

SINTAXIS NEURONAL Y SINTAXIS LINGÜÍSTICA. IMPLEMENTACIÓN CEREBRAL DE LAS ESTRUCTURAS SINTÁCTICAS

Javier Ramírez Fernández

Per citar o enllaçar aquest document:

Para citar o enlazar este documento:

Use this url to cite or link to this publication:

<http://hdl.handle.net/10803/666972>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



TESIS DOCTORAL

SINTAXIS NEURONAL Y SINTAXIS
LINGÜÍSTICA. IMPLEMENTACIÓN CEREBRAL DE
LAS ESTRUCTURAS SINTÁCTICAS

Javier Ramírez Fernández

2018



TESIS DOCTORAL

SINTAXIS NEURONAL Y SINTAXIS
LINGÜÍSTICA. IMPLEMENTACIÓN CEREBRAL DE
LAS ESTRUCTURAS SINTÁCTICAS

Javier Ramírez Fernández

2018

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS HUMANAS,
DEL PATRIMONIO Y DE LA CULTURA

Dirigida por: Francesc Roca Urgell

Tutor: Francesc Roca Urgell

Memoria presentada para optar al título de doctor por la Universitat de Girona

Lista de publicaciones derivadas de la tesis

Ramírez, J. (2015). Locality in language and locality in brain oscillatory structures.

Biolinguistics, 9, 74-95.

Ramírez, J. (2016). El cambio lingüístico: Sus causas, mecanismos y consecuencias.

Isogloss: a journal on variation of Romance and Iberian Languages, 2 (1), 43-49.

Theofanopoulou, C., Martins, P. T., Ramírez, J., Zhang, E., Castillo, G., Shi, E., Alamri,

S., Martínez Álvarez, A. y Leivada, E. (2015). Fonaments neurològics del

llenguatge: perspectives emergents. *Llengua, societat i comunicació*, 13, 4-11.

*Lista de abreviaturas y siglas*¹

A – *Area* – Área²

AC – *Auditory Cortex* – Corteza Auditiva

ACC – *Anterior Cingulate Cortex* – Corteza Cingulada Anterior

Acus. – *Accusative* – Acusativo

ADN – *Deoxyribunocleic Acid* – Ácido Desoxirribonucleico

AE – *External Argument* – Argumento Externo

AI – *Internal Argument* – Argumento Interno

aSTG – *anterior Superior Temporal Gyrus* – Giro Temporal Superior anterior

aTC – *anterior Temporal Cortex* – Corteza Temporal anterior

BA – *Brodmann Area* – Área de Brodmann

BBS – *Binding By Synchrony* – Ligamiento Por Sincronía

BOLD – *Blood Oxygen Level Dependent* – Dependiente del nivel de oxígeno en sangre

C – *Complementizer* – Complementante

CA – *Cornu Ammonis* – “Cuerno de Amón”³

Ca – *Calcium* – Calcio

CAF – *Frontal Association Cortex* – Corteza de Asociación Frontal

CAP – *Parietal Association Cortex* – Corteza de Asociación Parietal

CAT – *Temporal Association Cortex* – Corteza de Asociación Temporal

CCG – “*Canonic Granular Cortex*” – Corteza Canónica Granular⁴

CE – “*Structural Change*” – Cambio Estructural

Cl – *Chlorine* – Cloro

Compl. – *Complement* – Complemento

CPG – *Central Pattern Generator* – Generador Central de Patrones

CPS – *Closure Positive Shift* – [sin traducción al español]

¹ En algunos casos se ha utilizado la forma inglesa que frecuentemente se encuentra en la literatura. El formato elegido es: Abreviatura/Sigla – Traducción al inglés (o latín en casos concretos)– Traducción al español.

² La sigla puede aparecer acompañada de un número que indica una posición aproximada en la jerarquía de procesamiento cortical.

³ Se encuentran 4 subregiones CA en el hipocampo, por lo que la sigla aparecerá acompañada en el texto por el número correspondiente.

⁴ Se ha usado, por razones expositivas, “corteza canónica granular” a pesar de que en la literatura uno encuentra habitualmente “*canonical cortical circuit*”.

CTC – *Communication Through Coherence* – “Comunicación Mediante Coherencia”

D – *Determiner* – Determinante

DE – *Structural Description* – Descripción Estructural

DG – *Dentate Gyrus* – Giro Dentado

dIPFC – *dorsolateral Prefrontal Cortex* – Corteza Prefrontal Dorsolateral

EC – *Entorhinal Cortex* – Corteza Entorrinal

EEG – *Electroencephalography* – Electroencefalografía

EI – *Internal Merge* – Ensamble Interno

ELAN – *Early Left Anterior Negativity* – [sin traducción al español]

