pertenencia de una forma a una categoría léxica.

Se representa con una doble flecha (\leftrightarrow) la asignación de las formas a una categoría:

- (1) “mesa”, “árbol”, “casa” \leftrightarrow sustantivo común [SustC].
- (2) “el”, “la”, “los”, “las” \leftrightarrow artículo definido [Art].

- 2) Fórmulas de valencia.- Especifican las propiedades contextuales de una categoría; es decir, sus características secuenciales en términos de detectores de secuencia relacionada

con el pasado (p) o con el futuro (f). Se representa con la contigüidad entre el nombre de la categoría y un esquema entre paréntesis en el que la categoría clasificada se expresa con un asterisco y sus detectores asociados con una p o f que determina su relación temporal:

- (3) Sust [Sustantivo común] (p [artículo] / * / f [adjetivo en caso de faltar especificación]) (El /la /los/ las /lo/ los /**mar**/ azul / del Norte/ que visitamos)
 (4) S (/ * / f [verbo]) (/El **mar**/ ruge)

3) Fórmulas de secuencia.- Especifican secuencias específicas. Con ellas se representan las relaciones de orden, como la anteposición de un artículo o una preposición a un sustantivo. Para las categorías sintácticas, el valor de orden de aparición (pasado (p) o futuro (f)) dependerá del contexto pragmático. Se representan con una flecha unidireccional:

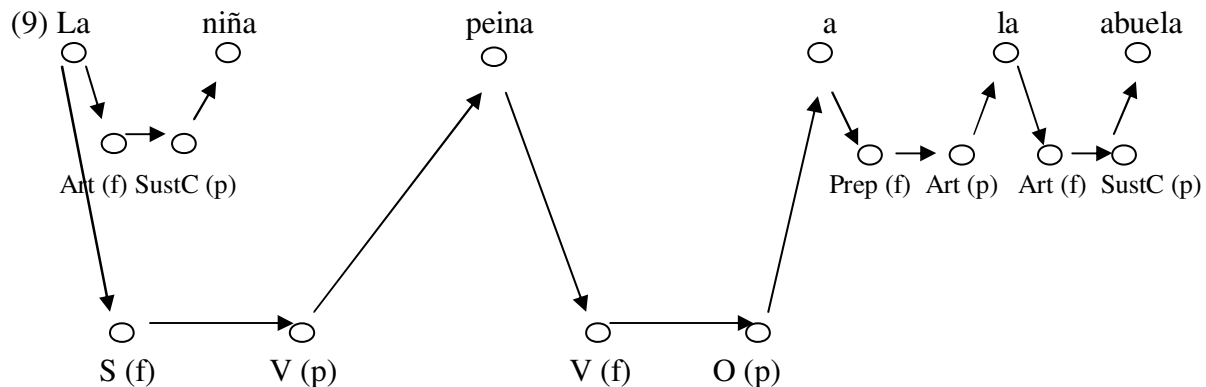
- (5) Art (f) → SustC (p)
 (6) S (f) → V (p)

Estas fórmulas se aplican a cualquier mensaje lingüístico complejo y a partir de ese proceso puede obtenerse un esquema del circuito neuronal asociado con la gramática de una oración percibida. Al aplicar estas fórmulas a la oración (7) se obtiene (8).

- (7) La niña peina a la abuela.
 (8) 1.- “la” ↔ Art
 2.- “niña”, “abuela” ↔ SustC
 3.- “peina” ↔ V
 4.- “a” ↔ Prep [preposición]
 5.- “La niña” ↔ S
 6.- “peina” ↔ V [frase verbal transitiva libre]
 7.- “a la abuela” ↔ O [objeto directo animado]
- 8.- Art (/ */ f)
 9.- SustC (p / * /)
 10.- Prep (/ * / f)
 11.- S (/ * / V)
 12.- V (p / * / f)
 13.- O (p / */)
- 14.- Art (f) → S (p)
 15.- Prep (f) → Art (p)

- 16.- $S(f) \rightarrow V(p)$
 17.- $V(f) \rightarrow OD(p)$

En (8) observamos el grupo de fórmulas de asignación (1-7), valencia (8-13) y secuencia (14-17) necesarias para obtener el análisis de los circuitos neuronales involucrados en el procesamiento de la oración (7). El circuito neuronal derivado de estas formulas y que representa el procesamiento gramatical de esta oración se esquematiza como (9):



Cada círculo es una neurona McCulloch-Pitts que representa una red neuronal cuya existencia es supuesta a partir de pruebas empíricas (Pulvermüller, 2002: §4 y §13). Cada red es capaz de encontrarse en cualquiera de los estados descritos en §4.1.1. Las flechas representan las conexiones existentes entre las redes neuronales; es importante recordar que cada flecha representa una conexión en la que el desplazamiento de las señales neuronales es bidireccional; la punta de la flecha indica la dirección de señal más fuerte, es decir, la relación predictiva más importante. Las fórmulas de asignación determinan la existencia de las categorías (léxicas en el primer nivel y sintácticas en el segundo). Las fórmulas de valencia establecen el número de conexiones de cada forma léxica con detectores de secuencia (flechas perpendiculares). Las fórmulas de secuencia se esquematizan en las flechas horizontales entre detectores de secuencia.

La figura 4.1 es una típica red funcional de la corteza cerebral humana extraída de datos de RMf. En ella pueden observarse nodos de distinto tamaño y opacidad que representan grupos neuronales de función específica (equivalentes a las redes de palabra y detectores de secuencia);

las líneas que los unen representan las conexiones (axones y dendritas) que establecen entre sí. Los detectores de secuencia se asocian con muchas redes de palabra, por lo que equivalen a aquellos nodos ubicados en las regiones con mayor densidad de líneas; esas regiones constituyen el correlato neurológico de las categorías lingüísticas (funcionales y léxicas), mientras que los nodos vinculados con pocas líneas representan redes de palabras específicas, es decir, constituyen el léxico de una lengua.

Detectores de secuencia: Funciones gramaticales

Categorías léxicas

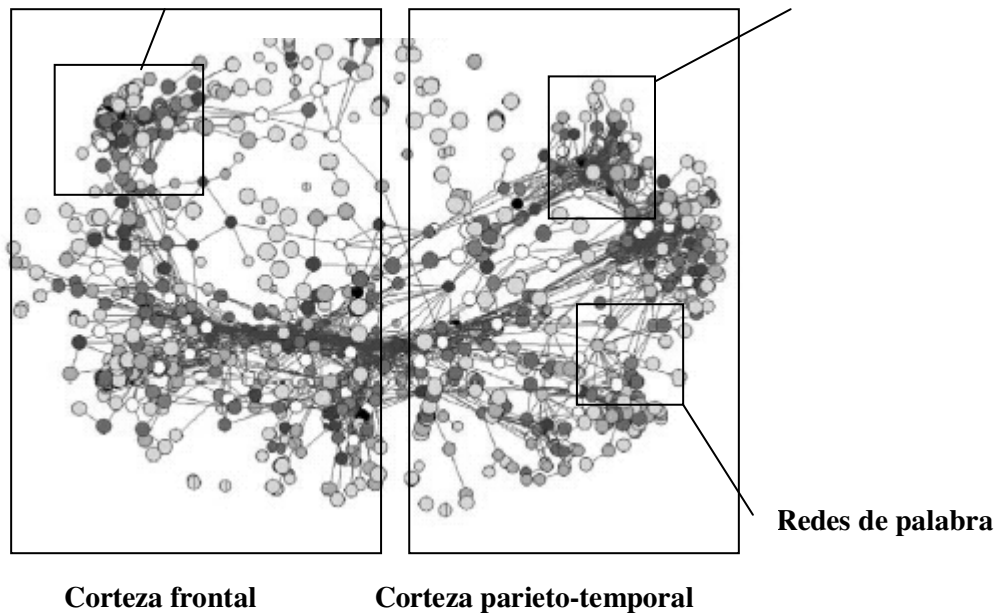


Figura 4.1. Red funcional de la corteza cerebral usada para representar las redes de la gramática neuronal. (Sporns *et al.*, 2004: 421)

4.4. Activación del circuito gramatical

4.4.1. Principios de gramática neuronal

Para comprobar que el esquema del circuito gramatical es congruente con las características de función neuronal (§2.3) y que, por lo tanto, representa el procesamiento neurolingüístico de una cadena de palabras, es preciso simular su activación. Para ello existe un conjunto de principios de gramática neuronal (Pulvermüller, 2002: §10.7) en los que se establecen los posibles estados de las redes funcionales (representadas con la letra S de “sets”, conjuntos) descritos en §4.1.1 (ignición preparada (I), ignición no preparada (I^{\wedge}), descanso (0), preparación (P) y reverberación

(R)) y las reglas (derivadas de la naturaleza de la función neuronal resumida en §2.3) de transmisión de señales entre las redes de palabra y los detectores de secuencia que las vinculan. El fenómeno de comprensión se confirma en el modelo si todas las redes de palabra y detectores de secuencia se sincronizan al final en un estado de reverberación intensa (R). Con base en los principios, aplicados sobre sucesivos pasos (periodos de tiempo), se podrá simular la comprensión de una oración. En la enumeración de los principios, la nomenclatura $S(x, t)$ indica el estado (x) de la red S en el tiempo “ t ”. Cada “ t ” tiene una duración variable medida en milisegundos; la expresión $t+1$ significa el momento de procesamiento inmediatamente posterior al representado por t . La flecha \rightarrow se glosa como “causa y es seguido por”.

Principio 1. Cambios espontáneos de actividad en S

- I. $S(0, t) \rightarrow S(0, t+1)$
- II. $S(I, t) \rightarrow S(R1, t+1)$
- III. $S(Pi, t) \rightarrow S(0, t+1)$
- IV. $S(Ri, t) \rightarrow S(Ri, t+1)$
- V. Periodo refractario: Si $S(I, t)$, S no puede activarse en $t+1$ ni $t+2$.

Principio 2. Cambio de actividad en un S de entrada causada por estimulación externa (E)

- I. $S(0, t), S(E, t) \rightarrow S(I^{\wedge}, t+1)$
- II. $S(P1, t), S(E, t) \rightarrow S(I, t+1)$
- III. $S(Pi, t), S(E, t) \rightarrow S(I^{\wedge}, t+1)$ si $i > 1$
- IV. $S(R1, t), S(E, t) \rightarrow S(IR2, t+1)$
- V. $S(R1, t), S(E, t) \rightarrow S(I^{\wedge}Ri, t+1)$ si $i > 1$

Principio 3. Cambios de actividad causados en Sq por una conexión entre Sp y Sq

- I. $Sp(I, t), Sq(0, t) \rightarrow Sq(P1, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$
- II. $Sp(I, t), Sq(Ri, t) \rightarrow Sq(I, t+1)$ sólo si $i < 3$
- III. $Sp(I, t), Sq(0, t) \rightarrow Sq(P1 R1, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$ y $i > 2$
- IV. $Sp(I, t), Sq(Ri Rj, t) \rightarrow Sq(IRj, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$, $i < 3$, $j > 2$
- V. $Sp(Ri, t), Sq(0, t) \rightarrow Sq(P1, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$
- VI. $Sp(Ri, t), Sq(Rj, t) \rightarrow Sq(P1 Rj, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$, $i \neq j$
- VII. $Sp(Ri, t), Sq(Ri, t) \rightarrow Sq(Ri, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$
- VIII. $Sp(Pi, t), Sq(0, t) \rightarrow Sq(Pi, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$ y Sp es un detector de secuencia
- IX. $Sp(Pi, t), Sq(Pj, t) \rightarrow Sq(Pi Pj, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$, Sp es un detector de secuencia e $i \neq j$
- X. $Sp(Pi, t), Sq(Pi, t) \rightarrow Sq(Pi, t+1)$ sólo si $Sp \rightarrow Sq$, Sp es un detector de secuencia

Principio 4. Cambios de actividad causados en Sr por sus conexiones con Sp y Sq

- I. $Sp(I, t), Sq(I, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(I, t+1)$
- II. $Sp(I, t), Sq(R_i, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(I, t+1)$ sólo si $i=1/ i=2$ y $Sq \rightarrow Sr$
- III. $Sp(I, t), Sq(R_i, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(P_1 P_i, t+1)$ sólo si $i>2$, $Sp \rightarrow Sr, Sq \rightarrow Sr$
- IV. $Sp(I, t), Sq(P_i, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(I, t+1)$ sólo si $i=1/ i=2$, $Sq \rightarrow Sr$ y Sq es un detector de secuencia
- V. $Sp(I, t), Sq(P_i, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(P_1 P_i, t+1)$ sólo si $i>2$, $Sp \rightarrow Sr, Sq \rightarrow Sr, Sq$ es un detector de secuencia
- VI. $Sp(P/R_i, t), Sq(P/R_j, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(P_i P_j, t+1)$ sólo si $i>2$, $Sp \rightarrow Sr, Sq \rightarrow Sr$ y los $S(P, t)$ son detectores de secuencia
- VII. $Sp(P/R_i, t), Sq(P/R_i, t), Sr(0, t) \rightarrow Sr(P_i, t+1)$ sólo si $i>2$, $Sp \rightarrow Sr, Sq \rightarrow Sr$ y los $S(P, t)$ son detectores de secuencia

Principio 5. Regulación de activación

- I. Si una ignición completa I^\wedge de una entrada S sucede en t , para todos los S en reverberación: $S(R_i, t) \rightarrow S(R_{i+1}, t+1)$
- II. Si no hay ignición o reverberación R_1 en t , para todos los S en reverberación: $S(R_i, t) \rightarrow S(R_{i+1}, t+1)$

Principio 6. Inhibición entre dos representaciones categoriales α y β conectadas a una entrada activa S (I ó R_1, t)

- I. La ignición de S sólo se puede transmitir a redes incluidas en α o β . La representación activada de manera más fuerte prevalece
- II. Si una o más redes incluidas en α pero no en β se activan (I) en t , ninguna red incluida en β pero no en α puede exhibir I, P_1 o R_1 en $t+1$
- III. Si todas las redes incluidas en α pero no en β están en R_1 en t , ninguna red incluida en β y no incluida en α puede exhibir P_1 o R_1 en $t+1$

4.4.2. Tabulación del curso de activación neuronal de una cadena de palabras

Con los principios establecidos arriba puede construirse una representación del curso de activación de las redes de palabra y detectores de secuencia involucrados en la comprensión de cualquier oración. Como ejemplo, puede observarse la activación de (7) en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Curso de activación de la gramática neuronal de (7).

t	/L./f1,f2	p/n./	p/p./f	p/a/f	p/l./f	p/a.
1 La	/I [^] /0,0	0/0/	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0
2	/R/P,0	0/0/	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0
3	/R/P,0	P/0/	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0
4	/R/P,0	P/P/	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0
5 niña	/R/P,0	P/I/	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0

6	/R/P,O	I/R/	O/O/O	O/O/O	O/O/O	O/O
7	/R/I,O	R/R/	O/O/O	O/O/O	O/O/O	O/O
8	/I/R,O	R/R/	O/O/O	O/O/O	O/O/O	O/O
9	/R/R,P	R/R/	P/O/O	O/O/O	O/O/O	O/O
10	/R/R,P	R/R/	P/P/O	O/O/O	O/O/O	O/O
11peina	/R/R,P	R/R/	P/I/O	O/O/O	O/O/O	O/O
12	/R/R,P	R/R/	I/R/P	O/O/O	O/O/O	O/O
13	/R/R,I	R/R/	R/R/P	P/O/O	O/O/O	O/O
14	/I/R,R	R/R/	R/R/P	P/P/O	O/O/O	O/O
15 a	/R/I,R	R/R/	R/R/P	P/I/O	O/O/O	O/O
16	/R/R,I	R/R/	R/R/P	I/R/P	O/O/O	O/O
17	/R/R,R	I/R/	R/R/I	R/R/P	P/O/O	O/O
18	/R/R,R	R/I/	R/I/R	R/R/P	P/P/O	O/O
19 la	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/R/P	P/I/O	O/O
20	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/R/P	I/R/P	O/O
21	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/R/I	R/R/P	P/O
22	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/I/R	R/R/P	P/P
23 abuela	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	I/R/R	R/R/P	P/I
24	/R/, R, R	R/R/	R/R/I	R/R/R	R/R/P	I/R
25	/R/, R, R	R/R/	R/I/R	R/R/R	R/R/I	R/R
26	/R/, R, R	R/R/	I/R/R	R/R/R	R/I/R	R/R
27	/R/, R, I	R/R/	R/R/R	R/R/R	I/R/R	R/R
28	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/R/I	R/R/R	R/R
29	/R/, R, I	R/R/	R/R/R	R/I/R	R/R/R	R/R
30	/I/, R, R	R/R/	R/R/R	I/R/R	R/R/R	R/R
31	/R/, R, R	I/R/	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R
32	/R/, R, R	R/I/	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R
33	/R/, R, R	R/R/	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R
34 Desact.	/O/O,O	O/O/	O/O/O	O/O/O	O/O/O	O/O

En el primer renglón de la Tabla 4.1 se establecen las redes neuronales asociadas con cada palabra de la cadena; entre barras se escribe la primera letra de la palabra y a sus lados se establecen los detectores de secuencia (pasados o futuros, según el contexto oracional) que las caracterizan gramaticalmente. En la primera columna se indica el momento t del procesamiento neurolingüístico de comprensión; en varios momentos se presentan las palabras junto al número de t para indicar que en ese momento del procesamiento se percibió dicha palabra. Como indica el Principio 2.I, la activación del primer elemento de la cadena (t1) produce una ignición muy intensa (I[^]) que inhibe otras redes neuronales próximas. Esto permite la concentración del estado consciente en el procesamiento de la cadena lingüística, es decir, concentra la atención en las

redes neuronales activadas. La activación de la red de palabra de “La” permanece en reverberación (según el principio 1.IV) indefinidamente después de su ignición, al tiempo que produce la expansión del estado de preparación por los detectores de secuencia asociados con la categoría Art, prepara el detector pasado con el que se vincula (red que representa la categoría SustC) y después la red de palabra de entrada de un SustC, cuya configuración neuronal será rica en la medida en que es un participante accesible para el oyente (“niña” en este caso) (Leonetti, 1999). No prepara aún su f2 puesto que ese detector representa la frase nominal de S, cuyos requisitos de activación no estarán satisfechos hasta que la red del Art sea reactivada por la presencia de su núcleo nominal (NN). El mecanismo que podría respaldar la activación de los detectores de secuencia es la sensibilidad a distintos umbrales de activación de la red de palabra de “La”: uno intenso e inhibitorio para la preparación léxica y uno extenso y más débil (pues ha sido preparado) para la reactivación que lo deja en un estado de reverberación simultánea con el sustantivo y que lo convierte en red de frase. La función sintáctica de la frase “La niña” se predice con la preparación del f2 de “La” en el t9 y se confirma con la activación de (p) del V “peina” que concuerda con “La niña”. La concordancia de número y persona entre el V y el S puede procesarse gracias a la preparación del V por la activación del S. La entrada percibida del V produce una nueva cadena de activación de “La niña” (observable entre t13 y t18), la cual puede interpretarse como la confirmación de que dicha frase es el S del V. Se deja el análisis pormenorizado del resto del procesamiento al lector de la tabla 4.1.

El número de tiempos entre la entrada de cada una de las palabras es determinado por el número de operaciones computacionales que la activación de una palabra requiere producir en el circuito sin ser interferidas por la activación del siguiente elemento. Como se sugerirá en el siguiente capítulo, los rasgos prosódicos de las oraciones pueden estar correlacionados con esta restricción operativa de las neuronas. Así, una vez que se han agotado las operaciones producidas por una entrada, se puede presentar la activación de la siguiente. En la cadena procesada en la tabla 4.1., el promedio de momentos entre la entrada de cada palabra está alrededor de 5 ts. Los tiempos posteriores a la entrada de la última palabra de la cadena son más y reflejan la integración del sentido de la oración (en ocasiones los oyentes repiten en silencio las oraciones escuchadas antes de comprenderlas, lo cual podría ocurrir en este período).

En el siguiente capítulo se presentan los datos lingüísticos requeridos para el planteamiento de un circuito de gramática neuronal de las OsRsR.

5. Las oraciones restrictivas de relativo

5.1. Introducción

En este capítulo se describirán los fundamentos lingüísticos necesarios para el conocimiento de la gramática neuronal de la estructura denominada “oración restrictiva de relativo” (ORR). En primer lugar, se describirá el problema adaptativo que resuelve este tipo de oración en la ecología comunicativa (para este concepto véanse Givón, 2005 y 2008) del hablante (§5.2.). Describir la necesidad comunicativa a la que responde una estructura gramatical equivale a definir su función dentro del sistema de la lengua. Una vez reconocida la función adaptativa de la estructura, conviene reconocer los procesos diacrónicos gracias a los que puede gramaticalizarse (§5.3); este esbozo histórico sirve, a su vez, para reconocer las características de las posibles estrategias de relativización en las lenguas del mundo (§5.4). Una vez planteado este panorama, en §5.5. se describirán los rasgos particulares de la ORR del español.

5.2. Forma básica y función comunicativa de las oraciones restrictivas de relativo

Para comunicarnos necesitamos palabras que representen las entidades del mundo y las relaciones espaciotemporales posibles entre ellas; insertas en el discurso, estas palabras forman las categorías universales básicas de Sust y V (Hopper y Thompson, 1984), que surgen de la intersección entre las propiedades semánticas prototípicas de lo que refieren y las características de la función que cumplen en el discurso. El Sust refiere prototípicamente entidades concretas, perceptibles, delimitables y descomponibles que funcionan como detonadores tópicos de la enunciación (Li y Thompson, 1975) de los procesos temporales de transmisión energética (Verbos) en los que participan (Langacker 1987a; Langacker 1987b: §7). El Sust no es, sin embargo, signo suficiente para satisfacer las necesidades referenciales en el discurso. Analicemos el caso del Sust *cerdo*. En un uso genérico en función de S se requiere un Art que surgió históricamente para modificar justamente sustantivos genéricos animados que pudieran interpretarse como sustantivos o adjetivos (Company, 1991): “*El cerdo* es delicioso”. Para ubicar un miembro específico de la clase de los cerdos podrán usarse miembros de otras categorías léxicas como los adjetivos (“*El cerdo azul/mexicano/valiente*”) o las preposiciones como parte de complementos adnominales (“*El cerdo de mi prima*”). El incremento de la complejidad de la FN es proporcional al incremento de la determinación y especificidad de su referencia.

Entre menos información sea compartida por hablante y oyente, más compleja será la interacción lingüística necesaria para comunicarse exitosamente, por lo que la construcción de una FN compleja es muchas veces necesaria. Este principio puede desglosarse en tres funciones básicas que las FsNs complejas pueden cumplir (Givón, 2008):

- (1) Funciones básicas de las frases nominales complejas.
 - a. Presentar y reconocer entidades salientes que cumplirán una función de tópico del discurso (“Esta es *la historia de los tres cerdos azules de mi padre...*”).
 - b. Evocar un referente ya presente en la memoria episódica permanente o en la memoria temporal.
 - c. Restringir el conjunto de los referentes similares que puedan competir en el discurso (memoria temporal) o en la memoria episódica con el referente real del contexto comunicativo: “Juan encontró *un cerdo* junto al camino; como se veía melancólico, lo recogió y lo llevó a que viviera con su cerdo Pancho; desde entonces, *el nuevo cerdo* fue feliz.”

Para lograr estos fines comunicativos puede ser muy útil asociar la entidad referida con un estado definido en el tiempo o un proceso en el que haya participado; una predicación verbal incluida en la FN cumple este propósito. Así, el referente del cerdo de la última oración del ejemplo (5.1c) podría haberse clarificado por medio de una predicación verbal y no un adjetivo léxico (“el *nuevo cerdo*): “el cerdo *que Juan había recogido junto al camino* fue feliz.”. Esta última estrategia de enriquecimiento informacional de la referencia implica el anidamiento (*embedding*) de una predicación dentro de una FN, hecho que se manifiesta formalmente en la aparición de un Vsub como núcleo de la ORR.

En la tradición gramatical española ha prevalecido el término “oración” para referir la relación entre un S (con un Sust como NN) y un predicado (Pred) con un V como núcleo (Lope Blanch, 1979; Moreno de Alba, 1992: §3.1). De hecho, basta con que haya una relación predicativa en la intención comunicativa del enunciado (ya sean dos FsNs o una expresión con un V en forma no personal) para que pueda hablarse de “oración” (Lope Blanch, 1962: 416). Por otro lado, en la *Gramática* de Port Royal (*Grammaire générale et raisonnée*, 1660) se reconoce la existencia de las estructuras relativas determinativas, que distinguen y aíslan un elemento particular dentro del

conjunto de referentes posibles del antecedente, y estructuras relativas explicativas, que expresan una cualidad del antecedente (Touratier, 1980: 34). El concepto de relativización se asocia en la lingüística moderna con la subordinación de una oración a un núcleo nominal (NN). Eludimos el término de “oración subordinada adjetiva”, usado por Tesnière (1959), por ser desconocido en la literatura neurolingüística. El concepto de “restricción”, a diferencia de la “determinación” o la “especificación”, expresa de manera transparente el hecho de que la función de la estructura es distinguir y aislar un elemento perteneciente a un conjunto de referentes posibles inicialmente mayor (ver §5.4). Además, la restricción aportada por estas estructuras post-nominales en español es congruente con la función de los adjetivos post-nominales: configurar una nueva extensión que modifica el referente (Demonte: 1999: 192). En síntesis, el término “oración restrictiva de relativo” transmite la cualidad formal más relevante de la estructura (la predicación verbal dependiente de un NN) y su función comunicativa (restricción de la extensión del referente con alguno de los fines descritos en (1)).