ERP – *Event Related Potential* – Potencial relacionado con evento

Espec. – *Specificer*– Especificador

F. – *Phase* – Fase

FLA – *Faculty of Language Broad* – Facultat del Lenguaje Amplia

FLE – *Faculty of Language Narrow* – Facultat del Lenguaje Estrecha

FOP – *Frontal Operculum* – Opérculo Frontal

FON – *First Order Nuclei* – Núcleos de primer orden

fMRI – *functional Magnetic Resonance Image* – Imagen por Resonancia

Magnética Funcional

GABA – *Gamma-Aminobutyric Acid* – Ácido Gamma-Aminobutírico⁵

GB – *Basal Ganglia* – Ganglios Basales

GPe – *Globus Pallidus external* – Globo Pálido externo

GPi – *Globus Pallidus internal* – Globo Pálido interno

GW – *Global Workspace* – Espacio de trabajo global

HG – *Heschl's Gyrus* – Giro de Heschl

HIP – *Hippocampus* – Hipocampo

IFG – *Inferior Frontal Gyrus* – Giro Frontal inferior

IG – *Infragranular* – “Infragranular”

K – *Potassium* – Potasio

L – *Layer* – Lámina⁶

⁵ En el texto, la sigla puede ir acompañada de un subíndice (*a* o *b*) que indica subtipos del neurotransmisor.

⁶ En el texto, la sigla aparece acompañada de un número que indica de cuál de las 6 láminas en que puede dividirse la mayor parte de la corteza se trata (siendo L6 la más profunda, y L1 la más superficial).

LAN – *Left Anterior Negativity* – [sin traducción al español]
MDN – *Mediodorsal Nucleus* – Núcleo dorsomedial
ME – *External Merge* – Ensamble Externo
MEG – *Magnetoencephalography* – Magnetoencefalografía
MMN – *Mismatch Negativity* – [sin traducción al español]
mPFC – *medial Prefrontal Cortex* – Corteza Prefrontal Medial
MTG – *Medial Temporal Gyrus* – Giro Temporal Medial
MUC – *Memory Unification Control* – Memoria Unificación Control
N – *Noun* – Nombre
Na – *Sodium* – Sodio
Nom. – *Nominative* – Nominativo
p. – *Person* – Persona
P – *Preposition* – Preposición
PFC – *Prefrontal Cortex* – Corteza Prefrontal
PHC – *Parahippocampal Cortex* – Corteza Parahipocámpica
phi – *person, number and gender [features]* – [Rasgos de] persona, número y género
PIC – *Phase Impenetrability Condition* – Condición de Impenetrabilidad de Fase
PPC – *Posterior Parietal Cortex* – Corteza Parietal Posterior
PPE – *Extended Projection Principle* – Principio de Proyección Extendida
PRC – *Perirhinal Cortex* – Corteza Perirrinal
PT – *Planum Temporale* – Plano Temporal
pTC – *posterior Temporal Cortex* – Corteza Temporal posterior
PUL – *Pulvinar* – Pulvinar
Qu – *Wh [feature]* – [Rasgo] Qu
REU – *Reuniens* – Reuniens
SC – *Complementizer Phrase* – Sintagma Complementante
SConj – *Conjunction Phrase* – Sintagma Conjunción
SD – *Determiner Phrase* – Sintagma Determinante
SG – *Supragranular* – “Supragranular”
sing. – *Singular* – Singular
SN – *Noun Phrase* – Sintagma Nominal
SNpc – *Substantia Nigra pars compacta* – Sustancia Negra parte compacta

SNpr – *Substantia Nigra pars reticulata* – Sustancia Negra parte reticulada
 SP – *Prepositional Phrase* – Sintagma Preposicional
 ST – *Tense Phrase* – Sintagma Tiempo
 STG – *Superior Temporal Gyrus* – Giro Temporal Superior
 STN – *Subthalamic Nucleus* – Núcleo Subtalámico
 STR – *Striatum* – (Cuerpo) Estriado
 StrAso – “*Associative Striatum*” – “Estriado asociativo”
 StrLím – “*Limbic Striatum*” – “Estriado límbico”
 STS – *Superior Temporal Sulcus* – Surco Temporal Superior
 SUB – *Subiculum* – Subículo
 Sv – *v Phrase* – Sintagma v⁷
 SV – *Verbal Phrase* – Sintagma Verbal
 SX – *X Phrase* – Sintagma X⁸
 SY – *Y Phrase* – Sintagma Y
 T – *Tense* – Tiempo
 TAL – *Thalamus* – Tálamo
 TC – *Temporal Cortex* – Corteza Temporal
 TRN – *Thalamic Reticular Nucleus* – Núcleo Reticular Talámico
 v – v [*category*] – [Categoría] v
 V – *Verb* – Verbo
 V[número] – *Visual* – Visual⁹
 X – [*Minimal projection/head*] X – [Proyección mínima/núcleo] X

⁷ “v” representa una categoría en que se ha escindido el sintagma verbal. En el texto, puede encontrarse acompañado del signo * (v*), con el que se suele indicar que es un núcleo de fase fuerte o no defectivo.