El valor informativo de la ORR dentro de la FN es el de una presuposición (información que, en ese momento del discurso, el hablante y el oyente consideran verdadera). El NN funciona como foco (parte no presupuesta de la oración que contiene la finalidad comunicativa de la estructura) de la ORR. La estrecha relación histórica y funcional entre pronombres interrogativos y relativos (§5.3 y §5.4) puede estar basada en el hecho de que el pronombre interrogativo se relaciona directamente con el foco de la pregunta (Zubizarreta, 1999: 4225). De acuerdo con esta relación informacional, puede definirse una ORR a partir del hecho pragmático de que la oración no constituye una aserción en el enunciado; es decir, que no es aquello que el oyente debe aceptar como verdadero a partir del mensaje. Aunque Cristofaro (2005: 30) atribuye esta característica a cualquier oración subordinada, sólo se aplica a aquellas que se anidan dentro de una FN y no que la constituyen por sí mismas (como las oraciones completivas, que pueden funcionar como la aserción del enunciado).

Cuando se desea introducir un tema o tópico discursivo como foco de una oración presupuesta, sin afirmar nada más con respecto al tópico, en muchas ocasiones se utiliza una construcción especializada en la focalización como: “Fue Juan el que decapitó al cerdito.”. Schachter (1973) con base en un estudio comparativo de cuatro lenguas sin parentesco (el inglés, el akan (lengua de Ghana), el hausa (lengua afro-asiática de Nigeria) y el llongo (lengua malayo-polinesia de las Filipinas)), ha mostrado que existen notables semejanzas estructurales entre la construcción de

focalización y la ORR. La propiedad semántica común a ambas estructuras es la enfatización (o perfilamiento, en términos de Langacker, 1987a) del NN, y la subordinación comunicativa (reflejada en la subordinación gramatical) de la oración de relativo (Schachter, 1973: 44; Cristofaro, 2005: 33).

5.3. Gramaticalización de las oraciones restrictivas de relativo

Para comprender la causa de que la función comunicativa de las OsRsR sea codificada en las lenguas mediante ciertas estrategias (regularidades estructurales especializadas en la relativización) y no otras, conviene indagar sobre los orígenes diacrónicos de las OsRsR. La exposición de este apartado se basa en el supuesto fundamentado de que las categorías léxicas básicas que surgen en la comunicación humana (tanto en el pasado remoto como en la formación moderna de pidgins, lenguas de señas, y códigos privados) son los Susts y Vs (Hopper y Thompson, 1984), y las demás categorías léxicas y funciones gramaticales se han construido históricamente a partir de ellos por medio de la gramaticalización (Heine y Kuteva, 2007).

La gramaticalización es un proceso diacrónico basado en la acumulación generacional de la habituación (reducción de la intensidad de activación relacionada con el estímulo) a redes de palabra activadas frecuentemente. La red de palabra se automatiza (gracias a mecanismos de relación entre la corteza, el cerebelo y los ganglios basales, Argyropoulos, 2008) al disminuir el número de neuronas participantes en ella; esto produce una circunscripción de la red a las regiones más próximas a su núcleos de activación (en la corteza auditiva y el área de Broca), lo cual causa una pérdida de referencialidad semántica y una conservación de su significado más abstracto (desemantización), que permite una extensión contextual de los usos posibles. La extensión incrementa a su vez la frecuencia de uso, y produce descategorialización (pérdida de valores morfosintácticos) y erosión (pérdida de sustancia fónica) (Heine y Kuteva, 2007: §1.2). La gramaticalización permite poner redes de palabras al servicio de las relaciones discursivas codificadas por la gramática. (Company, 2003: §2.1.) Con base en los procesos descritos arriba, las redes de palabra pueden convertirse en redes de morfema o en redes de palabra con nuevas funciones gramaticales.

El origen de la ORR latina está en la gramaticalización de una construcción correlativa (fuente frecuente de las OsRsR de pronombre relativo, Comrie, 2004: 180) construida con base en el pronombre interrogativo-indefinido $q^w o$ y $q^w i$ del indoeuropeo. En (2a) puede observarse una

típica construcción correlativa latina, en la que *quos* tiene valor indefinido correlacionado con el demostrativo *eos*. El deseo de focalizar la segunda oración de la correlación pudo motivar la inversión del orden (2b), lo que produjo que el indefinido adquiriera propiedades anafóricas (referencia dependiente de un consittuyente anterior) antes poseídas solamente por el demostrativo. Para vincular con más certeza el antecedente *eos* con el anafórico *quos*, se pudo colocar ambos inmediatamente (2c), y formar la construcción a partir de la cual sólo falta prescindir del demostrativo para tener una relativa de valor sustantivo (tipo más antiguo en latín), o sustituir el demostrativo por cualquier otro NN para tener una ORR (2d). Es un hecho común en las lenguas del mundo que los pronombres interrogativos-indefinidos se usen como relativos (Bhat, 2004: 189).

(2) Evolución de la ORR latina. (Elvira, 2009: §13.1.)

a. **Quos** ferro trucidari oportebat, **eos** nondum voce vulnero

“a algunos habría hecho falta masacrar con el fuego, a esos mismos no lesiono con la palabra”

b. **Eos** nondum voce vulnero, **quos** ferro trucidari oportebat

c. Nondum voce vulnero **eos, quos** ferro trucidari oportebat

d. Nondum voce vulnero **pueros quos** ferro trucidari oportebat

“no lesiono con la palabra a los niños a los que habría hecho falta masacrar con el fuego”

La gramaticalización de la ORR del español a partir de una ORR del tipo (2d) sólo implica la descategorialización del Rel *qui* (pérdida de caso morfológico) y la extensión de los relativizadores (Rels) precedidos por preposición (del tipo *el que*) desde sus usos en OsRsR oblicuas hasta ORR argumentales (Girón Alconchel, 2009: §14.1). El uso de estas estructuras está sólidamente atestiguado en la historia del español: en el corpus de Bogard (2009: §2.4.3.1), las OsRsR prevalecen como el expansor único de FN más usado entre los siglos XIII y XVI (c. 30%), proporción que disminuye en los siglos siguientes a favor de la frase adjetiva.

Los pidgins son lenguajes derivados de alguna lengua natural con una complejidad drásticamente reducida; surgen por la necesidad comunicativa de grupos de hablantes de lenguas diversas que comienzan a convivir de manera abrupta. Aunque su semejanza con estadios primitivos del lenguaje en la evolución humana es controversial (Calvin y Bickerton, 2000), la aparición moderna de pidgins es útil para observar el surgimiento de las OsRsR. Usaremos el pidgin del swahili que surgió en el norte de Kenia (PSK) entre hablantes de lenguas bantúes, nilóticas y cushíticas (Heine y Kuteva, 2007: 169). La construcción relativa del swahili central,

basada en el relativizador *-o-*, desapareció con el surgimiento del PSK. Para enriquecer el sentido de un NN, el hablante del PSK podía recurrir (en las décadas de 1960 y 1970, cuando los datos fueron reunidos) a la yuxtaposición de la oración principal y la ORR, en la que el NN es representado por un demostrativo pleno *ile* (3a). A partir de ese uso primero, la construcción puede extenderse a un contexto donde el demostrativo ya no puede tener un valor pleno, ya que el antecedente (ahora NN) lo precede inmediatamente y carece de cualidades referenciales suficientes para que se establezca una relación de correferencia y no una de enriquecimiento semántico (3b). Por último, en (3c) puede observarse el contraste entre los usos demostrativo y relativo de *ile*, que colindan con el mismo NN y que cumplen funciones distintas. Además, se observa que la oración de relativo (ya sea interpretada como restrictiva o explicativa) puede anidarse dentro de la oración principal (OP).

(3) Evolución de la ORR en el Pidgin Swahili de Kenia. (Heine y Kuteva, 2007: 180-182)

- a. Wewe na- weza ona Fort Jesus;
 Tú no-futuro poder ver Fuerte Jesús;
ile na- jeng- wa na watu ya Portugal.
DEM no-fut. construir pasiva por gente de Portugal.
 “Tú puedes ver el Fuerte Jesús; **ese** fue construido por los portugueses.”
- b. Lete biya **ile** mimi na- nunua.
 Traer cerveza **REL** yo no-fut comprar.
 “Trae la cerveza **que** compré.”
- c. **Ile** mutu **ile** iko watoto tatu kwisha fung- wa.
DEM persona **REL** tener niños tres Perfecto encerrar- pasiva.
 “**Esa** persona [,] **que** tiene tres niños [,] ha sido encarcelada.”

El PKS ejemplifica el origen más común de los marcadores de oraciones de relativo: la gramaticalización de pronombres demostrativos (Heine y Kuteva, 2002).

5.4. Panorama tipológico de las estrategias de relativización

La clasificación tipológica de las OsRsR puede basarse en tres criterios principales: i) la colocación del NN con respecto a la ORR (dentro o fuera; antes o después); ii) la calidad finita o no-finita (nominalizada) del Vsub; y iii) la representación del NN dentro de la ORR.

El NN puede quedar dentro de la ORR cuando esta se incrusta en la OP como si fuera una oración simple:

- (4) Diegueño (lengua yuman de la frontera entre California y México) (Comrie, 2004: 176)
 [tənay ?wa: ?wu:w]-pu- L^y ?ciyawx
 ayer casa yo.vi-DEF-LOC yo. cantaré
 “yo cantaré en la casa que vi ayer”

La única forma en que se conoce la doble función gramatical del NN “casa” es por la doble marcación morfológica de la ORR como definida (“pu”) y como complemento locativo (“L^y”). En lakhotá (lengua sioux de Norteamérica), el NN dentro de la ORR debe ser codificado como indefinido, y sólo se codifica como definido en la combinación de Art + demostrativo que marca el final de la ORR:

- (5) Lakhotá (Van Valin y LaPolla, 1997: 499)
 Wichása ki [[súka ki igmú wa ə-ə-yaxtáke] ki he]
 hombre ART DET perro ART D. gato 3sgP-3sgA-morder ART D. DEM
 wa- ə- ə- yáke yelo.
 3sgP-3sgA-ver DECLARATIVO
 “El hombre vio al gato al que el perro mordió.”

Esta ORR con NN interior contiene una restricción gramatical que formaliza una característica muy importante de cualquier ORR: el NN permanece indefinido hasta que la ORR no ha sido procesada, independientemente del orden de aparición en la cadena. Otras lenguas de este tipo son el belhare (lengua tibetano-birmana de Nepal), el tibetano y el quechua (Van Valin y LaPolla, 1997: 499).

Cuando el NN se coloca fuera de la ORR, esta puede ser pre-nominal o post-nominal. En las lenguas en las que predomina el orden modificado-modificador (preposición-sustantivo, sustantivo-genitivo, sustantivo-adjetivo, etc.) las oraciones de relativo presentan una tendencia aún más fuerte que la del Adj para posponerse al NN (Greenberg, 1966: 100). El “Universal 24” de Greenberg (1966) establece que si una lengua posee OsRsR pre-nominales entonces tiene posposiciones, Adjs antepuestos o ambos. Hay una tendencia tipológica fuerte a que las OsRsR pre-nominales se construyan con verbos no-finitos nominalizados (Hawkins, 1999: 275). Puesto que, en general, la posición inicial es la enfática (Greenberg, 1966: 103) y las OsRsR pre-nominales suelen ocupar esa posición, la nominalización del verbo puede ser un rasgo de debilitamiento categorial necesario para lograr la relación subordinada de la predicación al NN.

En turco (6a) puede observarse que la ORR precede a su NN y que el V es una forma no conjugada, marcada con el sufijo de nominalización *-dig*. En euskera, de ORR pre-nominal, el

Vsub es finito, aunque recibe un sufijo que indica subordinación relativa (6b). Este elemento subordinante, denominado generalmente “marcador verbal”, es típico de la estrategia de relativización que implica el uso de verbos no-finitos y cuya función es equivalente al Rel (Comrie, 2004: 193).

(6) a. Turco (Comrie, 1989: 204-205)

[Hasan-in Sinan-a ver **-dig-i**] *patates-i* yedim.
 Hasan de [sic.] Sinan a dar- **esto [NOM]** *patata-AC* yo-comí.
 “Yo me comí la patata que Hasan dio a Sinan.”

b. Euskera

[emakumea-ri liburua eman dio-**n**] *gizona*
 mujer-DAT libro-ABS dar ha-REL hombre
 “el hombre que ha dado el libro a la mujer”.

En los ejemplos (4) y (5) se ha atestiguado la representación nominal plena del NN dentro de la ORR. Cuando el NN está fuera de la ORR, la función de aquel dentro de esta puede formalizarse según varias estrategias que se organizan según una escala de nominalidad.

En el lugar más bajo de la escala de nominalidad se encuentra la estrategia de vacío, que consiste en la ausencia de representación formal del NN en la ORR. En (7) puede observarse esta estrategia, en la que, sin embargo, existe un relativizador cuya forma es invariable (el malgache sólo permite relativización del S).

(7) Malgache (lengua indonesia occidental de Madagascar) (Comrie, 2004: 188)

ny vary [**izay** novidin` ny vehivany]
 ART arroz **REL** comprar.PAS ART mujer
 “el arroz que fue comprado por la mujer”

Como puede verse en (7), la restricción de relativización del malgache no atañe al rol semántico del NN, pues se puede relativizar un paciente (como en 7), un agente, un experimentante o un beneficiario. La jerarquía universal de accesibilidad de las funciones gramaticales propuesta por Keenan y Comrie, 1977 establece que si un NN puede cumplir dentro de una ORR una función dada, necesariamente puede cumplir las funciones que se encuentran a su izquierda en la jerarquía: Sujeto > Objeto directo > Objeto Indirecto > Oblicuos > Genitivo > Objeto de comparación. Fox (1987) propone una jerarquía alternativa: las posiciones más accesibles a la relativización son el O y el S intransitivo porque el NN como paciente funciona mejor que como

agente, debido a que este suele estar presupuesto en el discurso, y el NN funciona mejor como S intransitivo debido a que muchas OsRsR consisten en descripciones de estados (codificados con Vs intransitivos). Esta explicación (hipótesis absoluta) da cuenta de lenguas como el dyirbal (lengua australiana del noroeste de Queensland) que sólo puede relativizar el S intransitivo y el O, y el maya, en la que el NN no puede ser agente (ergativo) de una ORR. (Fox, 1987: 865). El hecho de que, en un lenguaje de gramática simple como el PKS, o en textos que reflejan el habla coloquial, no haya restricciones de este tipo, sugiere que las jerarquías de acceso funcional a las OsRsR son producto de restricciones establecidas diacrónicamente por la frecuencia de uso y no por una limitación intrínseca de procesamiento.

El siguiente grado de nominalidad de la representación del NN en la ORR es el ocupado por el pronombre relativo, en cuya forma coincide la función relativizadora y la anafórica (mostrada en los rasgos nominales concordantes del pronombre relativo y del NN) (2d). Los pronombres relativos parecen estar circunscritos tipológicamente a las lenguas localizadas en Europa o en contacto con ellas (Comrie, 2004). Para la exposición de esta estrategia basta el pronombre relativo del español (§5.5b).

Cuando las funciones relativizadora y anafórica cumplidas por el pronombre relativo se encuentran disociadas, nos encontramos frente a la estrategia de retención del pronombre (8). En ella existe un relativizador especializado al comienzo de la ORR y el NN dentro de ella se presenta como un pronombre átono que indica su función gramatical dentro de la ORR. El hecho de que esta estrategia se observe en el registro coloquial del checo y en textos del latín y lenguas romances cuya estrategia culta es la de pronombre relativo (ejemplos en Lope Blanch, 1986: 133-134; para el español véase el ejemplo en §5.5), sugiere que existe una dificultad intrínseca en el procesamiento de los pronombres relativos.

(8) Checo coloquial (Comrie, 2004: 184)

muž	co	ho	to	děvče	uhodilo
hombre	REL	PRO. AC	DEM	chica	golpeó
“el hombre al que esa chica golpeó”					

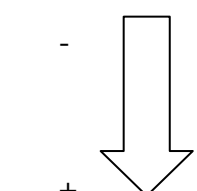
La estrategia de representación del NN dentro de la ORR con mayor grado de nominalidad es la estrategia del correlativo, en la que existen elementos correferenciales en la ORR y en la OP (9); En esta construcción pueden existir, como se ve en (9), palabras especializadas en la relativización (“jis” y “us”), que marcan diferencialmente al NN en la ORR y en la OP.

(9) Hindi (Comrie, 1989: 210)

Admi ne jis caku se murgi ko mara tha,
 hombre ERG REL cuchillo Prep. Instr. pollo AC mató
 us caku ko Ram ne dekha.
 REL cuchillo AC Ram ERG vio.
 “Ram vio el cuchillo con el que el hombre mató al pollo.”

La existencia consistente en lenguas con diversas estrategias de relativización de una palabra especializada en la introducción de OsRsR (**REL** en 3, 6, 7, 8, y 9), sin rasgos formales que le den un valor anafórico, demuestra la conveniencia procesal de un mediador básico entre NN y ORR; este hecho será importante al proponer los rasgos básicos de la gramática neuronal de las OsRsR (§6.3). En la tabla 5.1 se resume la información sobre las estrategias de relativización relacionadas con la escala de nominalidad en las que hay un relativizador.

Tabla 5.1. Estrategias de relativización con el NN fuera de la ORR.

Estrategia de relativización	Ejemplos de lenguas	Relativizador	Nominalidad del NN dentro de la ORR
Vacío	euskera, malgache, PSK	-n, izay, ile	
Pronombre relativo	latín, español, inglés	qui, que, who	
Retención del pronombre	registro coloquial del checo, latín, español	co, qui, que	
Correlativo	hindi	jis, us	

Por último, parecen existir lenguas sin una estructura gramatical específica que codifique las OsRsR. La oración ejemplificada en (10) permite una interpretación tanto relativa como adverbial (circunstancial de tiempo). Su clasificación informativa, aunque no gramatical, dependerá del propósito comunicativo (1) de la oración sin NN, imposible de conocer con base en ejemplos de gramáticas descriptivas.

(10) Walbiri (lengua de Australia central) (Cristofaro, 2005: ej. 2.15)

natjulu-lu ø-na yankiri pantu-un, [kutja-lpa napa na-un]
 PRO.1sg-ERG AUX emú alancear-Pr COMP-AUX agua beber-Pr
 “Yo alancé el emú que/mientras bebía agua.”

5.5. Descripción gramatical de la oración restrictiva de relativo en español

Con fines expositivos, se asumirá que la estructura que identifica las OsRsR puede ser descubierta con base en el análisis de las dos formas más usadas y estudiadas de la construcción:

la ORR en la que el NN funciona como S dentro de la relativa, introducida por *que* (ORRS), y la ORR en la que el NN es el O del Vsub, introducida por *al / a la que* (ORRO).

La ORR, como los adjetivos restrictivos léxicos, se pospone al núcleo nominal en español. De acuerdo con la tendencia general de las lenguas de tipo VO, en español los complementos complejos (o “pesados”) se posponen a los núcleos simples (o “ligeros”) (Demonte, 1999: §3.5.2.2), debido a una presión pragmática derivada de la necesidad de reducir el tiempo de reconocimiento del tipo de constituyente del que se trata (Newmeyer, 2003: 684). Este orden basado en la complejidad explica la característica sintáctica de que las OsRsR ocupen la última posición dentro de la FN, pues son el modificador nominal más complejo que existe.

Aclarado ese rasgo sintáctico de la ORR dentro de la FN, conviene describir de manera independiente los rasgos de cada constituyente relevante para la estructura investigada:

a) El núcleo nominal.- La frase nominal, para adquirir su extensión definitiva y actualizarse en el acto comunicativo, debe satisfacer ciertos requisitos formales relacionados con sus características semánticas; si, por ejemplo, un SustC está acompañado por un Art, su referente deberá ser definido, es decir, contar con los rasgos necesarios para ser accesible al oyente y cumplir el requisito de unicidad: “el hablante supone que su interlocutor será capaz de identificar unívocamente el referente aludido con la información que tiene a su disposición” (Leonetti, 1999: 795). Cuando estas condiciones no son cumplidas por el NN, es preciso añadir rasgos intencionales por medio de expansiones post-nominales (Brucart, 1999: 409). Los NsNs inadecuados a las OsRsR son aquellos que poseen un grado de definición intrínseca resistente a la expansión: los nombres propios (extremos de la definición y especificidad), los pronombres de primera y segunda personas (ricos semánticamente por cumplir el papel prominente de interlocutores en el discurso), entidades próximas al hablante con enorme relevancia discursiva (“*Mi mamá* [*a la que saludaste]”) y frases con NsNs que ya han sido suficientemente restringidos (“El cuartel de los diabólicos vegetarianos en Creta [¿ que los comunistas destruyeron].”). La separación prosódica entre el NN y la oración de relativo hace aceptables los ejemplos agramaticales que hemos dado, aunque los convierte en aposiciones, conocidas como oraciones no restrictivas o explicativas. El último ejemplo se encuentra en la frontera semántica entre los NsNs semánticamente plenos y aquellos susceptibles de ser enriquecidos.

b) El pronombre relativo.- El antecedente latino de esta palabra funcional es el pronombre relativo *qui, quae, quod*, que concordaba en caso, número y género con el núcleo nominal al que modificaba. La evolución del latín al español produjo la confluencia formal entre el relativo *qui...* y el interrogativo *quid*. En relación con otras clases léxicas, la flexión de caso del pronombre relativo se conservó durante más tiempo en la lengua y dejó rastros fónicos en algunas lenguas románicas (p. ej.: *quem* > quien) (Elvira, 2009: 1416). *Que* es, por su frecuencia de uso y flexibilidad funcional, el Rel básico del español. Su coincidencia formal con el pronombre interrogativo y el introductor de oraciones completivas, comparativas, consecutivas y causales, no debe considerarse un hecho de confluencia histórica accidental sin repercusiones funcionales; al contrario, la misma forma es indicadora de una función básica compartida: el establecimiento de un vínculo semántico estrecho entre el elemento que antecede al Rel *que* y el predicado que lo sigue. Los distintos contextos oracionales del *que* poseen una secuencia regular común a todos: *que* siempre es una forma introductora de un V. La excepción a esta relación son las oraciones comparativas; puede explicarse debido a la presencia de un adverbio que constituye una construcción fija con el *que* y por la identidad del proceso (*comer*) en ambas oraciones:

(11) Juan comió *más* langostas *que* Luis.

Frente a la tradición estructuralista de establecer distintos *que* según la categoría a la que trasponen la oración subordinada (Hernando Cuadrado, 1995: 110), Lavandera (1971) defiende la identidad del *que*-conjunción y del *que*-pronombre relativo; argumenta que existe sólo un significado de *que* con diferentes usos y que puede glosarse como “La proposición siguiente está necesariamente incluida en otra proposición” (Lavandera, 1971: 23). Otra aproximación a la unicidad funcional de *que* lo considera un elemento que transforma una proposición en un término: “la función de *que* se limita a modificar la función semántica del segmento al que acompaña; pero no determina su utilización en ninguna posición sintáctica” (Osuna García, 2005: 167). Estos planteamientos ignoran la centralidad de la relación secuencial entre *que* y el V.

La pronominalidad del Rel se debe a su capacidad anafórica (establece una relación de correferencia con un nombre presentado en el discurso previo (Eguren 1999: 936)), la posibilidad de ser precedido por preposiciones y artículos (*al que, sobre el que, etc.*), y a su análisis como participante de la ORR: “En la oración *La señora que te presenté ayer ha venido a visitarnos*, el

pronombre *que*, introductor de un complemento del sujeto, es a su vez complemento directo de su verbo propio (*presenté*)” (Gili Gaya, 1943/2003:§229). Sin embargo, es frecuente que, de acuerdo con el análisis de la forma del inglés *that* como subordinador no pronominal frente a los pronombres relativos del tipo *who*, en los análisis generativistas de la gramática española se niegue el estatus de pronombre relativo a *que* y se le considere complementador, frente a las formas *al que*, *quien*, etc., analizadas como pronombres (Rivero, 1991). Trujillo (1990) analiza *que* como determinante relativo, una partícula que acota, no sustituye o representa, un antecedente; de esa forma, refuta el análisis de la ORR donde el NN está representado por un pronombre tónico o átono (12) como casos de despronominalización de los relativos (Lope Blanch, 1986) o de refuerzo pronominal (Elvira, 2009: 1452).

(12) El señor *que* Juan *lo* golpeó tiene un sombrero.

En un análisis tipológico, Bhat (2004) propone que el término “pronombre” sólo es adecuado para los pronombres personales de primera y segunda persona, mientras que llama “proformas” a las demás expresiones formadas por dos elementos: un concepto general (persona, objeto, propiedad, instrumento, etc.) y una función (demostrativa, interrogativa, relativa, indefinida) que puede describirse como:

- (13) Funciones universales de los pronombres (Bhat, 2004: 273).
- a. Localizar una entidad.
 - b. Denotar la falta de conocimiento sobre una entidad.
 - c. Obtener información sobre una entidad.
 - d. Identificar una entidad con otra denotada por otra expresión.
 - e. Relacionar una entidad mencionada en el discurso con otra semejante.

Los pronombres relativos poseen las cualidades de las proformas de Bhat (2004), y se les continúa llamando pronombres relativos para evitar la proliferación terminológica. Las diversas opiniones tradicionales sobre la correcta categorización de los pronombres y sobre el valor de su contenido semántico (Alonso y Henríquez Ureña, 1969: 217-225), no recibirán más discusión en este trabajo. Basta con reconocer que los pronombres relativos (Rels) se relacionan formalmente (por medio de concordancias gramaticales que manifiestan una anáfora débil) con sus NsNs y los representan funcionalmente en las OsRsR. Para conocer el modo en que esto es neuronalmente posible léase §6.

c) Codificación de los participantes de la ORR.- Una ORR en español requiere forzosamente un pronombre relativo y un verbo conjugado (verbo subordinado). La formalización de los argumentos y complementos del Vsub que no coinciden con el NN de la construcción es necesaria: como sujeto implícito en la concordancia morfológica del verbo (14a), como clítico (14b), o como frase nominal (14c):

- (14) a. El hombre al que abracé tiene lentes.
- b. La señora que *la* abrazó es su madre.
- c. El policía que atrapó *al ladrón* tiene paraguas.

El NN de la ORR no puede expresarse de forma plena en ella (15a), aunque puede hacerlo por medio de un clítico (estrategia atestiguada en latín y en español de todas las épocas, Lope Blanch, 1986) (12). Cuando la función gramatical del NN en la OP y en la ORR es la misma, suele no marcarse gramaticalmente en esta (15b, c); cuando existe una diferencia se manifiesta por medio de un clítico o un Rel complejo que codifica la función del NN en la ORR (15d).

- (15) a. **El señor* que el niño inyectó *al señor* está en la escalera.
- b. El señor que inyectó al niño está en la escalera.
- c. Comí con el señor [~~con el que~~] que jugaste golf.
- d. La niña *a la que* la abuela abrazó está en el carro.

d) Prosodia.- La prosodia incluye los componentes sonoros suprasegmentales del lenguaje. Contribuye a determinar desde la identidad léxica de las palabras hasta el sentido irónico de un mensaje que, gracias a sus cualidades prosódicas, puede significar lo opuesto al sentido convencional de las palabras que lo conforman (Hirst, 2004: §1). Como se explicó en §3.1.3, existen fenómenos de prosodia lingüística como la variación de tonalidad (indicadora, p. ej., del modo interrogativo o declarativo de enunciación), el énfasis acentual y la velocidad de transición entre palabras que genera las pausas significativas.

Las variaciones tonales regulares son las que marcan el final de las frases prosódicas (Pereira, 2007: 142). Las OsRsR forman con sus NsNs unidades en las que la marcación tonal de final de frase se da en la ORR (Brucart, 1999: 409). Los sujetos como grupos entonativos independientes se dan principalmente cuando hay expansión y cuando se desea enfatizar el carácter topical de la frase (Cruttenden, 1997: 70). La pausa entre la FN que incluye la ORR y el resto de la OP es siempre mayor que las demás pausas dentro de la oración compleja. Por último, el acento nuclear

(acento asociado con la palabra más prominente dentro del constituyente prosódico, Zubizarreta, 1999: § 64.3.2) de la construcción recae en el NN, porque este es el foco de la FN, lo cual no significa que sea necesariamente el foco de la oración compleja.

La prosodia es determinante en la interpretación de las OsRsR en los casos en los que hay ambigüedad sintáctica. Pereira (2007) presenta el resultado de la correlación entre rasgos prosódicos e interpretación en oraciones como (16), en las que la atribución de la ORR al NN o al complemento adnominal de la FN de O es influida por las cualidades prosódicas del grupo: la ORR se atribuye al NN cuando no hay pausas considerables entre este, el complemento y la ORR y el tono de frontera (indicador de final del grupo melódico) se expresa al final de la ORR. La ORR se atribuye al complemento adnominal cuando hay una pausa notable entre el NN y su complemento, indicadora de que hay mayor integración entre el complemento y la ORR.

(16) El periodista entrevistó al hijo del presidente que estaba en la cárcel.
(Pereira, 2007: ej. 1)

En chino, lengua pobre en palabras gramaticales, una oración subordinada puede diferenciarse formalmente de una oración simple solamente por la entonación (Heine y Kuteva, 2007: 259). Los rasgos prosódicos descritos se relacionan específicamente con la construcción analizada y pueden ser útiles para su correcta interpretación.

6. Procesamiento neuronal receptivo de las oraciones restrictivas de relativo en español

6.1. Introducción

En este capítulo la gramática neuronal descrita en §4 es usada como modelo del procesamiento de entrada de las OsRsR de S y O. Los detectores de secuencia asociados con la entrada del pronombre relativo se basan en: 1) la información gramatical que puede construirse a partir de la experiencia lingüística durante la adquisición (su función informativa como enriquecedor semántico del NN) (§6.2); y 2) el hecho secuencial de que la palabra *que* introduce un verbo en la diversas oraciones subordinadas en las que funciona (§5.5b). La jerarquía de activación dentro de la frase nominal que incluye a la ORR se basa en los requisitos de activación establecidos por el determinante del NN (la necesidad de enriquecer el referente del NN para que satisfaga las cualidades referenciales determinadas por el interlocutor (grado de definición)). En §6.3 y en §6.4 se proponen los circuitos de activación para la ORRS y la ORRO, respectivamente.

6.2. Adquisición y uso de la lengua como base de la gramática neuronal

La experiencia personal del funcionamiento de la gramática neuronal (basada en el fenómeno de preparación categorizadora que acelera la interpretación adecuada de las entradas y reduce la actividad neuronal en el procesamiento) se da en la expectativa generada por la percepción de una palabra o cadena de palabras que, sentimos, debe ser seguida por otra(s). Gili Gaya reconoce subjetivamente este fenómeno al discurrir sobre la relevancia del verbo para lograr la interpretación sintáctica adecuada: “Todo el mundo ha tenido ocasión de observar [...] que el lector y el oyente comparten un sentimiento de espera, que hace acelerar el *tempo* de la lectura” (Gili Gaya, 1943/2003: §75). Este “sentimiento de espera” es la capacidad de predecir los elementos de una secuencia y contribuye, como se señaló ya en §2.1.3 y en §4.1.1, a la adaptación del organismo (comprensión veloz y adecuada de los mensajes) y al ahorro energético (§2.2).

El conocimiento gramatical derivado del procesamiento predictivo de las secuencias es construido durante la adquisición del lenguaje con base en la experiencia lingüística. En un estudio de 35 niños españoles de alrededor de 2;6 años de edad, Aguado (1995) reconoció que la palabra *que* era usada como único pronombre relativo por 16 de los niños participantes en sólo 27

ocasiones (fueron analizados alrededor de 200 enunciados por niño). Además, su contexto de uso dependía de la estructura compleja de la oración construida en el diálogo con la madre (Aguado, 1995: 200): «-Niña: “Un arañazo”. -Madre: “¿Un arañazo?” -Niña: “Que se ha hecho”. ». Este ejemplo de interacción real representa claramente el contexto comunicativo en el que una ORR surge debido a la necesidad del oyente de una caracterización que vuelva accesible al NN. La niña enuncia una frase nominal que le parece suficiente para ser comunicativa, pero la madre, con su pregunta, le exige un enriquecimiento informacional para poder compartir el referente. De ese modo, la niña anexa a la frase nominal repetida por la madre una ORR básica: el Rel *que* + un verbo conjugado. Conforme la teoría de la mente del niño se desarrolla (Tomasello, 2003), este puede controlar mejor sus estrategias discursivas en función del estado de conocimiento del interlocutor. La ORR, como se describió en §5.2, es una estructura que se produce cuando el hablante es consciente de que usa un referente inaccesible por el contexto o la determinación básica, pero que el oyente podrá aceptar si se enriquece con una predicación subordinada. Por este motivo, López García (1999) plantea que la hipotaxis surge en el diálogo, cuando cada intervención está orientada por el interlocutor. La adquisición de la ORR implica una interiorización de los estados mentales del interlocutor: se adapta a ellos (reduce el esfuerzo comunicativo implicado en aclaraciones como las del diálogo entre la madre y la niña) e incorpora a un solo enunciado dos turnos de la estructura dialógica (López García, 1999: §54.5).

La edad a la que las OsRsR comienzan a ser productivas en el habla infantil es 3 años. El contexto más frecuente consiste de estructuras de una sola proposición introducidas por “Es el” + NN+ ORR, o “Ahí está la”+ NN +ORR (Aguado, 1995; López García, 1999: 3520). Sin embargo, el rasgo secuencial básico de *que* propuesto en §5.5b no proviene sólo de su uso relativo; los niños usan *que* desde una edad más temprana para introducir oraciones completivas (“dicen *que* abre la puerta”), causales (“espera *que* hay... *que* está el papá aquí”) y finales (“espera *que* lo ponga”) (Aguado, 1995: 217). Esta flexibilidad funcional sugiere que su adquisición temprana se basa en su valor introductor de oraciones subordinadas, es decir, como antecedente de verbos finitos (Diessel y Tomasello, 2000).

La frecuencia de sucesión entre palabras de distintas categorías es procesada por la corteza inferior frontal izquierda (§3) para facilitar el procesamiento secuencial de estímulos. La importancia de la capacidad predictiva resultante ha sido reconocida por algunos estudios estadísticos de lingüística y se refleja en pruebas psicolingüísticas de dificultad de procesamiento

de cadenas gramaticalmente correctas pero improbables (Fisher, 2002: 265). Michael Hoey (2005) basa su teoría del lenguaje en la “preparación léxica” (*lexical priming*) que ocurre entre palabras. Para él, la gramática es el conocimiento acumulado de las palabras o clases de palabras con las que una entrada léxica concurre frecuentemente, y la categoría gramatical es una etiqueta para la combinación de las “preparaciones” (*primings*) más características que una palabra comparte con otras. El hecho de que los hablantes comprendan una oración ambigua de acuerdo con su interpretación más probable (Tucker, 2007), confirma la relevancia del uso en la gramática, pero el enfoque radicalmente basado en la experiencia lingüística (opuesto al generativismo) no explica el modo en que se da la generalización estructural. El planteamiento de Hoey (2005) coincide con el de este trabajo al señalar la regularidad de coocurrencias léxicas como información relevante para la gramática, pero usa el concepto de “preparación” como fenómeno de conducta y no de función cerebral. Los datos provenientes de este tipo de estudios sirven sólo como punto de partida para la construcción de una explicación biológica del lenguaje.

De lo anterior se concluye que la ORR se origina como una oración destinada a reparar el fracaso del oyente al reconocer el referente de un NN. Además, desde sus primeros usos, *que* se fija en secuencias que contienen un verbo conjugado. Esta información sería suficiente para describir la gramática del Rel en algunos modelos de lingüística probabilística. Sin embargo, partimos de este hecho de uso para afirmar que en la relación de preparación entre *que* y el verbo que precede se da la recategorización del Vsub, manifiesta en una activación menor y más veloz de su red de palabra, lo cual se traduce en la interpretación de un verbo sin el valor comunicativo de una aserción.

6.3. Circuito de gramática neuronal de la oración restrictiva de relativo de sujeto

De acuerdo con los rasgos semánticos establecidos para el NN de una ORR en §5.5a, podemos usar como ejemplo para modelar el circuito prototípico de una ORR una frase nominal que: 1) inicie la percepción de un enunciado; 2) el NN aparezca determinado por un artículo definido; y 3) requiera una expansión para cumplir el requisito de riqueza semántica que haga al referente accesible para el oyente:

- (1) El payaso que inyectó al señor tiene lentes.

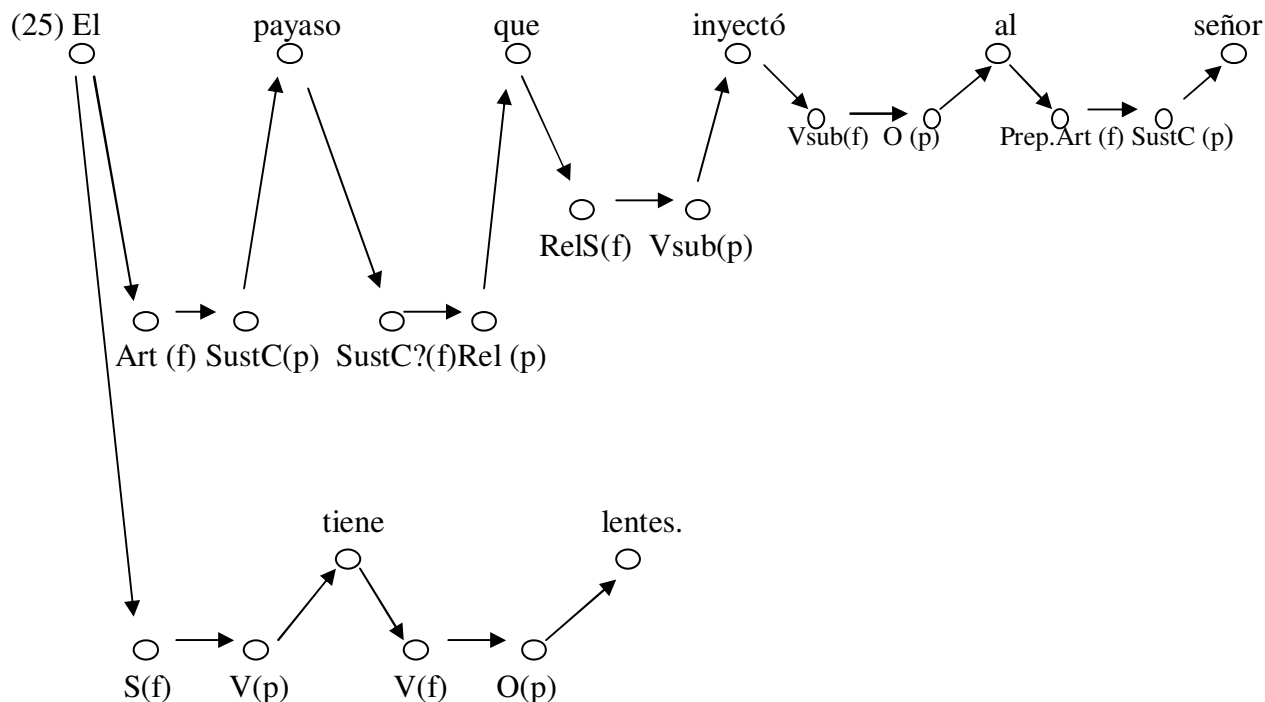
- (2) “El” ↔ Art
- (3) “payaso” ↔ SustC
- (4) “que” ↔ Rel
- (5) “inyectó” ↔ V
- (6) “al” ↔ prep-art
- (7) “señor” ↔ SustC
- (8) “tiene” ↔ V
- (9) “lentes” ↔ SustC

- (10) Art (/*/ f1, f2 [S])
- (11) SustC[?] (p /*/f)
- (12) RelS (p /*/ f)
- (13) Vsub (p /*/ f)
- (14) S (/ * / f)
- (15) V (p /*/ f)
- (16) O (p /*/)
- (17) Prep.art. (/*/f)

- (18) Art (f) → SustC (p)
- (19) SustC? (f) → Rel (p)
- (20) RelS (f) → Vsub (p)
- (21) Vsub (f) → O (p)
- (22) Prep.Art (f) → SustC (p)
- (23) S (f) → V (p)
- (24) V (f) → O(p).

En (2-9) se presentan las fórmulas de asignación de las palabras a sus categorías léxicas. Esas categorías tienen propiedades contextuales específicas expresadas entre (10) y (17). Un SustC se marca como temporalmente indefinido (“?”) porque está precedido por un Art pero no es accesible al oyente en ese momento, lo que determina el hecho de que la fórmula de valencia de SustC incluya un detector de secuencia futuro para alguna expansión. La posibilidad de que se prepare una expansión de formas diversas (adjetivo léxico, complemento adnominal u ORR) depende de que todas ellas compartan un núcleo neuronal que reconozca la función de enriquecimiento semántico del sustantivo. Puesto que en este caso la cadena presenta una ORR, de inmediato se establece la fórmula de valencia del pronombre relativo de un sujeto, ya que es la función más probable de un NN + *que* (12). El Rel, tal como lo sugiere la estrategia tipológica (§5.4) y los rasgos de la palabra en español (§5.5), prepara la aparición de un verbo de activación reducida (semántica y pragmáticamente debilitado): Vsub. Esta categoría existe gracias a que está

precedida por un Rel, y su fórmula de valencia contiene un detector de secuencia para la función gramatical no satisfecha por el NN vinculado con el Rel: O en este caso (13 y 21).



La expansión relativa cumple su función al enriquecer la activación de la red de palabra del SustC “payaso” lo suficiente para hacerla accesible al oyente; entonces se cumple el requisito establecido por el Art al preparar la activación de un SustC definido, y el detector de secuencia (18) reactiva el Art que funciona como marca de suficiencia para que la FN cumpla la función gramatical de S de la OP. El S así constituido procede a preparar un V y la cadena de la oración continua según lo descrito en §4.

Para evitar una extensión innecesaria, en la Tabla 6.1 se presenta sólo el curso de activación de la gramática neuronal de la FN de S en la que se encuentra la ORR:

Tabla 6.1. Curso de activación de una FN con ORRS

t	/El/fi,f2	p/p./f	p/que/f	p/i./f	p/al/f	p/s./	p/t./f
1 El	/I^/0, 0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
2	/R/P, 0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
3	/R/P, 0	P/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
4	/R/P, 0	P/P/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0

5 payaso	/R/P, 0	P/I/O	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
6	/R/P, 0	P/R/P	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
7	/R/P, 0	P/R/P	P/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
8	/R/P, 0	P/R/P	P/P/0	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
9 que	/R/P, 0	P/R/P	P/I/O	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
10	/R/P, 0	P/R/P	P/R/P	0/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
11	/R/P, 0	P/R/P	P/R/P	P/0/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
12	/R/P, 0	P/R/P	P/R/P	P/P/0	0/0/0	0/0/	0/0/0
13inyectó	/R/P, 0	P/R/P	P/R/P	P/I/O	0/0/0	0/0/	0/0/0
14	/R/P, 0	P/R/P	P/R/P	I/R/P	0/0/0	0/0/	0/0/0
15	/R/P, 0	P/R/P	P/R/I	R/R/P	P/0/0	0/0/	0/0/0
16	/R/P, 0	P/R/P	P/I/R	R/R/P	P/P/0	0/0/	0/0/0
17	/R/P, 0	P/R/P	I/R/R	R/R/P	P/P/0	0/0/	0/0/0
18	/R/P, 0	P/R/I	R/R/R	R/R/P	P/P/0	0/0/	0/0/0
19	/R/P, 0	P/I/R	R/R/R	R/R/P	P/P/0	0/0/	0/0/0
20	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/P/0	0/0/	0/0/0
21 al	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/I/O	0/0/	0/0/0
22	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/P	0/0/	0/0/0
23	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/P	P/0/	0/0/0
24	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/P	P/P/	0/0/0
25 señor	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/P	P/I/	0/0/0
26	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/P	I/R/	0/0/0
27	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/R/I	R/R/	0/0/0
28	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	P/I/R	R/R/	0/0/0
29	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/P	I/R/R	R/R/	0/0/0
30	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/R/I	R/R/R	R/R/	0/0/0
31	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	R/I/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
32	/R/P, 0	P/R/R	R/R/R	I/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
33	/R/P, 0	P/R/R	R/R/I	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
34	/R/P, 0	P/R/R	R/I/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
35	/R/P, 0	P/R/R	I/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
36	/R/P, 0	P/R/I	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
37	/R/P, 0	P/I/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
38	/R/P, 0	I/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
39	/R/I, 0	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
40	/I/R, 0	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
41	/R/R, P	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	0/0/0
42	/R/R, P	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	P/0/0
43	/R/R, P	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	P/P/0
44 tiene	/R/R, P	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/R	R/R/	P/I/O
45 ...	...	...	...	...	...	...	...

Con base en este circuito de gramática neuronal podemos explicar una serie de fenómenos lingüísticos señalados en §5.5. En primer lugar, el circuito permite conocer la forma en que neuronalmente se realiza la descodificación jerárquica (no lineal) de una cadena de palabras. Los grupos jerárquicos dentro de la oración se esquematizan en (25) con la diferente longitud de las flechas diagonales: las relaciones entre las redes vinculadas con flechas cortas deben satisfacerse completamente para que las relaciones entre redes unidas con flechas más largas puedan darse, es decir, entre más breves las flechas, más subordinada está la unidad gramatical a otra. El componente que permite la codificación de los constituyentes jerarquizados son las redes gramaticales especializadas en discernir si los constituyentes léxicos satisfacen las condiciones semánticas necesarias para lograr el éxito comunicativo. ¿Cómo puede eso materializarse en el cerebro del oyente? La red neuronal representada por el detector de secuencia Art (f) prepara la activación de un detector de secuencia (SustC (p)) cuya red está conformada por un grupo de neuronas especializadas en activarse solamente cuando la red de palabra del Sust que precede satisface un modo de ignición rico en conexiones semánticas (definido). Así, los detectores de secuencia preparados por el Art sólo se activarán cuando, por medio de algún recurso de enriquecimiento semántico (§5.2), el referente codificado en la FN se reconozca como definido y se actualice como argumento de la predicación en vías de aserción. Para ejemplificar esto usaremos el artículo “El” y el pronombre relativo “que” en la oración (1).

El Art es una palabra cuya red neuronal está especializada en indicar al oyente que su interlocutor está comenzando una frase de referencia nominal definida, es decir, plenamente accesible dentro de un grado de riqueza semántica convencional. Eso es visible desde t2 de la Tabla 6.1, donde el Art, dada su activación insuficiente para ser argumento de una predicación, sólo prepara la aparición de un miembro de la categoría léxica de SustC. (Si el Art por sí mismo tuviera la riqueza semántica para funcionar como frase nominal nos encontraríamos frente a un pronombre personal “Él”, cuya riqueza semántica se basaría en sus propiedades anafóricas de correlación con un participante activado en la memoria temporal del oyente.) Puesto que la activación de “payaso” no cumple la predicción de obtener un NN definido, la preparación retrógrada del t6 permanece sin activarse hasta que “payaso” ha sido plenamente enriquecido por toda la ORR en el t39; en el t40, la red de palabra del Art reconoce la satisfacción del requisito de FN definida y, ya como S, prepara la activación del V de la OP.

El fenómeno de subordinación de una oración a un NN se logra mediante la función gramatical del Rel *que*. Como puede verse en la fórmula de secuencia (20), el Rel prepara la entrada de un verbo como lo haría un S pero con una modalidad distinta: Vsub. Con esta categoría sintáctica se representa un verbo cuya red se activará de manera escueta (con el mínimo de neuronas posible para conservar el significado) marcada informacionalmente como presupuesta. Puesto que el detector de secuencia RelS (f) ya ha determinado el S de Vsub (hecho manifiesto en la concordancia morfológica), el detector Vsub (f) se conectará con el detector O (p), función gramatical constituida por los elementos subordinados jerárquicamente a ella (el complejo funcional Prep.Art y el NN de la frase). La asociación de “que” con “inyectó” produce una ignición de “payaso” en el t19, lo cual indica que en ese momento del procesamiento el NN se integra semánticamente como S del Vsub; una vez que el O de Vsub se presenta en la cadena, hay una reactivación retrógrada de toda la ORR hasta que vuelve a producir la ignición del NN en el paso 37; es en este punto SustC cumple los requisitos informacionales establecidos por Art, por lo que se da la activación de los detectores de esa secuencia (38-39) y la ignición del Art en el t40 representa la actualización completa del referente “El payaso que inyectó al señor”, cadena en reverberación sincronizada. A partir de ese punto, la FN se interpreta como S que prepara la entrada de un V.

Los rasgos prosódicos atribuidos al enunciado que incluye una ORR en §5.5d se reflejan en los tiempos de la Tabla 6.1: el hecho de que la frase nominal que incluye una ORR forma un grupo prosódico único, separado por una pausa del resto de la OP, refleja la cantidad de pasos de procesamiento requeridos después de la entrada del O (t25) para integrar semánticamente la FN (reverberación sincronizada de todas sus neuronas en t41) y usarla como función gramatical para preparar un V (t41-t43).

6.4. Circuito de gramática neuronal de la oración restrictiva de relativo de objeto directo

El rasgo formal que distingue una ORRS de una ORRO es el modo de codificación de la función gramatical del NN en la ORR. Mientras que el NN sujeto de la ORRS se manifiesta en la forma *que*, el orden VsubO y la concordancia verbal, el NN objeto directo de la ORRO puede alterar o no la forma de *quel al que*, reflejarse o no en un pronombre clítico (ejemplo (12) de §5.5b) o no manifestarse formalmente. Para poder observar la función de un pronombre relativo específico de

la *ORRO*, se presenta el circuito de una oración construida con *al que* y con un S pleno en la ORR:

(26) El payaso al que el señor golpeó tiene lentes.

(27) “El” / “el” ↔ Art

(28) “payaso” ↔ SustC

(29) “al” ↔ prep-art

(30) “que” ↔ Rel

(31) “señor” ↔ SustC

(32) “golpeó” ↔ V

(33) “tiene” ↔ V

(34) “lentes” ↔ SustC

(35) Art (/ */ f1, f2 [S])

(36) SustC[?] (p / */ f)

(37) Prep.art. (/ */ f)

(38) Rel (p / */ f)

(39) S (/ * / f)

(40) V (p / */ f)

(41) Vsub (p1,p2 / */)

(42) O (p / */)

(43) Art (f) → SustC (p)

(44) SustC? (f) → Rel (p)

(45) RelO (f) → Vsub (p)

(46) Ssub (f) → Vsub (p)

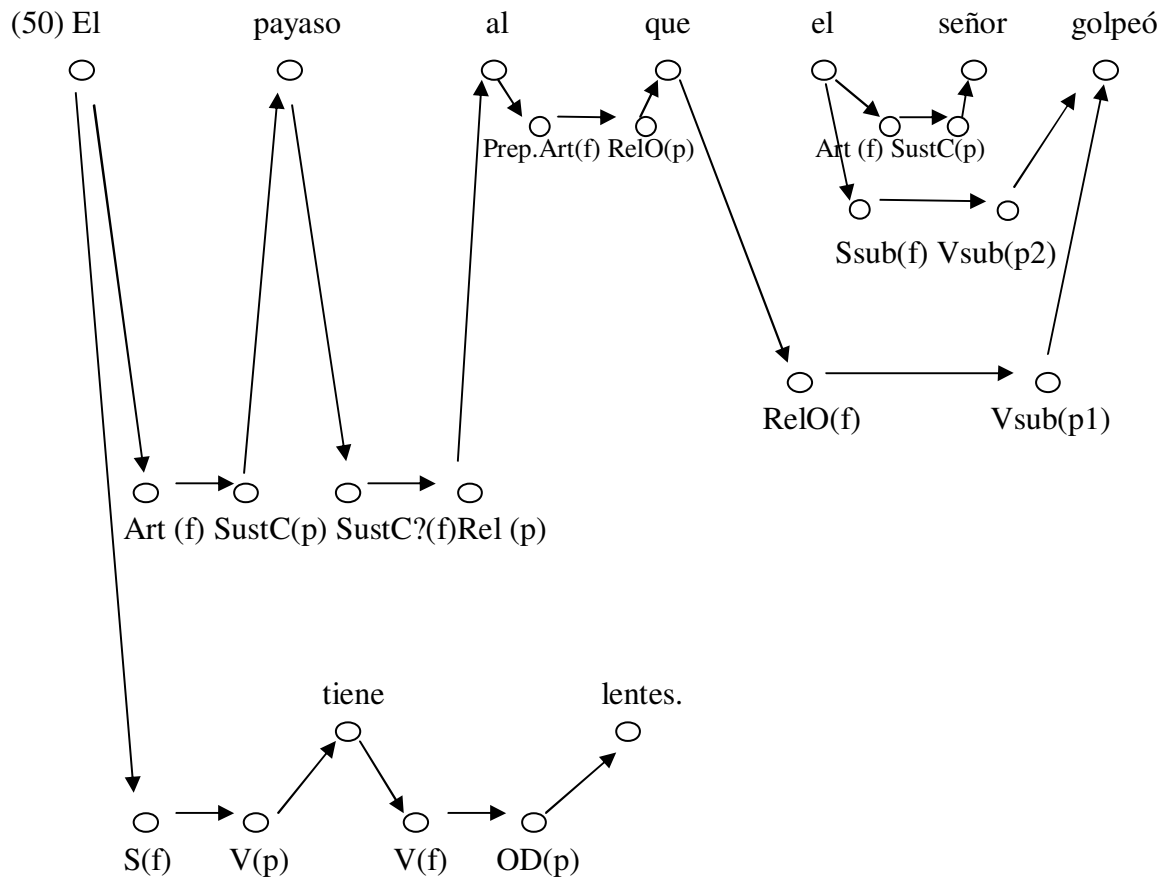
(47) Prep.Art (f) → RelO (p)

(48) S (f) → V (p)

(49) V (f) → O (p).

En (27-34) se presentan las fórmulas de asignación categorial para (26). La clasificación independiente de “al” y “que” es controversial, pues el pronombre relativo está formado por ambos. Con respecto al artículo “el” (integrado con la preposición “a”), durante la evolución del español ha pasado de ser un pronombre con valor anafórico pleno a un Art y, al gramaticalizarse, se ha convertido en un afijo flexivo dedicado a facilitar la relación entre el Rel y su NN cuando el Rel va precedido por una Prep (los contextos más antiguos y frecuentes en los que se selecciona *el que* van precedidos por una Prep de más de una sílaba) (Girón Alconchel, 2009: §14.4). Se conserva el análisis independiente de “al” y “que” para mostrar sus respectivas funciones dentro del pronombre: asignar la función gramatical satisfecha por el NN en la ORR (“al”) y preparar la

entrada de un Vsub (“que”). Como puede verse en la jerarquización de (50), ambos forman una unidad preparada como Rel con una función de RelO, lo cual significa que preparan un Vsub por medio del detector de secuencia de O, de tal forma que la FN restante en la ORR será analizada como Ssub.



Sobre las fórmulas de valencia (35-42) y las de secuencia (43-49) queda señalar que son muy semejantes a las de (10-24). Obsérvese en (41) que el Vsub no posee un detector de secuencia pasado y otro futuro, sino dos pasados. Vsub (p1) prepara el verbo subordinado y lo vincula con su O; Vsub (p2) satisface la relación gramatical entre el Vsub y su Ssub. Este Vsub (p2) pudo haberse realizado como un Vsub (f) en una oración como (51), que es completamente aceptable en español:

(51) El payaso al que golpeó el señor tiene lentes.

Hay dos motivos para la utilización del orden de palabras de (26) y no el de (51): 1) Se deseaba presentar el análisis para la cadena de procesamiento de ORR más compleja posible, en la que se demanda una interacción simultánea de varios detectores de secuencia; 2) Se diseñó una tarea de comprensión con oraciones estímulo de este tipo para pacientes con afasia de Broca (§7.5.2).

La similitud entre las fórmulas de la ORRS y de la ORRO disminuye al observar su esquematización en (50). En la Tabla 6.2 se presenta el procesamiento de la ORRO, donde se confirma si la complejidad aparente en el esquema se traduce en una complejidad de procesamiento mayor.

Tabla 6.2. Curso de activación de una FN con ORRO

t	/El/fi,f2	p/p./f	p/al/f	p/que/f	/el/f1,f2	p/s./	p1,p2/g./	p/t./f
1 El	/I^/0,0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
2	/R/P,0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
3	/R/P,0	P/0/0	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
4	/R/P,0	P/P/0	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
5 payaso	/R/P,0	P/I/0	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
6	/R/P,0	P/R/P	0/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
7	/R/P,0	P/R/P	P/0/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
8	/R/P,0	P/R/P	P/P/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
9 al	/R/P,0	P/R/P	P/I/0	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
10	/R/P,0	P/R/P	P/R/P	0/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
11	/R/P,0	P/R/P	P/R/P	P/0/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
12	/R/P,0	P/R/P	P/R/P	P/P/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
13 que	/R/P,0	P/R/P	P/R/P	P/I/0	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
14	/R/P,0	P/R/P	P/R/P	I/R/P	/0/0,0	0/0/	0,0/0/	0/0/0
15	/R/P,0	P/R/P	P/R/I	R/R/P	/0/0,0	0/0/	P,0/0/	0/0/0
16	/R/P,0	P/R/P	P/I/R	R/R/P	/0/0,0	0/0/	P,0/P/	0/0/0
17	/R/P,0	P/R/P	P/R/R	R/R/P	/0/0,0	0/0/	P,0/P/	0/0/0
18 el	/R/P,0	P/R/P	P/R/R	R/R/P	/I^/0,0	0/0/	P,0/P/	0/0/0
19	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/P1,0	0/0/	P2,0/P2/	0/0/0
20	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/P1,0	P1/0/	P2,0/P2/	0/0/0
21	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/P1,0	P1/P1/	P2,0/P2/	0/0/0
22 señor	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/P1,0	P1/I/	P2,0/P2/	0/0/0
23	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/P1,0	I/R1/	P2,0/P2/	0/0/0
24	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/I,0	R1/R1/	P2,0/P2/	0/0/0
25	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/I/R1,0	R1/R1/	P2,0/P2/	0/0/0
26	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/R1,P1	R1/R1/	P2,P1/P2/	0/0/0
27	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/R1,P1	R1/R1/	P2,P1/P1/	0/0/0
28 golpeó	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/R1,P1	R1/R1/	P2,P1/I/	0/0/0
29	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/P2	/R1/R1,P1	R1/R1/	I,I/R1/	0/0/0

30	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/R2/I	/R1/R1,I	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
31	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	R2/I/R1	/I/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
32	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/R2	I/R1/R1	/R1/I,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
33	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/R2/I	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	I/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
34	/R2/P2,0	P2/R2/P2	P2/I/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/I/	R1,R1/R1/	0/0/0
35	/R2/P2,0	P2/R2/P2	I/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
36	/R2/P2,0	P2/R2/I	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
37	/R2/P2,0	P2/I/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
38	/R2/P2,0	I/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
39	/R2/I,0	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
40	/I/R1,0	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
41	/R1/R1,P1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	0/0/0
42	/R1/R1,P1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	P1/0/0
43	/R1/R1,P1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	P1/P1/0
44 tiene	/R1/R1,P1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	R1/R1/R1	/R1/R1,R1	R1/R1/	R1,R1/R1/	P1/I/0
45	...	...	...	...	...	...	...	...

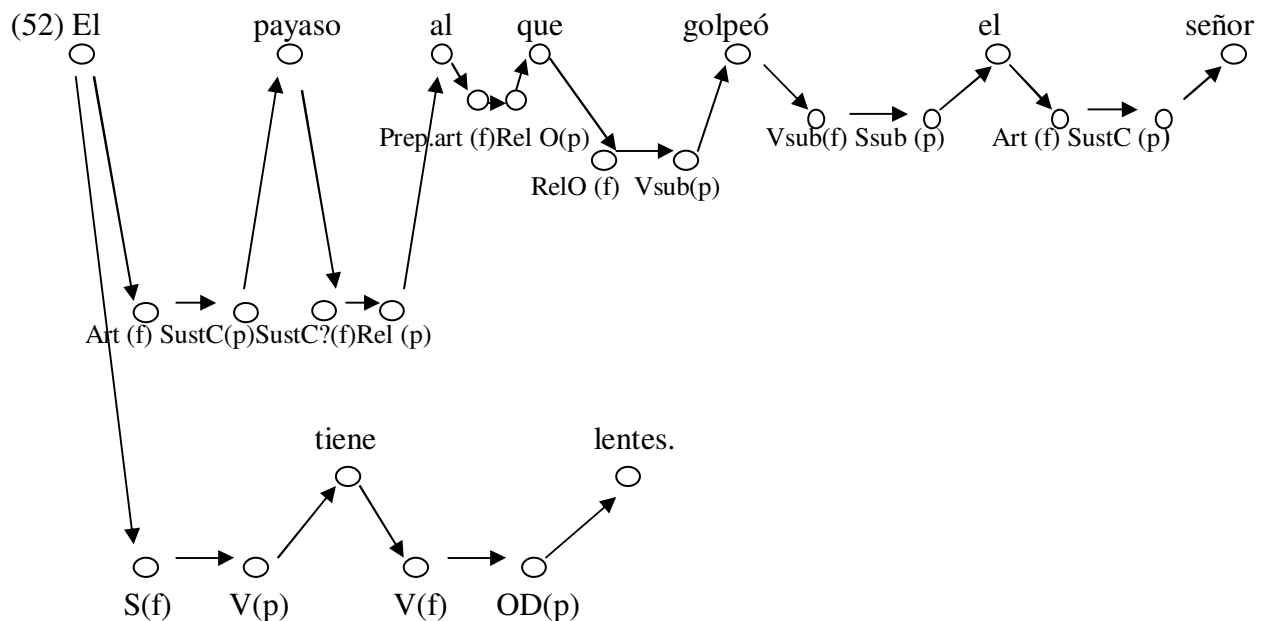
Los cursos de activación de (1) (“El payaso que inyectó al señor tiene lentes”) y de (26) (“El payaso al que el señor golpeó tiene lentes”) contienen el mismo número de tiempos. Por lo tanto, la diferencia de complejidad procesal no se manifiesta en la duración total del procesamiento de la cadena de entrada, lo cual es congruente con la necesidad de procesar oraciones de distinta complejidad en tiempos semejantes (Müller *et al.*, 1997). Si procesar una cadena estructuralmente más compleja que otra, pero fónicamente semejante, tomara más tiempo, el oyente no comprendería con frecuencia. Así, el modelo de gramática neuronal tiene la cualidad implícita de mostrar cómo pueden lograrse procesamientos diferentes en tiempos semejantes, hecho no reflejado por ningún otro modelo de exposición gramatical.

Aunque el tiempo total de procesamiento de las FsNs analizadas en las tablas 6.1 y 6.2 es el mismo, los tiempos relativos por palabra son diferentes. Mientras que los tiempos dedicados al Rel *que* en la tabla 6.1 son cuatro (t9-t12), los de *al que* en la tabla 6.2 son nueve (t9-t17). Esta diferencia se compensa en el hecho de que mientras que en la ORRS los detectores de secuencia que vinculan al Rel con el Vsub y a éste con su O se activan de manera sucesiva (según el orden de palabras básico), en la ORRO se activan de manera simultánea (a partir del t29 de la tabla 6.2 pueden verse dos igniciones por tiempo hasta alcanzar la reverberación). Esto puede observarse al comparar las tablas. En la tabla 6.1, después de la entrada del Vsub (t13) hay una reactivación del NN (t18-t20), que se integra con su Vsub antes de la entrada del O; de igual modo, después

de la activación del O hay una reactivación sucesiva del Vsub, Rel y NN (t26-t43), periodo en el que se compensa la mayor duración del RelO. En la tabla 6.2, el RelO prepara la activación del Vsub, interrumpida por la colocación del Ssub. Se produce una ignición no preparada (I^{\wedge}) de una FN en función de Ssub que inhibe las redes neuronales previamente activadas para poder activarse con la intensidad suficiente para fungir como Ssub de la ORRO. Esto es visible en la Tabla 6.2 a partir del t19, en el que cada estado de red neuronal recibe un valor numérico para representar la regulación de la actividad neuronal según está previsto en los principios 5 y 6 de la gramática neuronal (§4.1.1). Los valores de R2 y P2 significan que las neuronas principales de esas redes han sido reclutadas temporalmente para el procesamiento de las redes en estados de valor R1 y P1. La necesidad de la reverberación múltiple de las redes ha sido contemplada para resolver la repetición de palabras (“El señor *que* me dijo *que*...”.) y controlar la activación de constituyentes anidados (como en este caso). (Pulvermüller, 2002: 250-264.)

Podría objetarse el curso de activación presentado en la tabla 6.2 con el argumento de que el O es parte de la FV. Si se aceptara esta organización jerárquica canónica en la literatura generativista (Chomsky 1965/1971: LXVI), entonces las tablas 6.1 y 6.2 serían considerablemente distintas, pues el Ssub no podría reactivarse hasta que el Vsub y el Osub se integraran. Hay razones para rechazar esta opción. En primer lugar, la diferencia jerárquica planteada para el S y el O se basa en la distinción lógica de sujeto y predicado, y en la aparente independencia categorial del S frente al V, ya sea transitivo o intransitivo, en las lenguas nominativo-acusativas. En segundo lugar, el principio para la organización jerárquica de las oraciones está en las restricciones impuestas por las secuencias preparadas por la gramática neuronal a partir del uso lingüístico, no por las características histórico-tipológicas de la lengua. Para que V y O formaran una unidad estructural distinta de S, S tendría que poseer un detector de secuencia asociado con VO; sin embargo, esto es imposible en el uso: el oyente que escucha un S en posición inicial no tiene modo de saber si el V que escuchará es transitivo o intransitivo; si el oyente se preparara para una cadena VO cada vez que escuchara un S, se equivocaría siempre que siguiera un V intransitivo. Por lo tanto, la mejor estrategia en una lengua nominativo-acusativa es que S, V y O formen unidades secuenciales independientes, para que S siempre prepare un V con certeza, independientemente de su carácter (in-)transitivo. Esta simple reflexión basada en la interacción entre uso del lenguaje y codificación de probabilidades (en detectores de secuencia), invalida esa propuesta estructural indiscutida en la neurolingüística (ver §7.4).

Es conveniente reflexionar sobre el motivo por el que en español los órdenes de palabras de (26) (“El payaso al que *el señor golpeó* tiene lentes”) y (51) (“El payaso al que *golpeó el señor* tiene lentes”) son gramaticales. Uno de los principios epistemológicos de la sintaxis funcional es que toda diferencia de forma sintáctica refleja una diferencia semántica y/o pragmática (Givón, 2001). Por ese motivo, podemos suponer que (26) y (51) codifican alguna diferencia en el estatus informacional de los participantes o reflejan algún matiz en la transitividad del Vsub. Podría suceder, por ejemplo, que el reconocimiento del Ssub como una entidad de jerarquía social mayor produjera su anteposición en la ORR. También podría existir una diferencia de registro: (26) podría reconocerse como más culta o cuidada que (51). La motivación semántico-pragmática de esta divergencia sólo puede encontrarse, si existe, en un cuidadoso estudio de lengua hablada. En este trabajo sólo podemos aportar un factor involucrado en la existencia del tipo (51): mientras que el procesamiento de (26) involucra la necesidad de establecer un curso de reverberación múltiple y de regulación de la actividad de las redes neuronales (tal como se ve en la tabla 6.2 y se describe en los párrafos posteriores a ella), en el procesamiento de (51) no se requiere regulación ni hay violación de las secuencias preparadas por el Rel. Para mostrar esto gráficamente, se presenta el esquema en (52).



Al comparar (50) con (52) se observa que en este no hay activaciones simultáneas (ningún detector de secuencia coincide temporalmente con otro) ni preparaciones dobles. El Vsub de (26)

es simultáneamente preparado por el Rel y por el Ssub, que se activa sin preparación (I^{\wedge}) a costa de las demás redes neuronales (lo cual exige más esfuerzo de la memoria operativa). En (52), el Ssub es preparado como tal por la previa activación del Vsub integrado con su Osub, representado en la ORR por el Rel; de esta forma, no hay igniciones no preparadas que demanden más recursos de memoria operativa. La menor complejidad de la gramática neuronal asociada con (52) es un factor importante que puede determinar su uso más frecuente; por otro lado, el uso de la forma de (26) puede encontrar sustento en el respeto al orden básico SVO del español y a la posible debilidad de la gramática neuronal para asignar la función de S a una FN inmediatamente pospuesta al V (esta asignación contradice la frecuencia de uso). La selección de los órdenes representados por (26) y (51) depende de la interacción entre estas dos fuerzas y otros factores semánticos y pragmáticos desconocidos hasta ahora.

Así como el procesamiento de (26) (“El payaso al que *el señor golpeó* tiene lentes”) es más complejo que el de (51) (“El payaso al que *golpeó el señor* tiene lentes”), el procesamiento de (51) es más complejo que el de (1) (“El payaso que inyectó al señor tiene lentes”), es decir, una ORRO es más compleja que una ORRS. Esto se debe a que la integración del RelO depende de más redes neuronales que la del RelS. Además, el orden Vsub - Ssub contradice la predicción básica que indicaría Vsub - Osub.

En el próximo capítulo se presentan evidencias obtenidas con diversos métodos que apoyan la corrección de los circuitos de gramática neuronal propuestos aquí.

7. Correlatos empíricos de la gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo

7.1. Introducción

Para conocer la capacidad explicativa del circuito de gramática neuronal de las OsRsR propuesto en §6, es preciso compararlo con datos obtenidos con métodos de investigación empírica. Ese es el propósito de este capítulo. En §7.2 se exponen datos de imagen cerebral y potenciales cerebrales relacionados a eventos sobre el procesamiento de las OsRsR; con base en ellos se da una panorámica general de la localización funcional de los componentes de la gramática neuronal en la corteza. En §7.3 se presentan estudios psicolingüísticos relacionados con las OsRsR; sus resultados se explicarán con base en la propuesta neuronal de §6. En §7.4 se expondrá la forma en que se han utilizado los distintos modelos teóricos de gramática para dar cuenta de los fenómenos gramaticales relacionados con la afasia de Broca (§3). En §7.5, con base en un estudio diseñado para este trabajo, se describirá la comprensión agramatical de las OsRsR de once afásicos de Broca de acuerdo con lo expuesto en §6.

La existencia de estudios de imagen cerebral de OsRsR con hablantes de inglés obliga a usar esta lengua como evidencia de gramática neuronal; los datos son aplicables al español debido a que ambas lenguas usan la estrategia de pronombre relativo y tienen el mismo orden básico de palabras.

7.2. Datos cerebrales relacionados con el procesamiento de OsRsR

La capacidad multifuncional de la corteza cerebral dificulta correlacionar la función de una región observable con un aspecto específico del procesamiento lingüístico. Los métodos de observación de la actividad neuronal en tiempo real que existen hoy en día carecen de la precisión espacio-temporal necesaria para revelar los rasgos de activación cortical relacionados con el procesamiento de OsRsR. Esto se debe a que el lóbulo inferior frontal izquierdo, lugar canónico de localización del procesamiento gramatical, se activa también de manera consistente con tareas léxico-semánticas que no requieren procesamiento sintáctico (Müller, 2000). Sin embargo, existen algunos estudios que aportan información específica sobre el procesamiento de las estructuras investigadas en este trabajo.

Müller *et al.* (1997) presentan un estudio de potenciales relacionados a eventos provocados por OsRsR escuchadas por los participantes. Ahí se compara la diferencia de activación asociada

con OsRsRS y con OsRsRO del tipo analizado en §6, y se reporta que estas se relacionan consistentemente con una mayor negatividad ampliamente difundida por la corteza; es decir, que en cada una de las regiones evaluadas en el estudio se descubrió una diferencia de activación relacionada con el tipo de ORR. La negatividad mayor, signo de una actividad cortical más intensa, es prueba de que las OsRsRO son más complejas y requieren mayores recursos neuronales para ser procesadas. Los autores del estudio atribuyen esta complejidad a una mayor dificultad procesal derivada de la carga de memoria operativa y de la integración de un mismo referente con dos funciones gramaticales distintas: S en la OP y O en la ORR (Müller *et al.*, 1997: 194).

Caplan *et al.* (2000) analizan el procesamiento de lectura de OsRsR con RMf relacionada a eventos, que es un método de imagen cerebral con mejor resolución espacial y peor resolución temporal que la electroencefalografía. Interesados específicamente en el involucramiento del área de Broca en este procesamiento, los autores diseñaron una tarea en la que los participantes tuvieran que articular repetidamente sonidos simples mientras comprendían las oraciones, para evitar que la activación del área observada se debiera a la repetición silenciosa de las entradas lingüísticas (tarea en la que el área de Broca cumple la función central, Caplan *et al.*, 2000: 66). Ellos compararon las diferencias de flujo sanguíneo relacionadas con la percepción de OsRsRO anidadas en la OP, en las que el NN era S, y OsRsRS en el extremo derecho de la OP, en las que el NN era O. El mayor incremento de flujo sanguíneo (signo de mayor actividad neuronal) se dio en el área de Broca (AB 44 y 45) con las oraciones anidadas. La región más activa fue la *pars triangularis* del AB 44, relacionada por los autores con un sistema de memoria operativa para mantener en espera el S de la OP (Caplan *et al.*, 2000: 70). (Ver §2.1.2 y §3.1.3.)

En otro estudio, Caplan *et al.* (2001) usaron la misma técnica de imagen para comparar los efectos de lectura de OsRsRS y OsRsRO y reconocieron un incremento del flujo cerebral consistente con ambos tipos de oraciones frente al estado base de activación en la corteza occipital de ambos hemisferios (activada por la lectura), la corteza perisilvanica izquierda y las áreas motoras y premotoras izquierdas (regiones centrales del procesamiento gramatical). Al comparar ambos tipos de oraciones, su estudio reveló una activación mayor del giro angular (AsB 22 y 40) al procesar las OsRsRO, hecho que apoya la mayor complejidad de procesamiento neuronal; las razones para que la diferencia se diera en esta área posterior de la corteza y no en un área anterior no son claras para los autores (Caplan *et al.*, 2001: 36), pero, como vimos en §3.1.3,

esta es la zona en la que el cauce dorsal de transmisión lingüística desde la corteza perceptiva se proyecta hacia las zonas frontales de procesamiento secuencial, por lo que la actividad de esta área es relevante también en una estructura tan rica en detectores de secuencia como la ORR.

La consistente demostración de que las *OsRsRO* producen mayor activación neuronal que las *OsRsRS*, refleja la ignición no preparada (más intensa que cualquier otra) del S_{sub} y la ignición simultánea de dos redes neuronales, observadas en la tabla 6.2. El giro inferior frontal izquierdo y el giro angular parecen ser fundamentales en el procesamiento debido a que los detectores de secuencia localizados en el lóbulo frontal estimulan los centros categoriales de las redes de palabra en el giro angular. La actividad constante de los detectores de secuencia involucrados en el procesamiento de una ORR hace que el papel de la actividad frontal en su comprensión sea crucial.

7.3. Estudios psicolingüísticos de las *OsRsR*

Las *OsRsR* han sido una estructura muy popular en los estudios sobre complejidad psicolingüística. Un método experimental usado para medir esta complejidad es calcular el tiempo que tarda un participante en leer cada una de las palabras de una ORR presentada, palabra por palabra, en una pantalla (el lector presiona un botón para cambiar de palabra y la máquina registra el tiempo que dedicó a la lectura de cada una). Un estudio de este tipo fundamenta la teoría de la dependencia local de Gibson (2000), que propone que la complejidad lingüística es un efecto del costo de integrar elementos relacionados en la estructura; compara los tiempos de lectura entre *OsRsRO* y *OsRsRS* y muestra que en las primeras el tiempo global de procesamiento es mayor, con un pico en el V_{sub} (seguido por un complemento adverbial); en las segundas el tiempo de procesamiento es menor y su pico se localiza en el V de la OP. La prueba muestra que, en efecto, cuando la distancia entre NN y V_{sub} es mayor, el tiempo de procesamiento se incrementa, debido a que el participante puede repetir en silencio la cadena leída o simplemente tardar más en reconocer las relaciones gramaticales de la palabra presentada. Gibson relaciona esto con la complejidad, sin abundar en el significado de este concepto. El estudio se explica al observar el curso de activación propuesto para estas estructuras en las tablas 6.1 y 6.2. Mientras que en la *ORRS* la integración de todos los elementos se da en secuencia después de la activación del O, en la *ORRO* la integración de las funciones se da de manera simultánea con la activación del V_{sub} ; estos dos hechos, reflejados en el número de pasos de

tiempo requeridos para procesar cada palabra de entrada, coinciden con los resultados de este y otros estudios en inglés (Wagers y Phillips, 2009). En español existe un estudio semejante para el que los tiempos de lectura de las OsRsRO también fueron consistentemente mayores que los de las OsRsRS (Del Río y López-Higes, 2006).

Hay estudios psicolingüísticos en los que se vinculan datos de corpus con experimentos. Reali y Christiansen (2007) descubrieron que, en un amplio corpus de inglés hablado, las OsRsRS donde el Osub es un pronombre personal (“El consultor que *te* llamó”) son más frecuentes que aquellas donde el pronombre personal es Ssub (“El consultor al que *tú* llamaste...”). Después aplicaron una prueba de lectura como las descritas arriba con estas estructuras; las oraciones de lectura más veloz (interpretada como mayor facilidad de procesamiento) fueron las más frecuentes en el corpus analizado. Por ese motivo concluyen que la frecuencia de uso determina la facilidad de procesamiento. Aunque la conclusión parece ser verdadera (la habituación y automatización son facilitaciones neuronales de procesamiento derivadas de la frecuencia), la frecuencia de uso no es necesariamente la causa de sus resultados experimentales: los tiempos de lectura simplemente se podrían deber a la complejidad intrínseca de la gramática neuronal de cada tipo de oración. No hay, sin embargo, forma de comprobar si existe o no una relación causal entre las frecuencias de uso y los tiempos de lectura reportados.

Keenan y Comrie (1977), sustentan psicolingüísticamente su jerarquía de accesibilidad de FsNs (ver §5.4) con una prueba de memoria temporal con niños angloparlantes. La accesibilidad psicológica de los distintos tipos de ORR se midió según la capacidad de los niños de recordar y repetir correctamente una ORR después de un determinado tiempo (Keenan y Comrie, 1977: 89). Según sus resultados, las OsRsR mejor recordadas se encuentran a la izquierda de la jerarquía (S > O > Objeto Indirecto > Oblicuos > Genitivo > Objeto de comparación). Esto es congruente con los resultados de tiempo de procesamiento reseñados, los datos de adquisición infantil de la estructura (ver §6.2), las frecuencias de uso (Fox, 1987; Fox y Thompson, 1990; Reali y Christiansen, 2007) y los resultados de nuestro modelo de gramática neuronal. Sobre la compleja relación causal entre estos aspectos del procesamiento de la ORR se reflexionará en §8.

7.4. Teoría gramatical y afasia de Broca

Los déficits asociados con el aspecto agramatical de la afasia de Broca se han atribuido a factores fonológicos, semánticos, de memoria, acceso léxico, lentitud de procesamiento y disociaciones

entre aspectos automáticos y conscientes del procesamiento gramatical (Bates et al., 1987:20). La precisión de la causa supuesta del agramatismo es controversial; mientras que Kean (1977) atribuye el problema a un aspecto tan general como el procesamiento fonológico de las palabras de clase cerrada (de escasa estructura fonológica, en congruencia con la ley de Zipf (Mandelbrot, 1965)), muchos otros (Maurer et al., 1993, y Grodzinsky, 2000, por ejemplo), se concentran en algún aspecto del procesamiento sintáctico como base de la dificultad (la dependencia referencial entre Susts y pronombres o argumentos tácitos).

Los estudios sobre aspectos de la comprensión agramatical son numerosos y de muy pocos de ellos se pueden derivar conocimientos útiles para una caracterización general del agramatismo, debido a que sólo relacionan el comportamiento lingüístico experimental de un grupo de sujetos con teorías gramaticales que carecen de un fundamento neuronal. Un enriquecedor estudio sin compromisos con alguna teoría gramatical en boga es el de Bates *et al.* (1987), que presentan resultados de comprensión agramatical con pacientes con afasia de Broca, de Wernicke y anómica de tres lenguas (alemán, inglés e italiano). Se analizó la preservación de la capacidad para comprender con base en el orden de las palabras, la morfología y la información semántica. Se descubrieron dos hechos relevantes: 1) la preservación de las diversas estrategias gramaticales depende de su importancia codificadora en cada lengua particular; los pacientes angloparlantes recurren mucho más que los italo-parlantes al orden de palabras para atribuir funciones sintácticas a los constituyentes de una oración debido a que el orden de palabras en inglés es más rígido y, por lo tanto, más confiablemente informativo; 2) el déficit morfológico es un componente fundamental del déficit de comprensión en los afásicos de Broca en las tres lenguas, pero se confirma lo propuesto por Caplan *et al.* (1985): los problemas en la gramática receptiva se presentan en otros tipos de afasia también. Sin embargo, la afasia de Broca presenta un rasgo interesante para el estudio del procesamiento neurolingüístico: el contraste notable entre la preservación de la comprensión léxica y el impedimento de la comprensión sintáctica (fenómeno explicado en §3.2.3). Se han formulado varias hipótesis para explicar la incapacidad de usar información sintáctica. Abajo se enlistan algunas correlaciones propuestas entre algún mecanismo gramatical y los resultados con pruebas conductuales de comprensión lingüística de las personas con afasia de Broca:

I. *Hipótesis de supresión de huellas (Trace deletion hypothesis)*.- Establece que el impedimento sintáctico de los afásicos de Broca se deriva de que el área de Broca se involucra en relaciones transformacionales (Chomsky, 1965/1971) entre constituyentes de frase desplazados y sus lugares de extracción (Grodzinsky, 2000: 2; Friedmann, 2006; Grodzinsky, 2006). Esto provoca una incapacidad para procesar relaciones gramaticales entre constituyentes distantes en la cadena de palabras que se resuelve con una estrategia linear de asignación del rol semántico más prominente, el de agente, al primer participante que aparece en una cadena. Esta hipótesis ha sido refutada por numerosos datos de pruebas con afásicos (Caramazza *et al.*, 2005).

II. *Hipótesis de doble dependencia*.- El déficit subyacente a la comprensión agramatical afecta el procesamiento de dependencias sintácticas referenciales (Maurer *et al.*, 1993), es decir, la vinculación de funciones gramaticales con roles semánticos. Esta hipótesis es apoyada por un estudio que analizó el comportamiento de afásicos de Broca en coreano y español con oraciones como “Por la mujer la jirafa está siendo empujada” (Beretta *et al.*, 2001: 412). De cumplirse la estrategia planteada en la hipótesis I, los participantes hubieran interpretado a “la mujer” como agente en todas las ocasiones, pero el desempeño real de los pacientes fue azaroso (acertaron alrededor del 50% de las veces). Esto significa que existe un problema de asignación de roles semánticos cuando hay más de una frase a la que asignar una función gramatical.

III. *Hipótesis de prominencia estructural*.- Plantea que, al carecer de información derivada de morfemas y palabras gramaticales, la comprensión agramatical depende de la prominencia estructural relativa de las FsNs para asignar roles semánticos. (Friederici y Gorrell, 1998: 265.) Esta prominencia se correlaciona con las estructuras ramificadas típicas de la gramática generativa y postula que las FsNs más prominentes llenan los papeles más altos en la estructura arbórea en una oración. Esta hipótesis predice que en una ORRO el NN se interpretará erróneamente como S de la ORR la mayoría de las veces puesto que en la estructura del inglés (y del español) el S es la FN más prominente, rasgo que se asocia con la extrema izquierda de la cadena. La predicción no se cumple (ver §7.5).

IV. *Hipótesis de sintaxis lenta*.- El déficit en la comprensión se atribuye a una incapacidad de integrar sintácticamente las palabras al ritmo normal. Burkhardt *et al.* (2003) han probado que los

afásicos de Broca son incapaces de asociar dos constituyentes distantes relacionados en el momento preciso (un NN-O cuando aparece un Vsub en la ORRO, por ejemplo). La lentitud de procesamiento provocaría confusión entre las representaciones semánticas y las funciones gramaticales que les corresponden. Esta hipótesis implica la conservación del conocimiento gramatical (Edwards y Lightfoot, 2000) en la afasia de Broca, lo cual, según se verá en §7.5, es controversial.

Las hipótesis presentadas no hacen referencia al modo en que los procesos en los que se fundamentan (establecimiento de dependencias sintácticas, inserción de huellas, asignación de prominencia en estructuras arbóreas, etc.) se realizan en la corteza cerebral. Las teorías neurolingüísticas de este tipo se han limitado a buscar la teoría gramatical que mejor se adapte a los resultados de sus experimentos, sin abordar el problema de cómo participan las neuronas en el procesamiento lingüístico.

En el siguiente apartado se mostrará cómo interactúan diversos factores para impedir la comprensión de las OsRsR en el agramatismo, y se explicará el fenómeno en términos de gramática neuronal, es decir, se establecerá la conexión causal entre el daño a ciertas neuronas y el déficit de la comprensión.

7.5. Las OsRsR y la afasia de Broca

7.5.1. Antecedentes

El uso de las OsRsR como instrumento de investigación afasiológica ha sido muy común desde el célebre trabajo de Caramazza y Zurif (1976), en el que se concluye que el daño cerebral en la afasia de Broca afecta un mecanismo tanto de comprensión como de producción (Caramazza y Zurif, 1976: 581). Desde entonces, se han publicado muchos trabajos que intentan aprehender en qué consiste este mecanismo de procesamiento lingüístico relacionado con el componente sintáctico en general (hipótesis presentadas en §7.4) y con el procesamiento de OsRsR en particular.

Aunque los distintos resultados sean interpretados según diversas “hipótesis” de déficit gramatical, las pruebas de comprensión de OsRsR coinciden en que los afásicos de Broca aciertan por arriba del azar en las pruebas de OsRsRS y se comportan azarosamente frente a las OsRsRO (Friederici y Gorrell, 1998: 266; Friedmann, 2006, 2007; Grodzinsky 2000, 2006). Los

resultados experimentales son interpretados en función de alguna de las hipótesis presentadas arriba y se plantea un esquema para la representación estructural defectuosa de los afásicos. La disfunción del pronombre relativo es ignorada en estos planteamientos debido a que ni siquiera se comprende su función gramatical; se le etiqueta como “pronombre relativo” o como “complementador” y no se le involucra en las pseudo-explicaciones de la comprensión agramatical. En §7.5.2 se presenta un estudio de comprensión de OsRsR realizada en este trabajo para abordar la (dis-)función del pronombre relativo en la comprensión agramatical.

7.5.2. Prueba de comprensión agramatical de las OsRsR en español

7.5.2.1. Método

Para observar de manera controlada el comportamiento interpretativo de los afásicos de Broca al escuchar OsRsR, se diseñó un experimento de grupos pareados en el que participaron 11 personas con afasia de Broca y 11 individuos neurológicamente intactos, pareados con los afásicos para controlar las variables de edad, escolaridad y sexo. Este es un principio importante para asegurar que los resultados de comprensión agramatical de los afásicos de Broca puedan atribuirse a la interacción entre su déficit neuronal y el tipo de estructura gramatical escuchada, y no a la edad, el grado de escolaridad (y sus implicaciones socioculturales) o el sexo (puesto que los cerebros difieren en simetría hemisférica y patrones de actividad entre hombres y mujeres, podría darse el caso de que el sexo influyera los resultados, Haier, 2009: 30-31). Todos los participantes son hispanohablantes nativos, cumplieron con el requisito de ser evaluados después de un año o más de inicio del padecimiento y recibieron el diagnóstico de afasia de Broca con base en la adaptación al español de México de una versión española de la *Western Aphasia Battery* (González Ortuño y Venegas, 1995). Además, se observó que el comportamiento lingüístico de los participantes cumplía los rasgos descritos para el agramatismo en §3.2.3. La información de los participantes relevante para el experimento se da en la tabla 7.1. Los individuos neurológicamente intactos fueron pareados con los afásicos correspondientes por sexo (hombre (h) o mujer (m)), escolaridad (<2 años de diferencia incluida en niveles de tres años promedio: secundaria (9 años de escolaridad), preparatoria (12 años), licenciatura (15 años) y posgrado (<15 años)) y edad (<5 años de diferencia). La diferencia en el promedio de edad del grupo experimental (43.8 años) y la del grupo control (46 años) no es significativa. La causa de la

lesión cerebral (etiología) no se considera porque parece ser independiente de los patrones de alteración lingüística (González Ortuño, 2003: §6, nota 18).

Inicial del nombre del participante	Sexo	Edad (años)	Lateralidad	Escolaridad	Año de inicio del padecimiento	Inicial del nombre del control	Edad
J2	H	43	Diestra	Licenciatura	-----	A	45
T	H	45	Diestra	Secundaria	-----	J	42
A1	H	45	Diestra	Licenciatura	-----	G	50
R	H	39	Diestra	Posgrado	2001	E	40
E	M	41	Diestra	Preparatoria	2006	T	44
L	M	38	Diestra	Licenciatura	1996	M	42
M	M	42	Diestra	Preparatoria	1997	S	43
J1	M	35	Diestra	Licenciatura	2004	H	37
V	M	56	Diestra	Licenciatura	-----	B	59
A2	M	48	Diestra	Licenciatura	-----	S	51
P	M	50	Diestra	Licenciatura	-----	E	53

Tabla 7.1. Datos de participantes afásicos en el experimento.

La comprensión de OsRsR fue evaluada usando una tarea de elección binaria forzada de una imagen correspondiente a una oración pronunciada por el investigador. El material constó de 50 oraciones escuchadas por el participante (Apéndice 1 [A1]) y 50 hojas tamaño carta con dos imágenes organizadas verticalmente entre las que el participante tenía que elegir la correspondiente a la oración escuchada (ver ejemplos en Apéndice 2 [A2]). La aplicación del material fue precedida por una tarea en la que el participante tenía que elegir en un conjunto de humanos (niño, abuelo, ladrón, etc.) u objetos (lentes, escalera, carro, etc.) aquel que correspondiera al pronunciado por el experimentador; de esta forma se confirmó que la comprensión léxica de los participantes y la claridad de las imágenes fueron óptimas (ver A2.1). Después se indicó a los participantes que se presentarían simultáneamente una oración y una hoja con dos imágenes, y que debía señalar la que ilustrara lo escuchado. Cada oración podía ser

escuchada dos veces. Así, la variable dependiente con la que se midió la comprensión fue la elección correcta en cada presentación.

Se diseñaron 50 oraciones subdivididas en cinco grupos de diez oraciones semejantes en el tipo de estructura de ORR (variable independiente). El número total de oraciones fue elegido para que los resultados fueran estadísticamente confiables y significativos (McGuigan, 2005). Las oraciones fueron diseñadas para que hubiera en ellas dos humanos formalizados por diez SustC definidos (*Art + abuelo, niño, abuela, niña, ladrón, policía, señor, payaso, señora, monja*) entre los que se establecía una predicación transitiva (verbos: *peinar, besar, perseguir, empujar, inyectar*) semánticamente reversible (cualquiera de los dos participantes es tan capaz como el otro de ser agente o paciente de la acción), o uno de ellos se encontraba en un estado definido por la predicación con un verbo estativo (*tener, usar, estar*). En A1 se puede observar que el diseño contempla que cada pareja sólo se vincule con el mismo verbo una vez, de tal forma que el recuerdo de una elección anterior en la prueba no influya en otra. La posición de la imagen correcta (arriba o abajo) fue aleatorizada para cada hoja; la tarea se realizó en una sola sesión por participante y el orden de presentación de las oraciones fue aleatorizado para cada uno, de tal forma que se neutralizaron posibles efectos de respuesta según el orden de las oraciones o la posición de la imagen correcta.

En la tabla 7.2 se presentan los cinco tipos de estructura evaluados. Los grupos 1 y 2 (oraciones en §A1 y ejemplos en §A2.2) evalúan específicamente la capacidad de reconocimiento de los roles semánticos de las FsNs de una ORR de S o de O que expande un NN-O de la instrucción *señalar*. Con estos tipos se buscaba confirmar los datos de otras lenguas (§7.5.1) con respecto a estas oraciones: un desempeño azaroso (alrededor de 50% de aciertos) para las OsRsRO, y un desempeño por arriba del azar en las OsRsRS. Los grupos 3, 4 y 5 fueron diseñados para averiguar la capacidad general de reconocimiento de la subordinación de la ORR dentro de la OP. Los grupos 3 y 4 (§A1 Y §A2.3) evalúan si el participante es capaz de reconocer el vínculo predicativo entre el S y el predicado de la OP. Con estos resultados puede conocerse la preservación de la función subordinante del pronombre relativo y, en su defecto, el modo en que la posición de la FN dentro de la ORR influye en la elección de la imagen: el hecho de que en el grupo 3 la FN Osub (“al niño”) preceda inmediatamente al predicado de la OP (“tiene sombrero”) podría producir, en caso de haberse perdido por completo la subordinación, una elección sistemática de la imagen en la que el Osub tiene el predicado de la OP (el niño con sombrero).

Por último, el grupo 5 está diseñado para evaluar la influencia del rasgo lineal de primera posición en la interpretación. Si el S de la OP se vincula con el predicado de la ORRS, entonces se infiere que el participante asocia el predicado principal con la FN en primera posición (posición prototípica del S), que la subordinación no funciona y que en los grupos 3 y 4 tampoco lo hace.

Tabla 7.2. Tipos de oraciones evaluados en la prueba.

Grupo	Tipo de estructura	Ejemplo
1	ORRS	Señale al abuelo que abraza al niño.
2	ORRO	Señale al abuelo al que el niño abraza.
3	OP (S-ORRS)	El abuelo que abrazó al niño tiene sombrero.
4	OP (S-ORRO)	El niño al que el abuelo abrazó tiene sombrero.
5	OP (O-ORRS)	El abuelo abrazó al niño que tiene sombrero.

7.5.2.2. Resultados

Los 11 individuos neurológicamente intactos (grupo control) tuvieron un desempeño óptimo en la prueba, lo cual confirma su validez experimental y la hipótesis de que los resultados de los pacientes se atribuyen a las consecuencias neurolingüísticas de su lesión cerebral.

El desempeño de los participantes en los grupos oracionales 1 y 2 confirma el hecho reportado en estudios con otras lenguas (Friedmann, 2007) de que el número de aciertos en las OsRsRS es significativamente mayor que en las OsRsRO ($t(9): -10.00, p < .005$). Como puede observarse en la figura 7.1, el porcentaje de aciertos por participante es homogéneo en dos rasgos: 1) con la excepción de A1, que presentó un comportamiento azaroso en ambas condiciones, todos los demás participantes acertaron más en el grupo 1 que en el 2, aunque su número de aciertos no superara la selección azarosa (reflejada entre el 40 y 60% de aciertos); 2) con las excepciones de E y M, los participantes respondieron azarosamente los incisos del grupo 2. En §7.5.2.3 se expondrá una interpretación novedosa de este tipo de datos: mientras que la tradición reconoce que el número de aciertos obtenidos en el grupo 1 es signo de la preservación de la comprensión de OsRsRS, ahí se planteará que, gracias a la comparación con el desempeño en los demás grupos

e incluso en participantes con un desempeño perfecto como L y J2, la comprensión de estas estructuras también está impedida.

Los resultados de los grupos oracionales 3, 4 y 5 confirman los datos reportados por Caramazza y Zurif (1976) para el inglés, y Kolk y Weijts (1996) para el holandés: el anidamiento de OsRsR en una FN de la OP (grupos 3 y 4) la vuelve incomprendible en el agramatismo, mientras que en OsRsR anidadas en el extremo derecho de la cadena (grupo 5) permite un mayor número de aciertos.

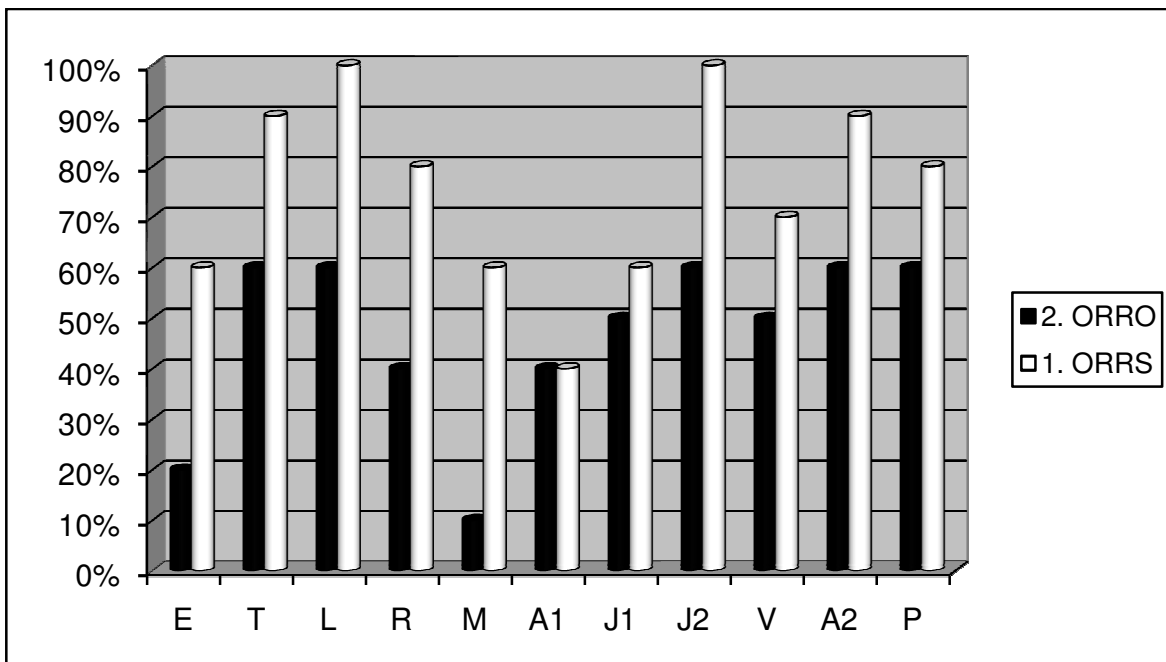


Figura 7.1. Porcentaje de aciertos por participante para los grupos oracionales 1 y 2.

En la figura 7.2 se observa que nuestros resultados del español revelan lo mismo. Hay una variabilidad considerable entre los porcentajes de aciertos obtenidos por cada participante, lo cual sugiere la participación de estrategias diversas de selección de respuestas.

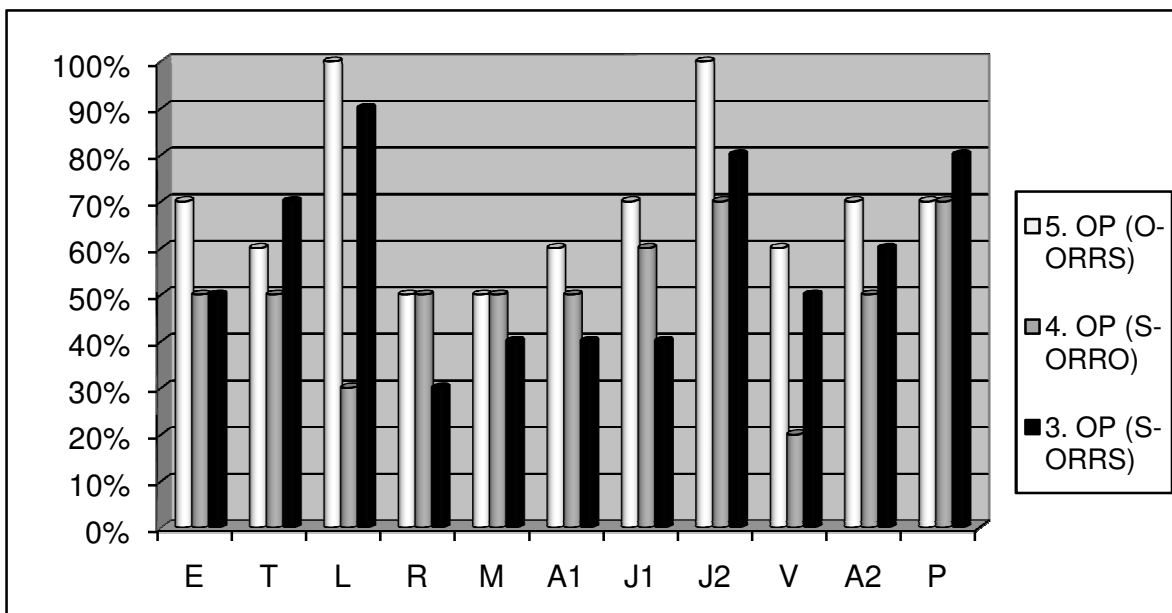


Figura 7.2. Porcentaje de aciertos por participante para los grupos oracionales 3, 4 y 5.

Dado que no hay fundamentos suficientes para sugerir cómo interactuaron diversos factores en los resultados de cada participante (la complejidad de la función neuronal provoca la variabilidad observada), deben reunirse los resultados por grupos oracionales para descubrir la influencia del tipo estructural de la oración en el desempeño agramatical. La diferencia en el número de aciertos entre grupos oracionales fue significativamente distinta del azar para los grupos 1 y 2 ($t(9) = 6.37, p < .005$), 3 y 5 ($t(9) = -3.13, p < .005$), y 4 y 5 ($t(9) = -2.99, p < .005$). La diferencia existente entre los grupos 3 y 4 no es estadísticamente significativa, por lo que el tipo de estructura no afectó el número de aciertos.

En la figura 7.3 se presentan los porcentajes de aciertos de los once participantes por tipo de estructura oracional. Reunidos de esta manera, los únicos tipos de estructura oracional en los que los datos se distinguen significativamente de un patrón azaroso de respuesta son el grupo 1 y el grupo 5 (se usó $\chi^2 = 16.0364, p < .005$); para los demás grupos, los resultados demuestran que las respuestas fueron producto de una selección azarosa, ajena al fenómeno determinista de la comprensión lingüística (Glimcher, 2009).

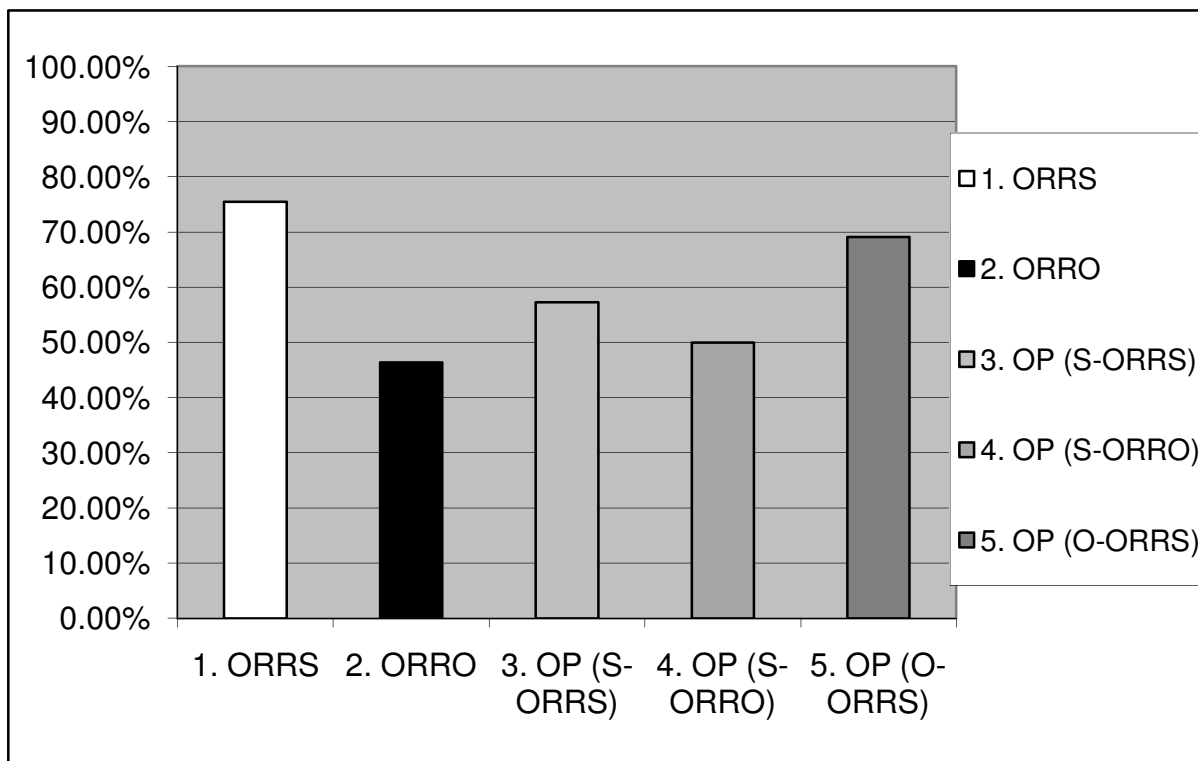


Figura 7.3. Porcentaje de aciertos de todos los participantes por grupo oracional.

7.5.2.3. Interpretación

Los estudios sobre la comprensión agramatical de las OsRsR nunca establecen una correlación específica entre sus resultados empíricos y la función del Rel; se concentran en las posibles estrategias gramaticales perdidas o conservadas (la asignación de roles semánticos según la posición del constituyente en la cadena, la existencia de huellas formalmente invisibles que revelan la estructura profunda de la oración, entre otras) y no reflexionan sobre la relación entre la función neuronal de las palabras que definen formalmente las estructuras investigadas: los Rels como *que* y *al que*. Existen experimentos que descartan la influencia de la pérdida de las huellas de funciones gramaticales en la comprensión agramatical de OsRsR (Friedmann, 2007), estudios que prueban la conservación de la información argumental de la oración y estudios que demuestran que el daño a la memoria operativa localizada en la corteza frontal tampoco es el núcleo de este déficit (Friedmann y Gvion, 2003). Basta con observar los resultados expuestos en la figura 7.1, para comprobar que los participantes no interpretan sistemáticamente la primera FN de la cadena como sujeto de la predicación; si lo hicieran, los resultados del grupo 2 no serían azarosos, sino consistentemente erróneos (esta estrategia pudo haber sido usada por E y M, que sí

presentan este comportamiento). Lo mismo puede argüirse para los resultados de los grupos 3, 4 y 5: si la estrategia de agente en primera posición fuera predominante, el número de aciertos hubiera sido alto en los grupos 3 y 4 y bajo en el grupo 5. Sin embargo, los resultados demuestran que los participantes eligieron azarosamente las imágenes de los grupos 3 y 4, y en 5 un factor que analizaremos abajo favoreció los aciertos. Si la estrategia de interpretación de las oraciones fuera estrictamente lineal, en el grupo 3 los participantes hubieran vinculado el Osub con el predicado de la OP, por encontrarse inmediatamente en la cadena; tampoco fue así: los participantes eligieron azarosamente la FN que interpretaron como S. Usualmente se ha recurrido a la noción de complejidad para explicar el patrón de resultados de esta prueba. Kolk y Weijts (1996) afirman que el patrón observado en los grupos 3, 4 y 5 se debe a que las OsRsR anidadas entre el S y el V son más complejas de procesar debido a la mayor necesidad de recursos de la memoria operativa para conservar la primera FN en la memoria por más tiempo. Esta explicación tampoco incluye la disfunción del Rel en la comprensión agramatical de estas estructuras.

Puesto que en este trabajo se ha planteado una función neuronal para *que* y *al que*, es posible correlacionar el daño a las células que representan esas palabras con el comportamiento de los afásicos de Broca participantes. En otras palabras, puede usarse la información de la gramática neuronal de las OsRsR para dar una explicación coherente a los resultados experimentales.

La disfunción específica del Rel en el agramatismo del español es sugerida por varios datos. En primer lugar, una característica fundamental del agramatismo es la deficiencia en el uso de palabras de función gramatical (de clase cerrada); además, la ausencia sistemática de estas palabras en la producción agramática de hispanohablantes es un hecho sistemáticamente observado (Abusamra *et al.*, 2004). En segundo lugar, el experimentador pudo comprobar este hecho de dos formas; al escuchar en varias ocasiones a algunos de los participantes leer textos en voz alta, percibió (de manera recurrente pero no documentada sistemáticamente) que al leer la palabra *que* incurrían en más parafasias que con palabras de función referencial; en ocasiones, al leer esa palabra pronunciaban un Art o Prep, lo cual sugiere que el daño a las regiones corticales donde se almacenan las palabras de función gramatical produce estas sustituciones. Por último, al aplicar la prueba a una persona con afasia de tipo anómico (no incluida entre los participantes), ella refirió no comprender específicamente una palabra que estaba en todas las oraciones escuchadas pero que no podía repetir. Cuando el experimentador le sugirió la forma “que” ella

repitió “¿tiene?”, y luego afirmó que no la entendía. Como se refirió en §3.2.3, las palabras de función gramatical se afectan en cualquier afasia, y esta anécdota apoya ese planteamiento.

Una vez aceptada la afectación de las redes neuronales asociadas con el Rel en la afasia de Broca como parte fundamental del cuadro agramatical, puede usarse su disfunción como marco explicativo de los resultados de §7.5.2.2. La disfunción del Rel en una ORR tiene la consecuencia directa de que el Vsub no es procesado como tal porque no hay detectores de secuencia que lo subordinen. Además, esta falta de conexión entre el Rel y el Vsub impide que el verbo se relacione argumentalmente con el NN de la construcción. En los resultados de los grupos 1 y 2 se observan las consecuencias de esto. La interpretación de las OsRsRS y de las OsRsRO está determinada por el azar, ya que el participante carece de la información gramatical suficiente para privilegiar una opción de subordinación. El hecho de que los aciertos en las OsRsRS se encuentren por arriba del azar puede deberse a que la secuencia VO es la opción básica del español y que eso les ayuda (aunque no en todas las ocasiones) a elegir la imagen correcta, sin que esto signifique que comprenden la ORR.

La disfunción del Rel provoca que la ORR no enriquezca semánticamente al NN lo suficiente para que pueda actualizarse como función gramatical de la OP. Por este motivo, la FN de S en las oraciones de los grupos 3 y 4 no prepara la aparición del V de la OP, y los participantes no logran establecer el vínculo entre ellos. Esto se observa en los resultados azarosos en estos grupos.

Los datos presentados arriba fundamentan la hipótesis de que los pacientes con afasia de Broca han perdido, debido principalmente al daño celular de los detectores de secuencia asociados con el Rel, la capacidad de interpretar una ORR. Por ese motivo, el factor que produce el número alto de aciertos en las oraciones del grupo 5 está aún por señalarse. Si el factor determinante en este patrón de resultados hubiera sido la contigüidad entre el NN y el predicado, los resultados en el grupo 3 hubieran sido consistentemente erróneos, no azarosos. Por lo tanto, el único factor restante no neutralizado en la investigación fue la entonación natural de las oraciones. Como se vio en §3.1.3, la prosodia se procesa en regiones diversas, principalmente en el hemisferio derecho. En la afasia de Broca este hemisferio permanece intacto, y la prosodia, fuente relevante de información gramatical en la comunicación oral (Steinhauer *et al.*, 1999), reúne en una unidad de entonación (equivalente a la frase sintáctica) al NN y la ORR en el grupo 5. Al contrario, en los grupos 3 y 4, los dos potenciales Ss de la OP se encuentran en la misma FN, por lo que la prosodia no es una fuente confiable de información sobre la interpretación correcta. Una vez más

conviene repetir que no hay estrategias definitivas en la comprensión agramatical: la prosodia y la fuerte probabilidad de que la FN pospuesta a un V sea su O, son sólo los factores que incrementan el número de aciertos en una prueba de comprensión como la que aquí se presenta. Hay numerosos experimentos que comprueban que los rasgos prosódicos son los primeros componentes de la lengua adquiridos por los niños (incluso en el periodo prenatal) (Deutsch, 2010), por lo que puede inferirse que la información prosódica es resistente debido a su temprana adquisición, poca especificidad y escasa complejidad. La información prosódica y gramatical conservada o readquirida tras una lesión cerebral puede ser suficiente para proporcionar al participante resultados óptimos (como en el caso de L y J2), sin que esto signifique que son capaces de comprender las OsRsR.

En síntesis, al perderse los detectores de secuencia asociados con el Rel, cuya función se localiza generalmente en la corteza frontal inferior izquierda, la gramática neuronal de las OsRsR queda impedida por completo. Este hecho es sustentado por la investigación empírica del español aquí presentada y por las pruebas de otras lenguas con las que coincide.

8. Conclusiones

8.1. Síntesis del método de la gramática neuronal

El planteamiento de la gramática neuronal se basa en la aplicación de un modelo computacional de procesamiento lingüístico que imita el comportamiento de las redes neuronales en el cerebro. A partir de los principios neurológicos generales de acción de las redes neuronales, este modelo deduce la forma en que las redes de palabra y detectores de secuencia se forman e interactúan para constituir un sistema de comunicación fono-articulatoria que incrementa la adaptación del individuo a la vida social humana. Para conocer la arquitectura específica de la gramática de una lengua se necesita averiguar cuáles son los datos disponibles para el hablante durante la adquisición del lenguaje y a lo largo de la vida social. Con base en esos datos, se puede incluir una palabra dentro de una categoría que refleje los rasgos formales, semánticos y funcionales que comparte con otras palabras. Después, se observa en el análisis lingüístico cuáles son los contextos regulares de las categorías y, con base en esos datos empíricos, se inducen los detectores de secuencia asociados con cada palabra. Por último, se simula la activación de las redes neuronales activadas por una oración percibida para observar si se logra el estado neuronal correlacionado con el fenómeno subjetivo de la comprensión: la reverberación simultánea.

8.2. Recapitulación de la gramática neuronal de las oraciones restrictivas de relativo

La diferencia específica del circuito de gramática neuronal de las OsRsR reside en la conectividad y función de los detectores de secuencia asociados con una palabra de la cadena. La conveniencia neurolingüística de poseer una palabra funcional (=gramatical, no referencial, de clase cerrada) especializada en activar esos detectores de secuencia es sugerida por la tendencia tipológica universal (señalada en §5.4) a que, independientemente de la estrategia de representación del NN dentro de la ORR, se formalice un segmento (palabra o afijo oracional) dedicado específicamente a relativizar la proposición que acompaña. La función neuronal de esta palabra es facilitar y disminuir la activación de la red del verbo que acompaña por medio del fenómeno citológico de la preparación (*priming*; ver §2.1.3, I y §4.1.1, III); el patrón específico de activación de los verbos preparados por este tipo de palabra se clasifica durante la adquisición del lenguaje como una función informativa no asertiva: V_{sub} como núcleo de una proposición modificadora del referente del NN. El vínculo entre esta proposición y el NN puede codificarse

por medio de diversas estrategias de relativización (§5.4), y en las oraciones del español analizadas en §6 lo hace por medio del pronombre relativo, palabra (o complejo gramatical) asociada con una cadena de detectores de secuencia que la vinculan al NN (SustC (f)) y al Vsub; uno de estos detectores de secuencia corresponde a la función gramatical que el NN cumple en la ORR. La simulación de la actividad de un circuito basado en estas condiciones manifiesta cualidades directamente observables en el patrón prosódico de la estructura (§5.5d), y en la complejidad diferencial observable con métodos de imagen cerebral (§7.2) y cuantificable en experimentos psicolingüísticos (§7.3). La localización propuesta para los mecanismos de gramática neuronal de las OsRsR (corteza inferior frontal izquierda) es sustentada por la topografía funcional de la corteza cerebral (§3.1.3), los datos específicos de imagen cerebral del procesamiento de estas oraciones (§7.2) y los datos derivados de la afasia de Broca, producida por una lesión con centro en esta zona (§3.2 y §7.4). El modelo de gramática neuronal predice que, en ausencia de los detectores de secuencia asociados con el correcto procesamiento del pronombre relativo en español, la gramática de las OsRsR queda totalmente impedida; en §7.5 se confirma esta hipótesis y se sugiere que las estrategias de comprensión parcialmente preservadas en la comprensión agramatical dependen del orden básico de constituyentes funcionales y de la información prosódica.

Aunque es imposible saber en qué momento de la evolución del lenguaje surgió la relación entre una estructura específica de ORR y la gramática neuronal descrita, las OsRsR parecen ser un componente universal del lenguaje por dos motivos: 1) Como vimos en §5.3, una ORR puede gramaticalizarse en un pidgin de pocas generaciones, por lo que se confirma la utilidad comunicativa y la facilidad de codificación neuronal de dicha estructura; 2) las OsRsR existen en lenguas de todas las familias lingüísticas del mundo.

La gramática neuronal es empíricamente adecuada como modelo formal del procesamiento cerebral del lenguaje debido a que hay numerosas pruebas que lo constituyen como un sucedáneo aceptable (§1.3) de este procesamiento (Pulvermüller, 2002: §13). La comprobación o refutación de esta propuesta de gramática neuronal son actualmente posibles gracias a una medición precisa de las diferencias cuantitativas y cualitativas (intensidad y localización) de activación cortical directamente asociada con la entrada de un verbo principal y un verbo precedido por una palabra subordinante; en el futuro, la observación directa del patrón de actividad asociada con palabras

subordinantes como *que*, *that* o *izay* (del malgache), determinará la adecuación del modelo a la realidad. Estas características confieren científicidad al planteamiento.

8.3. Las oraciones restrictivas de relativo y el problema de la recursividad

La recursividad es la cualidad formal (susceptible de simbolización matemática) que define a una estructura que incluye partes estructuralmente iguales o semejantes a sí misma. Esta propiedad se encuentra en muchos ámbitos de investigación y el ejemplo más frecuentemente usado para ilustrarla en el lenguaje son las OsRsR (Hofstadter, 1979/1999: 130-134). Estas oraciones incluyen partes (FsNs) formalmente iguales a la estructura (FN) de la que son parte; como oraciones, las OsRsR son estructuralmente semejantes a la estructura que las incluye: las oraciones complejas (OsPs).

El problema de la recursividad es interesante porque se ha postulado que es una propiedad exclusiva del lenguaje humano con respecto a los demás sistemas de comunicación animal (Hauser *et al*, 2002). La recursividad se interpretó en la lingüística generativa (Chomsky, 1965/1975, 1968, etc.) como un componente fundamental de la gramática universal que no puede construirse con base en la experiencia lingüística del niño durante la adquisición de su lengua. Sin dar importancia a la estéril discusión entre innatistas y constructivistas, se reconoce que los niños sólo están expuestos a expresiones lingüísticas concretas y que la estructura abstracta de la lengua es adquirida con base en la interacción entre estas expresiones y el individuo (Tomasello, 2007: 187). La forma de las expresiones concretas interpretadas como recursivas es un producto normal de la gramaticalización de diversas estructuras lingüísticas (Heine y Kuteva, 2007: §6), una de las cuales está ejemplificada en §5.3. Por lo tanto, el problema que resta por resolver es: ¿cómo logra el cerebro procesar las estructuras recursivas del lenguaje?

Hauser *et al*. (2002) propusieron que la facultad específica del lenguaje estaba específicamente relacionada con la recursividad manifiesta en el anidamiento de unas frases dentro de otras, las cuales pueden crear regularidades estadísticas separadas por un número arbitrario de segmentos (constituyentes discontinuos en términos de Hockett 1958/1966: §17.6). Ahí se señaló que esta propiedad carecía de analogías en otros sistemas de comunicación, de ahí la especificidad de esta facultad. Tecumseh Fitch y Hauser (2004) presentan los resultados de un ingenioso experimento donde se probó (con cadenas estructuradas de sílabas), que cierta especie de monos, a diferencia de los humanos, sólo puede procesar estructuras continuas (gramáticas de

estados finitos) en las que se codifican sólo propiedades de transición inmediata, y no estructuras discontinuas (gramáticas de estructura de frase) en las que se requiere jerarquización procesal. Este experimento es una fuerte evidencia de que existe algo específico y exclusivo del cerebro humano que permite este tipo de organización informacional. En un artículo posterior (Tecumseh Fitch *et al.*, 2005), los autores defendieron que la recursividad era una propiedad específica del dominio cognitivo lingüístico, proposición refutada con numerosos ejemplos en otros ámbitos de la cognición humana por Jackendoff y Pinker (2005).

Puesto que la recursividad es común en el procesamiento cerebral de la información, queda por describir cómo las neuronas logran esta propiedad. La respuesta parece encontrarse en la geometría fractal de las redes independientes de escala. La cualidad *fractal* (del latín *fractus*= “roto”) fue definida por Benoît Mandelbrot para referirse a la descripción de patrones geométricos ásperos (rotos) que se repiten a diferentes escalas y que revelan versiones sucesivas de sí mismos (Taleb, 2008: 350-353); es decir, los patrones fractales son recursivos. Las gramáticas formales recursivas (basadas en iteraciones sucesivas de operaciones simples) pueden originar redes independientes de escala, cuya distribución específica (ley de potencia) es propia de todos los sistemas que se auto-organizan (las estructuras vegetales son ejemplos notables de esta organización: las hojas tienen divisiones semejantes a las ramas y las ramas se parecen a los árboles) (Reynoso, 2008). Las propiedades de las redes neuronales de la corteza cerebral humana (ejemplificadas en la figura 4.1) revelan atributos propios de redes independientes de escala con límites reducidos derivados de la capacidad conectiva (cantidad de sinapsis) de cada nodo (neurona o grupo neuronal).

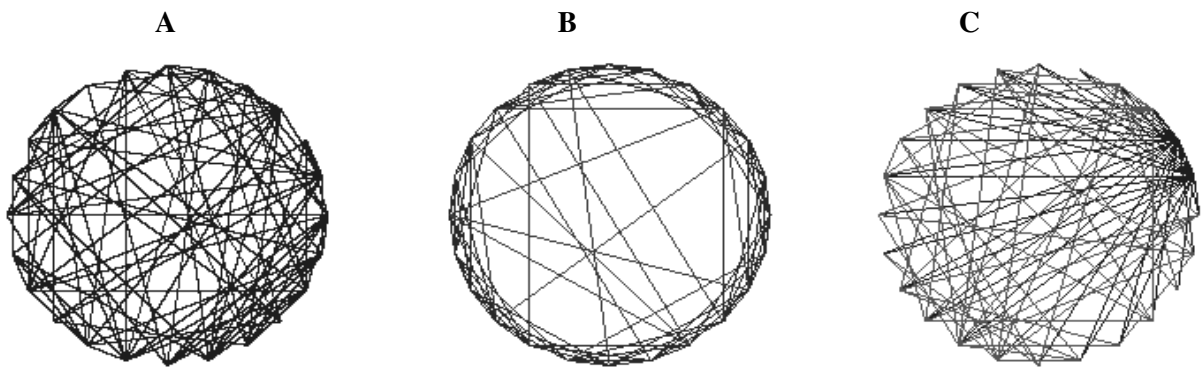


Figura 8.1. Estructura de tres tipos de redes de 24 nodos y 86 conexiones: redes aleatorias (A), redes de mundo pequeño (b) y redes independientes de escala (c). (Sporns *et al.*, 2004: 419.)

En la figura 8.1 se encuentran tres tipos de redes constituidas por los mismos elementos (24 nodos y 86 conexiones) de complejidad diversa. Las redes aleatorias son aquellas cuyos nodos

están unidos por el mismo número de conexiones cada una; estas redes son escasamente informativas e inútiles en la corteza cerebral, porque las conexiones entre neuronas son seleccionadas para adaptarse a las regularidades estadísticas del ambiente (en nuestro caso, las regularidades de la lengua percibida por el individuo) (Edelman y Tononi, 2000: 138). Las redes de mundo pequeño se caracterizan por la predominancia de conexiones cortas, tal como las neuronas tienden a conectarse en la corteza (§2.1.3), y en las redes independientes de escala la mayoría de las neuronas tienen pocas conexiones y algunas neuronas tienen muchísimas. Sin embargo, las redes de mundo pequeño tienen la propiedad de facilitar la activación profusa, rasgo energéticamente inconveniente en el cerebro humano (§2. 2), mientras que las redes independientes de escala dependen de la actividad frecuente de unas pocas neuronas en relación con alguna de las neuronas escasamente conectadas, tal como las neuronas modeladas en la gramática neuronal (§4). En la figura 8.1C observamos el equivalente abstracto de los detectores de secuencia en el extremo derecho, mientras que el resto de los nodos alrededor de la red equivalen a redes de palabra uniformemente distribuidas. Imaginemos lo que le sucede a una red como esta si pierde los nodos más ricamente conectados: el resto de los componentes de la red quedan aislados, incapaces de estimularse unos a otros y de formar patrones complejos de actividad, tal como sucede en la afasia de Broca (todos los significados se conservan, pero falta la fluidez, la estructura sincrónica, la complejidad expresiva).

La información anterior es suficiente para proponer la siguiente conclusión: los rasgos de la gramática neuronal desarrollada en este trabajo dan cuenta de la realización material de una estructura lingüística prototípicamente recursiva (la ORR) al proponer como base material de su procesamiento una complejísima red independiente de escala, localizada en la corteza cerebral y basada precisamente en un principio recursivo de organización. Las redes categoriales de la lengua deben poseer cualidades escalares para codificar diferencias cuantitativas de activación entre frases nominales y verbales de la oración principal y la oración subordinada.

La funcionalidad plena de una red de este tipo depende de un complejo equilibrio de patrones conectivos bien diferenciados, lo cual se logra por medio de un proceso largo de selección neuronal (Edelman y Tononi, 2000: 71). Esto parece manifestarse en una sutil correlación entre madurez cortical y desempeño lingüístico: la edad a la que se alcanza la madurez cortical del AB45 del hemisferio izquierdo, parte del área de Broca especializada en procesamiento semántico (ver §3.1.3) , es a los cinco años, lo cual coincide con la temprana maduración de los

procesos semánticos en el niño; por otro lado, la madurez cortical del AB44, parte del área de Broca más relacionada con la sintaxis, se alcanza a los once años, misma edad a la que se cumple la madurez en diversos rasgos de la sintaxis (Amunts y Zilles, 2006: 26); en niños hablantes de español se ha comprobado que es justamente a esta edad cuando comienza a desaparecer la tendencia a sólo usar nexos coordinantes, y a los trece años las oraciones subordinadas ya son de frecuencia alta (López García, 1999: §54.3). Estas notables coincidencias son un signo de que la producción de OsRsR depende de propiedades neuronales específicas de la corteza inferior frontal izquierda, y sólo un modelo de gramática neuronal proporciona las herramientas teóricas para hacer hipótesis fundamentadas sobre la naturaleza de estas propiedades: acaso la madurez del AB44 permite la actividad simultánea y claramente diferenciada de dos o más detectores de secuencia; acaso la existencia de jerarquización estructural depende de diferencias sutiles de actividad neuronal reconocidas por detectores de secuencia profusamente conectados, que alcanzan su forma productiva gracias a un largo proceso de selección neuronal durante los años de aprendizaje lingüístico. La red básica de neuronas correspondiente a sílabas, palabras, frases y oraciones acaso coincida en sus rasgos estructurales; esto haría del lenguaje un complejo sistema recursivo de codificación eficiente (tanto energética como adaptativamente) de la información cognitiva del individuo y sus congéneres.

La exclusividad humana de las cualidades neuronales necesarias para procesar información estructurada de manera recursiva es un problema inconcluso; todavía quedan muchas opciones experimentales y especies con grandes cerebros (mamíferos marinos, sobretudo) que podrían demostrar lo contrario. Sea cual sea la realidad, la capacidad recursiva humana parece tener un fundamento principalmente cuantitativo: las capacidades cognitivas de nuestra especie podrían ser una propiedad emergente del enorme tamaño de nuestra corteza frontal, capaz de soportar procesamientos complejísimos como los implicados en la comprensión de una ORRO. Sin embargo, el número de neuronas disponibles en nuestra corteza es limitado, y nuestra capacidad de procesamiento también; ningún hablante es capaz de comprender un enunciado con más de cuatro oraciones de relativo anidadas:

- (1) El señor al que el payaso que abrazó al niño al que la señora que tiene lentes inyectó empujó persiguió al abuelo.

El ejemplo (1) es formalmente posible pero neurológicamente incomprensible. Al enfrentarse a (1), el lector sentirá un sutil desconcierto posiblemente derivado del fracaso de los detectores de

secuencia asociados con los pronombres relativos para preparar simultáneamente la entrada de tres verbos consecutivos; la ignición no preparada de esos verbos, acompañada por la falta de reverberación satisfecha de las frases nominales que deberían funcionar como sus sujetos, produce un estado de completo desorden procesal manifiesto en una falta de comprensión. Tal vez esta sea la sensación de los afásicos de Broca al escuchar enunciados mucho menos complejos que este. En la medida que expliquemos mejor la naturaleza específica del déficit asociado con la afasia de Broca, podrán diseñarse mejores terapias lingüísticas y, en un futuro acaso lejano, prótesis computacionales que les permitan recuperar la capacidad gramatical perdida.

Con una conclusión rica en adverbios que confiesan desconocimiento (*tal vez, acaso, posiblemente*), termina este trabajo; los numerosos datos empíricos vinculados deductiva e inductivamente con el modelo de gramática neuronal usado aquí sugieren que es un reflejo aceptable de una realidad complejísima e inaccesible a nuestros sentidos. Sirva este trabajo, en fin, como una aportación diminuta y preliminar a la emocionante empresa de comprender cada vez mejor qué significa ser humanos.

Referencias bibliográficas

- ABUSAMRA, Valeria., Yamila Sevilla y Virginia Jaichenco. (2004). "Patrones de déficit en la producción agramática", *Revista Argentina de Neuropsicología*, 2, pp. 33-43.
- AGUADO, Gerardo. (1995). *El desarrollo del lenguaje de 0 a 3 años. Bases para un diseño curricular en la Educación Infantil*, Madrid: Ciencias de la educación preescolar y especial.
- AIBAR, Eduard. (2002). "La participación del público en las decisiones tecnológicas", E. Aibar y M. A. Quintanilla, *Cultura tecnológica: estudios de ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona: ICE, pp. 167-190.
- ALLMAN, J. M. (2000). *Evolving brains*, Nueva York: Scientific American Library.
- ALONSO, Amado, y Pedro HENRÍQUEZ UREÑA. (1948/1969). *Gramática castellana*, 19ª ed., Buenos Aires: Losada.
- AMEDI, Amir., Noa Raz, Pazit Pianka, Rafael Malach y Ehud Zohary. (2003). "Early `visual` cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind", *Nature NSc.*, 6, núm. 7, pp. 758-766.
- AMUNTS, Katrin., ZILLES, Karl. (2006). "A Multimodal Analysis of Structure and Function in Broca's Region", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 17-30.
- ARGYROPOULOS, G. P. (2008). "The subcortical foundations of grammaticalization", Andrew M. Smith, Kenny Smith y Ramon Ferrer i Cancho (eds.), *The Evolution of Language: Proceedings of the 7th International Conference on the Evolution of Language*, Singapur: World Scientific Press, pp. 10-17.
- BATES, Elizabeth., Angela Friederici, y Beverly Wulfeck. (1987). "Comprehension in Aphasia: A Cross-Linguistic Study", *Brain and Language*, 32, pp. 19-67.
- BENSON, David Frank., y Alfredo ARDILA. (1996). *Aphasia: a clinical perspective*, Nueva York: Oxford University Press.
- BERETTA, Alan., Cristina Schmitt, John Halliwell, Alan Munn, Fernando Cuetos y Sujung Kim. (2001). "The effects of scrambling in spanish and korean agrammatic interpretation: why linear models fail and structural models survive", *Brain and Language*, 79, pp. 407- 425.
- BHAT, D. N. S. (2004), *Pronouns*, Oxford: Oxford University Press.
- BLOOMFIELD, Leonard. (1933/1964). *Language*, Chicago: The University of Chicago Press.
- BOGARD, Sergio. (2009). "La frase nominal con núcleo sustantivo común", Concepción Company Company (dir.), *Sintaxis histórica de la lengua española. Segunda parte: La frase nominal*, V.1, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. pp. 57-268.
- BROCA, Paul. (1861/2006). "Comments regarding the seat of the faculty of spoken language, followed by an observation of aphemia(loss of speech)", Simran Karir (trad.), Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp.291-304.
- BRODMANN, Korbinian. (1908/2006). "Contributions to a Histological Localization of the Cerebral Cortex-VI. Communication: The Division of the Human Cortex", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 334- 336.
- BRUCART, José María. (1999). "La estructura del sintagma nominal: las oraciones de relativo", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (dirs.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 1, Madrid: Espasa Calpe, pp. 395-522.
- BURKHARDT, Petra., María Mercedes Piñango y Keng Wong. (2003). "The role of the anterior left hemisphere in real-time sentence comprehension: Evidence from split intransitivity", *Brain and Language*, 86, pp. 9-22.
- CALVIN, William H., y Derek BICKERTON . (2000). *Lingua Ex Machina. Reconciling Darwin and Chomsky with the Human Brain*, Cambridge, MS - Londres : The MIT Press, Bradford.
- CAPLAN, David. (2000). "Lesion location and aphasic syndrome do not tell us whether a patient will have an isolated deficit affecting the coindexation of traces", *Behavioral and Brain Sciences*, 23, pp. 25-27.

- , Catherine Baker y Francois Dehaut. (1985). "Syntactic determinants of sentence comprehension in aphasia", *Cognition*, 21, núm. 2, pp. 117-175.
- , Nathaniel Alpert, Gloria Waters y Anthony Olivieri. (2000). "Activation of Broca's area by syntactic processing under conditions of concurrent articulation", *Human Brain Mapping*, 9, pp. 65-71.
- , Sujith Vijayan, Gina Kuperberg, Caroline West, Gloria Waters, Doug Greve, y Anders M. Dale. (2001). "Vascular Responses to Syntactic Processing: Event-Related fMRI Study of Relative Clauses", *Human Brain Mapping*, 15, pp. 26-38.
- CARAMAZZA, Alfonso., y Edgar B. ZURIF. (1976). "Dissociation of Algorithmic and Heuristic Processes in Language Comprehension: Evidence from Aphasia", *Brain and Language*, 3, pp. 572-582.
- , Rita Capasso, Erminio Capitani, Gabriele Miceli. (2005). "Patterns of comprehension performance in agrammatic Broca's aphasia: A test of the Trace Deletion Hypothesis", *Brain and Language*, 94, pp. 43- 53.
- CAVALLI-SFORZA, Luca., y Francesco Cavalli-Sforza. (1994). *Quiénes somos. Historia de la diversidad humana*, Juan Vivanco (trad.), Barcelona: Crítica.
- CHANGEUX, Jean-Pierre. (2005). *El hombre de verdad*, Virginia Aguirre (trad.), México: Fondo de Cultura Económica.
- , y Stanislav Dehaene. (1989). "Neuronal Models of cognitive functions", *Cognition*, 33, pp. 63-109.
- CHOMSKY, Noam. (1965/1975). *Aspectos de la teoría de la sintaxis*, C. P. Otero (trad.), Madrid: Aguilar.
- (1968). *Language and Mind*, Nueva York: Harcourt, Brace & World.
- COMPANY Company, Concepción. (1991). "La extensión del artículo en el español medieval", *Romance Philology*, 44, núm. 4, pp. 402-424.
- (2003). "La gramaticalización en la historia del español", *Medievalia*, 35, pp. 3-61.
- COMRIE, Bernard. (1989). *Universales del lenguaje y tipología lingüística. Sintaxis y morfología*, Augusta Ayuso (trad.), Madrid: Gredos.
- (2004). "Tipología sintáctica: ¿hasta qué punto son exóticas las oraciones de relativo de las lenguas de tipo europeo?", Ricardo Mairal y Juana Gil (eds.), *En torno a los universales lingüísticos*, Javier Ortiz (trad.), Madrid: Cambridge University Press, Akal.
- CORBALIS, MICHAEL C. (2009). "Mirror neurons and the evolution of language", *Brain and Language*, doi:10.1016/j.bandl.2009.02.002
- CORINA, David. (1998). "The processing of sign language. Evidence from aphasia", Brigitte Stemer, y Harry A. Whitaker (eds.). *Handbook of neurolinguistics*, San Diego: Academic Press, pp. 313-329.
- CRISTOFARO, Sonia. (2005). *Subordination*, Oxford: Oxford University Press.
- CRUTTENDEN, Alan. (1997). *Intonation*, 2ª ed., Cambridge: Cambridge University Press.
- DEL RÍO, David, y Ramón LÓPEZ-HIGES. (2006). "Efectos de la memoria operativa y de una carga de procesamiento en la comprensión de oraciones", *Psicológica*, 27, pp. 79-95.
- DEMONTÉ, Violeta. (1999). "El adjetivo: clases y usos. La posición del adjetivo en el sintagma nominal.", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (dirs.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 1, Madrid: Espasa Calpe, pp.129- 215.
- DEUTSCH, Diana. (2010). "Speaking in Tones", *Mind (Scientific American)*, 21, núm. 3, pp. 36-43.
- DÍAZ, José Luis. (2005). "Modelo científico: conceptos y usos ", Alfredo López Austin (coord.), *El modelo en la ciencia y la cultura*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Siglo XXI, pp. 11-28.
- DICK, Frederic., y Elizabeth BATES. (2000). "Grodzinsky's latest stand –or, just how specific are « lesion specific » deficits", *Behavioral and Brain Sciences*, 23, p. 29.
- DIESSEL, Holger, y Michael TOMASELLO. (2000). "The development of relative clauses in spontaneous child speech", *Cognitive Linguistics*, 11, núms. 1/2, pp. 131-151.

- DRONKERS, Nina F. (2000). "The gratuitous relationship between Broca's aphasia and Broca's area", *Behavioral and Brain Sciences*, 23, pp. 30-31.
- EDELMAN, Gerald M. (1989). *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*, Nueva York: Basic Books.
- , y Giulio Tononi. (2000). *A Universe of Consciousness. How matter becomes imagination*, Nueva York: Basic Books.
- EDIN, Benoni B. (2008). "Assigning biological functions: making sense of causal chains", *Synthese*, 161, pp. 203-218.
- EDWARDS, Susan., y David LIGHTFOOT. (2000). "Intact grammars but intermittent access", *Behavioral and Brain Sciences*, 23, pp. 31-32.
- EGUREN, Luis J. (1999). "Pronombres y adverbios demostrativos. Las relaciones deícticas", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (dirs.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 1, Madrid: Espasa Calpe, pp. 929-972.
- EHRlich, Paul R. (2005). *Naturalezas humanas. Genes, culturas y la perspectiva humana*, Francisco Rebollo (trad.), México: Fondo de Cultura Económica.
- ELVIRA, Javier. (2009). "Las oraciones de relativo I. El nexa *que*", Concepción Company Company (dir.), *Sintaxis histórica de la lengua española. Segunda parte: La frase nominal*, V.2., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. pp. 1411- 1475.
- FADIGA, Luciano, Laila Craighero y Alice Roy. (2006). "Broca's región: a speech area?", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 137-152.
- FINK, Gereon R., Zina M. Manjaly, Klaas E. Stephan, Jennifer M. Gurd, Karl Zilles, Katrin Amunts y John C. Marshall. (2006). "A role for Broca's area beyond language processing: evidence from neuropsychology and fMRI", en Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 254-268.
- FISHER, Cynthia. (2002). "The role of abstract syntactic knowledge in language acquisition: A reply to Tomasello 2000", *Cognition*, 82, pp. 259 – 278.
- FOLEY, William A., y R. D. Van Valin Jr. (1984). *Functional syntax and universal grammar*. Cambridge: Cambridge University Press.
- FOUNDAS, Anne L., Ch. M. Leonard, R.L. Gilmore, E. B. Fenell, y K. M. Heilman. (1996). "Pars triangularis asymmetry and language dominance", *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A.*, 93, núms. 719-722.
- FOX, Barbara A. (1987). "The Noun Phrase Accessibility Hierarchy Reinterpreted: Subject Primacy or the Absolute Hypothesis?", *Language*, 63, núm. 4, pp. 856-870.
- , y Sandra A. Thompson. (1990). "A Discourse Explanation of the Grammar of Relative Clauses in English Conversation", *Language*, 66, núm. 2, pp. 297-316.
- FRÉGNAC, Y. (2006). "Group Report : Neocortical Microcircuits. UPs and DOWNs in Cortical Computation", S. Grillner y A. M. Gabriel, *Microcircuits : The Interface between neurons and global brain function*, Cambridge, MS : The MIT Press, pp. 393-433.
- FRIEDERICI, Angela D., y Paul Gorrell. (1998). "Structural Prominence and Agrammatic Theta-Role Assignment: A Reconsideration of Linear Strategies", *Brain and Language*, 65, pp. 253-275.
- (2006). "The neural basis of sentence processing: inferior frontal and temporal contributions", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 196-217.
- FRIEDMANN, Naama. (2006). "Speech Production in Broca's Agrammatic Aphasia: Syntactic Tree Pruning", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.), *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 63-82.
- (2007). "Traceless relatives: Agrammatic comprehension of relative clauses with resumptive pronouns.", *Journal of Neurolinguistics*, doi:10.1016/j.jneuroling.2006.10.005

- , y Aviah Gvion. (2003). "Sentence comprehension and working memory limitation in aphasia: A dissociation between semantic-syntactic and phonological reactivation", *Brain and Language*, 86, pp. 23-39.
- GESCHWIND, Norman. (1979/2006). "The Organization of Language and the Brain", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.), *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 376-383.
- GIBSON, Edward. (2000). "The Dependency Locality Theory: A Distance-Based Theory of Linguistic Complexity", Alec Morantz, Yasushi Miyashita, y Wayne O'Neil (eds.), *Image, Language, Brain. Papers from the First Mind Articulation Project Symposium*, cap. 5, Cambridge MS: MIT Press, pp. 95-126.
- GILI GAYA, Samuel. (1943/2003) *Curso superior de sintaxis española*, 15ª ed., Barcelona: Vox.
- GIRÓN ALCONCHEL, José Luis. (2009). "Las oraciones de relativo II. Evolución del relativo compuesto *el que, la que, lo que*", Concepción Company Company (dir.), *Sintaxis histórica de la lengua española. Segunda parte: La frase nominal*, V.2., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. pp. 1477- 1590.
- GIVÓN, Talmy. (2001). *Syntax: An Introduction*, 2 vols. , Amsterdam y Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- (2005). *Context as other minds: The Pragmatics of Sociality, Cognition and Communication*, Amsterdam y Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- (2008). "The ontogeny of relative clauses: how children learn to negotiate complex reference", <http://www.ruf.rice.edu/~eivs/sympo/papers/childrel08.pdf>
- GLASSER, Matthew F., y James K. Rilling. (2008). "DTI tractography of the human brain's language pathways", *Cerebral Cortex*, 18, pp. 2471-2482.
- GLIMCHER, Paul W. (2009). *Decisiones, incertidumbre y el cerebro. La ciencia de la neuroeconomía*. Roberto Elier y Alfredo Ocampo (trads.), México: Fondo de Cultura Económica.
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (2000). "The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive", A. C. Roberts, T. W. Robbins, L. Weiskrantz (eds.), *The Prefrontal Cortex. Executive and Cognitive Functions*. Oxford: Oxford University Press, pp. 87-102.
- GONZÁLEZ ORTUÑO, Beatriz. (2003). *Sintaxis y semántica en afásicos hispanohablantes: un estudio electrofisiológico*. Tesis de Maestría. México: UNAM, Facultad de Psicología.
- , y H. VENEGAS Rojas. (1995). *Adaptación del "Western Aphasia Battery" al español de México como un complemento auxiliar en el diagnóstico de la Afasia*, tesis de licenciatura, México: Colegio Superior de Neurolingüística y Psicopedagogía.
- GREENBERG, Joseph H. (1966). "Some universals of grammar with particular reference to the order of meaningful elements", Joseph H. Greenberg (ed.), *Universals of language*, 2ª ed., Cambridge, MS: The MIT Press, pp. 73-113.
- GRODZINSKY, Yosef. (2000). "The neurology of syntax: language use without Broca's area", *Behavioral and Brain Sciences*, 23, pp. 1-71.
- (2006). "A Blueprint for a Brain Map of Syntax", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 83-107.
- HAGOORT, Peter. (2006). "On Broca, Brain, and Binding", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 242- 253.
- , y Jos van Berkun. (2007). "Beyond the sentence given", *Philosophical Transactions of The Royal Society. Biological Sciences*, 362, pp. 801- 811.
- HAGMANN, P., CAMMOUN, L., GIGANDET, X., MEULI, R., HONEY CJ., et al. (2008) "Mapping the structural core of human cerebral cortex", *PLoS Biology*, 6, núm. 7, pp. 1-15.
- HAIER, Richard J. (2009). "What does a smart brain look like?", *Mind (Scientific American)*, 20, núm. 6, pp. 26-33.
- HAUSER, Marc D., Noam Chomsky, y W. Tecumseh Fitch. (2002). "The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How Did It Evolve?", *Science*, 298, pp. 1569- 1579.

- HAWKINS, John. A. (1999). "Processing Complexity and Filler-Gap Dependencies across Grammars", *Language*, 75, núm. 2, pp. 244-285.
- HEINE, Bernd, y Tania Kuteva. (2007). *The genesis of grammar. A reconstruction*, Oxford: Oxford University Press.
- (2002). *World lexicon of grammaticalization*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HERNANDO CUADRADO, Luis Alberto. (1995). "Sobre categorías y funciones en español", *Revue de Linguistique Romane*, 50. núms. 233-234, pp. 99-116.
- HICKOK, Gregory, y David Poeppel. (2004). "Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language", *Cognition*, 92, pp. 67-99.
- HIRST, Daniel. (2004) "The Phonology and Phonetics of Speech Prosody: Between Acoustics and Interpretation", <http://aune.lpl.univ-aix.fr/~sprog/sp2004/PDF/Hirst.pdf> (17-7-10).
- HOCKETT, Charles. (1958/1966). *A course in modern linguistics*, 10ª reimpr., Nueva York: The MacMillan Company.
- HOEY, Michael. (2005). *Lexical priming: A new theory of words and language*, Londres-Nueva York: Routledge.
- HOFSTADTER, Douglas R. (1979/1999). *Gödel, Escher, Bach : an Eternal Golden Braid*, 20ª ed., Nueva York : Basic Books.
- HOLLAND, John H. (2004). *El orden oculto. De cómo la adaptación crea la complejidad*, Esteban Torres Alexander, México, Fondo de Cultura Económica.
- HOPPER, Paul J. (1998). "Emergent Grammar", Michael Tomasello (ed.), *The New Psychology of Language*, Mahwah, N.J. : Lawrence Erlbaum, pp. 155-175.
- , y Sandra A. Thompson. (1984). "The Discourse Basis for Lexical Categories in Universal Grammar", *Language*, 60, núm. 4, pp. 703-752.
- JACKENDOFF, Ray., y Steven PINKER. (2005). "The nature of the language faculty and its implications for the evolution of language (Reply to Fitch, Hauser, and Chomsky)", *Cognition*, 97, pp. 211-225.
- JENKINS, Lyle. (2000). *Biolinguistics. Exploring the Biology of Language*. Cambridge, RU: Cambridge University Press.
- KEAN, Mary Louise. (1977). "The linguistic interpretation of aphasic syndromes : Agrammatism in Broca's aphasia, an example", *Cognition*, 5, núm. 1, pp. 9-46.
- KEENAN, Edward L., y Bernard COMRIE. (1977). "Noun Phrase Accessibility and Universal Grammar", *Linguistic Inquiry*, 8, núm. 1, pp. 63-99.
- KOLK, Herman, y Marion Weijts. (1996). "Judgments of semantic anomaly in agrammatic patients: argument movement, syntactic complexity, and the use of heuristics", *Brain and Language*, 54, pp. 86- 135.
- LANGACKER, Ronald W. (1987a). *Foundations of cognitive grammar. V.1. Theoretical prerequisites*, Stanford: Stanford University Press.
- (1987b). "Nouns and verbs", *Language*, 67, núm. 1, pp. 53-94.
- LAUGHLIN, Simon B. (2001). "Energy as a constraint on the coding and processing of sensory information", *Current Opinion in Neurbiology*, 11, pp. 475-480.
- , y Terrence J. SEJNOWSKI. (2003). "Communication in Neuronal Networks", *Science*, 301, pp. 1870-1874.
- LEONETTI, Manuel. (1999). "El artículo", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (eds.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 1, Madrid: Espasa Calpe, pp. 787-890.
- LI, Charles N., y THOMPSON, Sandra A. (1975). "Subject and topic. A new typology of language", Charles N. Li (ed.), *Subject and Topic*, Nueva York - San Francisco - Londres: Academic Press, pp. 457-489.
- LICHTHEIM, Ludwig. (1885/2006). "On aphasia", Yosef Grodzinsky y Katrin Amunts (eds.). *Broca's region*. Oxford: Oxford University Press, pp. 318-333.

- LIDZBA, K., M. Wilke, M. Staudt, I. Krägeloh-Man, W. Grodd. (2008). "Reorganization of the cerebro-cerebellar network of language production in patients with congenital left-hemispheric brain lesions", *Brain and Language*, 106-3, pp. 204-210.
- LINDEN, David J. (2007). *The Accidental Mind*. Cambridge, MS, - Londres: Belknap, Harvard University Press.
- LOPE BLANCH, Juan M. (1962). "Sobre la oración gramatical: (en torno al *Curso de Sintaxis* de Gili Gaya)", *Nueva Revista de Filología Hispánica*, 16, núms. 3-4, pp. 416-422.
- (1979). *El concepto de oración en la lingüística española*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- (1986). "Despronominalización de los relativos", Juan M. Lope Blanch, *Estudios de lingüística española*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 119-136.
- LÓPEZ GARCÍA, Ángel. (1999). "Relaciones paratácticas e hipotácticas", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (eds.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 3, Madrid: Espasa Calpe, pp. 3507-3547.
- MANDELBROT, Benoît. (1965). "Information theory and Psycholinguistics", B. Wolman y E. Nagel (comps.), *Scientific Psychology: Principles and Approaches*, Nueva York: Basic Books.
- MARSLEN-WILSON, William., y Lorraine K. Tyler. (2007). "Morphology, language and the brain: the decompositional substrate for language comprehension", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 362, pp.823-836. doi: 10.1098/rstb.2007.2091
- MAASS, W., y H. MARKRAM. (2006). "Theory of the computational function of Microcircuit Dynamics", S. Grillner y A. M. Gabriel, *Microcircuits : The Interface between neurons and global brain function*, Cambridge, MS : The MIT Press, pp. 371-390.
- MAUNER, Gail., Victoria A. Fromkin, y Thomas L. Cornell. (1993). "Comprehension and Acceptability Judgements in Agrammatism: Disruptions in the Syntax of Referential Dependency", *Brain and Language*, 45, pp. 340-370.
- MCGUIGAN, Frank. J. (2005). *Psicología experimental: enfoque metodológico*, 4ª ed., María Luisa Ávalos de Palmeros (trad.), México: Trillas.
- MIESENBOCK, Gero. (2008). "Lighting up the Brain", *Scientific American*, 299, núm. 4, pp. 34-43.
- MORENO DE ALBA, José G. (1992). *Estructura de la lengua española*, México: Trillas.
- MÜLLER, Horst M., Jonathan W. King, Marta Kutas. (1997). "Event-related potentials elicited by spoken relative clauses", *Cognitive Brain Research*, 5, pp. 193-203.
- NADEAU, Stephen E. (2008). "Subcortical Language Mechanisms", en Brigitte Stemer y Harry A. Whitaker (eds.). *Handbook of the neuroscience of language*. London, Amsterdam, Burlington, San Diego: Academic Press, pp. 329-339.
- NEUMEYER, Frederick J. (2003). "Grammar is grammar and usage is usage", *Language*, 79, núm. 4, pp. 682- 707.
- OBLER, Loraine K., y Kris GJERLOW. (2001). *El lenguaje y el cerebro*, Eva Méndez y Pedro Tena (trads.). Madrid: Cambridge University Press.
- ORTÍZ CISCOMANI, Rosa María. (2009). "La creación y generalización del artículo definido", Concepción Company Company (dir.), *Sintaxis histórica de la lengua española. Segunda parte: La frase nominal*, V.1, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. pp. 271- 386.
- PASANTES, Herminia, Jorge Sánchez y Ricardo Tapia. (1991). *Neurobiología celular*. México: Secretaría de Educación Pública, Fondo de Cultura Económica.
- PÉREZ TAMAYO, Ruy. (2005). "Los modelos en las ciencias experimentales", Alfredo López Austin (coord.), *El modelo en la ciencia y la cultura*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Siglo XXI, pp. 54-67.
- PENROSE, Roger. (2002). *La mente nueva del emperador. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física*. 2ª ed, José Javier García Sáenz (trad.), México: Fondo de Cultura Económica.
- PEREIRA Reyes, Yasna. (2007). "Determinación del patrón prosódico de las oraciones ambiguas con adjunción alta de la cláusula de relativo", *Onomázein*, 16, núm. 2, pp. 139-158.

- PETRIDES, Michael. (2000). "Specialized systems for the processing of mnemonic information within the primate frontal cortex", en A. C. Roberts, T. W. Robbins, L. Weiskrantz (eds.), *The Prefrontal Cortex. Executive and Cognitive Functions*. Oxford: Oxford University Press, pp. 103-116.
- PRICE, CATHY J. (2000). "The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging", *Journal of Anatomy*, 197, pp. 335-359.
- PULVERMÜLLER, Friedemann. (1995). "Agrammatism : behavioral description and neurobiological explanation", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, pp. 165-181.
- (2002). *The Neuroscience of Language. On Brain Circuits of Words and Serial Order*, Cambridge : Cambridge University Press.
- (2005). "Brain mechanisms linking language and action", *Nature Neuroscience*, 6, pp. 576-582.
- REALI, Florencia, y Morten H. CHRISTIANSEN. (2007). "Processing of relative clauses is made easier by frequency of occurrence", *Journal of Memory and Language*, 57, pp. 1-23.
- REYNOSO, Carlos. (2008). "herramientas de complejidad y caos para las ciencias sociales ", *Boletín de antropología americana*, 40, pp. 5-20.
- RIVERO, María Luisa. (1991). *Las construcciones de relativo*, Madrid : Taurus.
- ROSENZWEIG, Mark R., Arnold L. Leiman y SS. Marc Breedlove. (2001). *Psicología biológica. Una introducción a la neurociencia conductual, cognitiva y clínica*. Juan Soler (trad). Barcelona: Ariel.
- RUDY, Jerry W. (2008). *The neurobiology of learning and memory*. Sunderland: Sinauer Associates Inc.
- SCHACHTER, Paul. (1973). "Focus and relativization", *Language*, 49, núm 1, pp. 19- 46.
- SCHREIBER, Susanne, Christian K. MACHENS, Andreas V. M. HERZ y Simon B. Laughlin. (2002). "Energy-Efficient Coding with Discrete Stochastic Events", *Neural Computation*, 14, pp. 1323-1346.
- SHAW, Gordon L. (2004). *Keeping Mozart in Mind*. San Diego: Elsevier Academic Press.
- SPORNS, Olaf., Dante R. Chialvo, Marcus Kaiser y Claus C. Hilgetag. (2004). "Organization, development and function of complex brain networks", *Trends in Cognitive Sciences*, 8, núm. 9, pp. 418-425.
- STEINHAUER, Karsten., Kai Alter y Angela D. Friederici. (1999). "Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing", *Nature Neuroscience*, 2, núm. 2, pp. 191-196.
- STEMER, Brigitte, y Harry A. Whitaker (eds.). (1998). *Handbook of neurolinguistics*, San Diego: Academic Press.
- (2008). *Handbook of the neuroscience of language*. San Diego: Academic Press.
- TAKASHIMA, Atsuko., Ingrid L. C. Nieuwenhuis, Ole Jensen, Lucia M. Talamini, Mark Rijpkema y Guillén Fernández. (2009). "Shift from Hippocampal to Neocortical Centered Retrieval Network with Consolidation", *The Journal of Neuroscience*, 29, núm. 32, pp. 10087-10093.
- TALEB, Nassim Nicholas. (2008). *El cisne negro. El impacto de lo altamente improbable*, Roc Filella (trad.), Barcelona: Paidós.
- TECUMSEH FITCH, W. (2009). "Prolegomena to a Future Science of Bilingualism", *Biolinguistics*, 3, pp.283-320.
- , y Marc D. HAUSER. (2004). "Computational constraints on syntactic processing in a nonhuman primate", *Science*, 303, pp. 377-380.
- , Marc D. Hauser, y Noam Chomsky. (2005) "The evolution of the language faculty: clarifications and implications", *Cognition*, 97, pp. 179-210.
- TESNIÈRE, L. (1959). *Eléments de syntaxe structurale*. París: Klincksieck.
- THIBAUT, Paul J. (2004). *Brain, mind and the signifying body (An ecosocial semiotic theory)*, Londres : Continuum.
- THOM, René. (1990). *Esbozo de una semiofísica. Física aristotélica y teoría de las catástrofes*. Alberto L. Bixio (trad.), Barcelona : Crítica.
- TOMASELLO, Michael. (2005). *Constructing a Language. A Usage-Based Theory of Language Acquisition*, Cambridge MS: Harvard University Press.
- (2007). *Los orígenes culturales de la cognición humana*, Alfredo Negrotto (trad.), Buenos Aires: Amorrortu.

- , y Kirsten Abbot-Smith. (2002). "A tale of two theories: response to Fisher", *Cognition*, 83, pp. 207-214.
- TOURATIER, Christian. (1980). *Le Relative. Essai de théorie syntaxique*, París : Klincksiek, Societé de Linguistique de Paris.
- TREJO-MARTÍNEZ, David, Fiacro Jiménez-Ponce, José Marcos-Ortega, Rubén Conde-Espinosa, Ariana Fárber-Barquera, Ana Luisa Velasco-Monroy, Francisco Velasco-Campos. (2007). "Aspectos anatómicos y funcionales sobre el área de Broca en neurocirugía funcional", *Revista Médica del Hospital General de México*, 70, núm. 3, pp. 141-149.
- TRUJILLO, Ramón. (1990). "Sobre la supuesta despronominalización del relativo", *E. L. U. A.*, 6, pp. 23-45.
- TUCKER, Gordon. (2007). "Exposure, Expectations and Probabilities: Implications for Language Learning", Anne McCabe, Nick O'Donnell y Rachel Whittaker, *Advances in Language and Education*, Londres-Nueva York: Continuum, pp. 239- 253.
- ULLMAN, Michael T., S. Corkin, M. Coppola, G. Hickok, J. H. Groduder , W. J. Koroshetz y S. Pinker. (1997). "A Neural Dissociation within Language: Evidence that the Mental Dictionay is part of declarative memory, and the Grammatical Rules are processed by the procedural system ", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, núm. 2, pp. 266-276.
- VAN VALIN, Jr. Robert D., y Randy J. LaPolla. (1997). *Syntax. Structure, meaning and function*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WAGERS, Matthew W., y Colin PHILLIPS. (2009). "Multiple dependencies and the role of the grammar in real-time comprehension", *Journal of Linguistics*, 45, núm. 2, pp. 395-433.
- WAHL, Michael., Frank Marzinzik, Angela D. Friederici, Anjo Hahne, Andreas Kupsch, Gerd-Helge Schneider, Douglas Saddy, Gabriel Curio y Fabian Kosterman. (2008). "The Human Thalamus processes syntactic and semantic language violations", *Neuron*, 59, núm. 5, pp. 695- 707.
- WEBER, T. (1997). "The emergence of linguistic structure: Paul Hopper`s emergent grammar hypothesis revisited", *Language Sciences*, 19, núm. 2, pp. 177- 196.
- WILLMES, K., y K. POECK. (1993). "To what extent can aphasic síndromes be localized?", *Brain*, 116, núm. 5, pp. 1527-1540.
- ZAIDEL, Eran. (1998). "Language in the Right Hemisphere Following Callosal Disconnection", Brigitte Stemer y Harry A. Whitaker (eds.), *Handbook of neurolinguistics*, San Diego: Academic Press.
- ZUBIZARRETA, María Luisa. (1999). "Las funciones informativas: tema y foco", Ignacio Bosque y Violeta Demonte (eds.), *Gramática descriptiva de la lengua española*, V. 3, Madrid: Espasa Calpe, pp. 4215-4244.

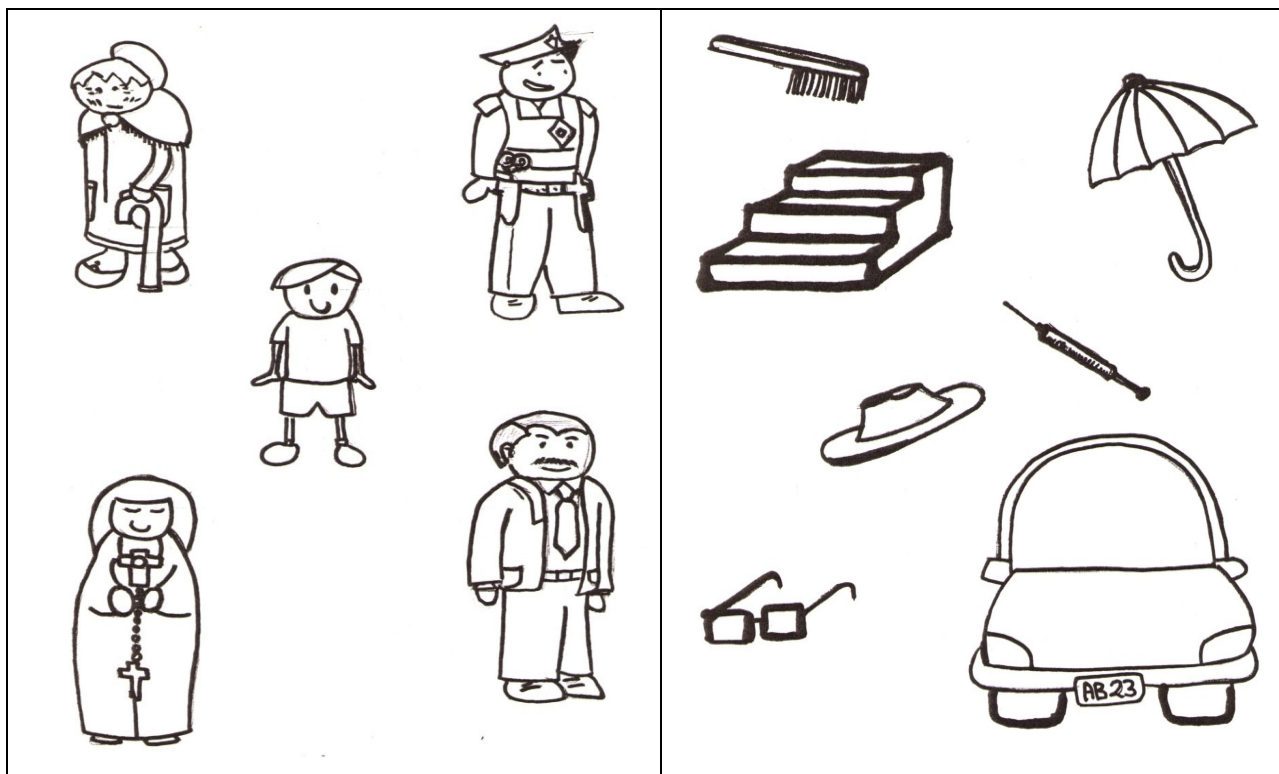
Apéndices

1: Oraciones de la prueba descrita en §7.5.2.

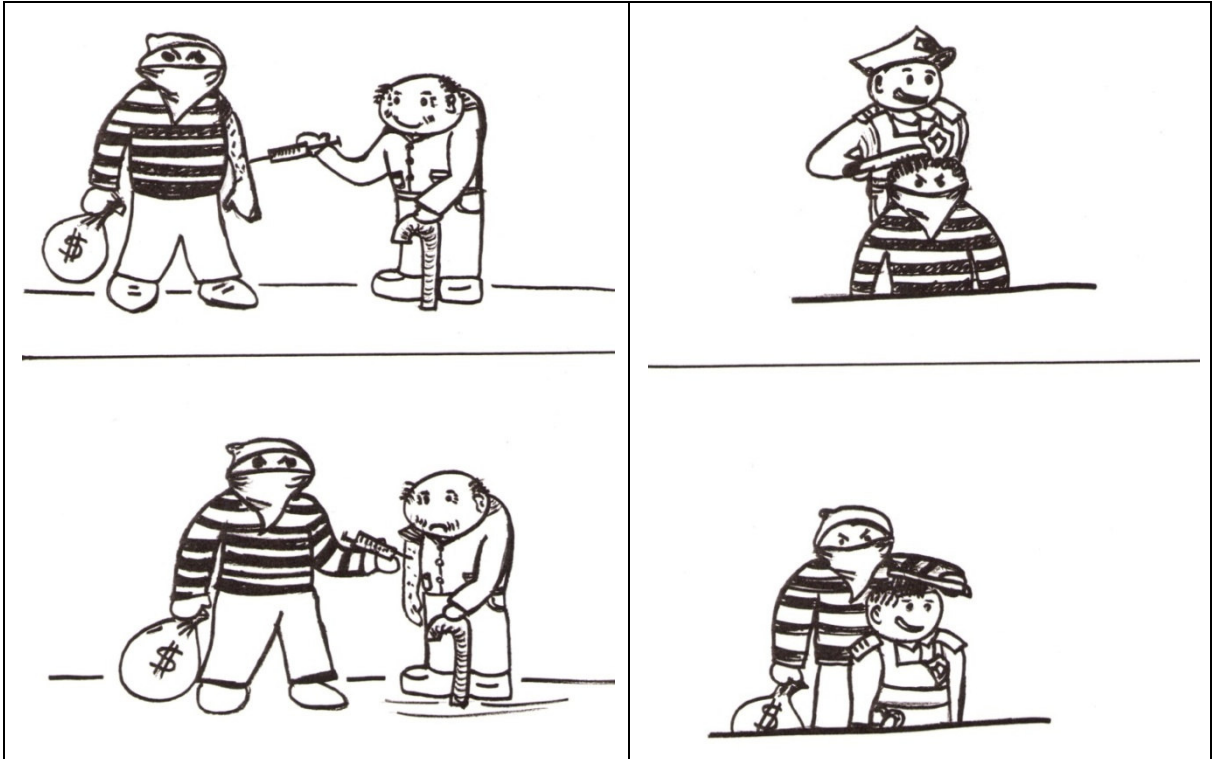
Grupo	Tipo de estructura	Oraciones
1	ORRS	Señala al abuelo que peina al niño. Señala a la niña que besa a la abuela. Señala al ladrón que persigue al policía. Señala al señor que empuja al payaso. Señala a la señora que inyecta a la monja. Señala al abuelo que inyecta al niño. Señala a la niña que empuja a la abuela. Señala al ladrón que peina al policía. Señala al señor que persigue al payaso. Señala a la señora que besa a la monja.
2	ORRO	Señala al niño al que el payaso besa. Señala a la niña a la que la señora persigue. Señala a la abuela a la que la monja empuja. Señala al abuelo al que el ladrón inyecta. Señala al policía al que el señor peina. Señala al niño al que el payaso empuja. Señala a la niña a la que la señora inyecta. Señala a la abuela a la que la monja besa. Señala al abuelo al que el ladrón peina. Señala al policía al que el señor persigue.
3	OP (S-ORRS)	El abuelo que peinó al niño tiene sombrero. La niña que besó a la abuela usa lentes. El ladrón que persiguió al policía está en la escalera. El señor que empujó al payaso tiene paraguas. La señora que inyectó a la monja está en el carro. El abuelo que inyectó al niño está en la escalera. La niña que empujó a la abuela tiene paraguas. El ladrón que peinó al policía está en el carro. El señor que persiguió al payaso usa lentes. La señora que besó a la monja tiene sombrero.
4	OP (S-ORRO)	El niño al que el abuelo besó está en el carro. La abuela a la que la niña persiguió está en la escalera. El policía al que el ladrón empujó tiene paraguas. El payaso al que el señor inyectó tiene sombrero. La monja a la que la señora peinó usa lentes. El niño al que el abuelo empujó tiene sombrero.

		La abuela a la que la niña inyectó usa lentes.
		El policía al que el abuelo besó tiene paraguas.
		El payaso al que el señor peinó está en el carro.
		La monja a la que la señora persiguió está en la escalera.
5	OP (O-ORRS)	El niño besó al payaso que tiene sombrero.
		La niña persiguió a la señora que usa lentes.
		La abuela empujó a la monja que está en la escalera
		El abuelo inyectó al ladrón que tiene paraguas.
		El policía peinó al señor que está en el carro.
		El niño empujó al payaso que está en la escalera
		La niña inyectó a la señora que tiene paraguas.
		La abuela besó a la monja que está en el carro.
		El abuelo peinó al ladrón que usa lentes.
		El policía persiguió al señor que tiene sombrero.

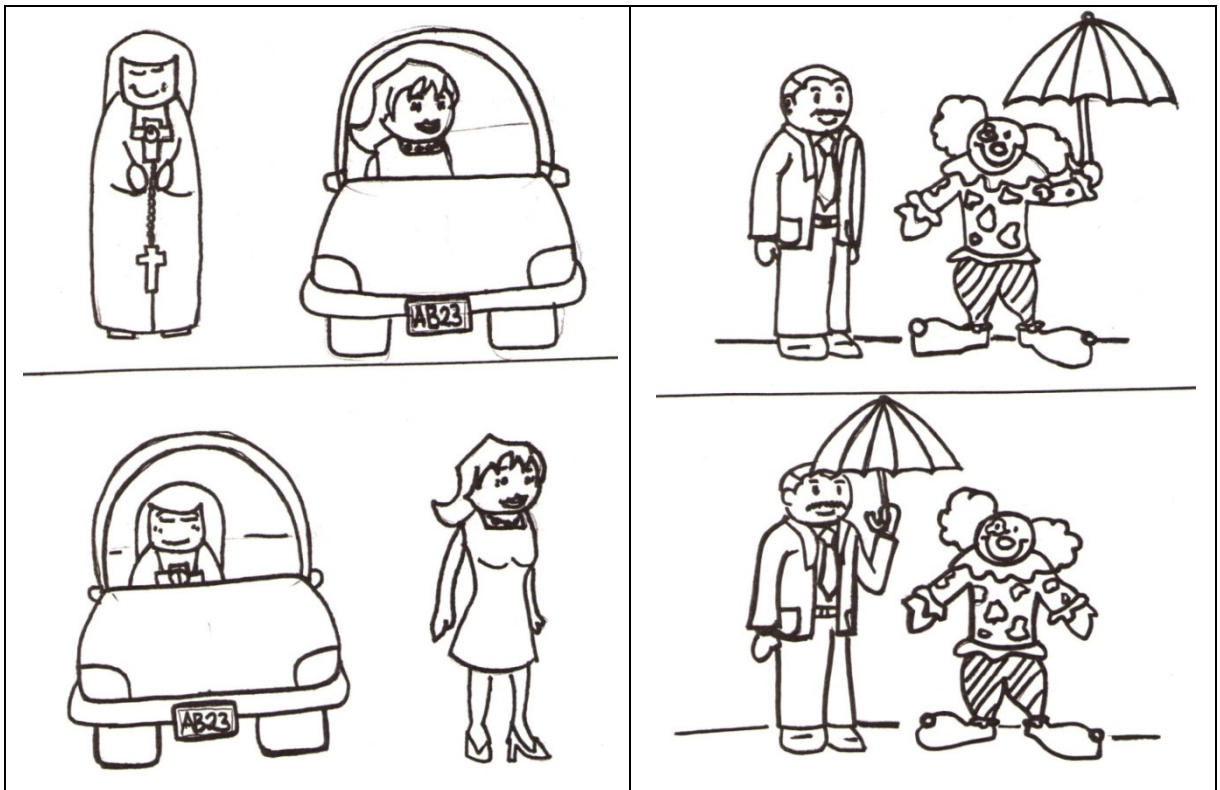
2: imágenes de la prueba descrita en §7.5.2.



A2.1. Dos imágenes usadas para verificar la claridad de las ilustraciones y la comprensión léxica de los participantes antes de comenzar la prueba.



A2.2. Dos imágenes usadas en los grupos oracionales 1 y 2 de la prueba de comprensión de OsRsR.



A2.3. Dos imágenes usadas en las grupos oracionales 3, 4 y 5 de la prueba de comprensión de OsRsR.