⁸ En SX (así como en aquellos sintagmas en que la segunda letra no se corresponde con una categoría reconocible), la X equivale a una variable, reemplazable por un símbolo categorial conocido.

⁹ Puede aparecer acompañada de un número que indica una posición aproximada en la jerarquía de procesamiento cortical.

Índice de figuras

Figura 3-1Algunos niveles de análisis entre el cerebro y la cognición.	91
Figura 3-2Letras, palabras y frases neuronales, basadas en los textos y figuras de Buzsáki (2010), Buzsáki y Watson (2012), y Buzsáki y Moser (2013).	104
Figura 4-1Algunos giros y surcos corticales, visión lateral. Figura adaptada de Fisch (2012:275).	115
Figura 4-2Algunos giros y surcos corticales, visión medial. Figura adaptada de Fisch (2012:277).	115
Figura 4-3Áreas de Brodman en superficie medial y lateral, realizadas a partir de Fisch (2012:272).	117
Figura 4-4Áreas de asociación temporales, parietales, frontales y límbicas. ...	119
Figura 4-5Vías corticales de asociación, basada en Crossman y Neary (2015:143), Fisch (2012:295) y Redolar (2013:102). El dibujo es sólo una aproximación.	121
Figura 4-6Corteza canónica granular, basada en Douglas y Martin (2004), Bastos et al. (2012). Abreviaturas: área 1 (A1); área 2 (A2); corteza canónica granular (CCG); lámina (L).	122
Figura 4-7Tálamo.	123
Figura 4-8Hipocampo. Dibujo aproximado.	127
Figura 4-9Ganglios basales. Dibujo aproximado.	129
Figura 4-10Estructuras y conexiones cerebrales (conectoma): sustrato potencial del lenguaje.	135
Figura 6-1Dinámicas de las estructuras y conexiones cerebrales (dinoma): base oscilatoria sobre la que identificar mecanismos, lingüísticos o no.	184
Figura 7-1Jerarquía de ritmos del presente modelo.	194
Figura 7-2Letras, palabras y frases neuronales, basadas en los textos y figuras de Buzsáki (2010), Buzsáki y Watson (2012), y Buzsáki y Moser (2013).	195
Figura 7-3Algunas unidades en la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.	196
Figura 7-4Un anticipo de casi todas las unidades de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.	197
Figura 7-5Gamma forma ensamblas (o representaciones) locales.	201
Figura 7-6Beta selecciona y mantiene ensamblas.	202
Figura 7-7Alpha habilita o inhibe el procesamiento.	202

Figura 7-8Theta organiza asambleas e interconecta regiones.	202
Figura 8-1Área de Broca.	208
Figura 8-2Área de Wernicke.	208
Figura 8-3Área de Geschwind.	208
Figura 8-4Otras áreas implicadas en el lenguaje, visión lateral.	209
Figura 8-5Otras áreas implicadas en el lenguaje, visión medial.	209
Figura 8-6Estructuras subcorticales implicadas en el lenguaje.	210
Figura 11-1Ítems léxicos a gamma.	381
Figura 11-2Rasgos en los ciclos gamma individuales.	382
Figura 11-3Conjunto mediante acoplamiento entre gamma y alpha.	382
Figura 11-4Proyección del núcleo mediante beta.	383
Figura 11-5Transferencia del complemento: desincronización de alpha y sincronía con theta.	383
Figura 11-6Representación del núcleo y el complemento en el tiempo.El complemento a gamma abandona el GW y el núcleo se mantiene en él a beta.	384
Figura 11-7Diagrama de ritmos para un sintagma/fase.	385
Figura 11-8Formación de sintagma mediante ritmos en el tiempo.	385
Figura 11-9Primeros pasos en la formación del especificador/borde en paralelo.	386
Figura 11-10Ralentización del borde a beta 1 para un sostenimiento más prolongado en el GW.	387
Figura 11-11Ensamble del borde a la espina oracional.	388
Figura 11-12Representaciones varias del sintagma/fase.	390
Figura 11-13Combinación de sintagmas/fases en el GW.	392
Figura 11-14Posible formato de la oración en la sintaxis neuronal, y la tríada de elementos en la estructura.	393
Figura 11-15Posible formato de la oración en la sintaxis neuronal tras combinar múltiples ciclos.	394
Figura 11-16Formación de estructura jerárquica a partir de relaciones temporales.	397
Figura 11-17Transferencia de las representaciones por sistemas en relación con la consciencia en una arquitectura global/local.	399

Figura 11-18 Unidades lingüísticamente relevantes de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.	402
Figura 13-1 Conectoma en tamaño reducido (v. § 4.5)	424
Figura 13-2 Dinoma en tamaño reducido (v. § 6.6).	426
Figura 13-3 Gamma forma ensamblas (o representaciones) locales.	427
Figura 13-4 Beta selecciona y mantiene ensamblas.	427
Figura 13-5 Alpha habilita o inhibe el procesamiento.	427
Figura 13-6 Theta organiza ensamblas e interconecta regiones.	427
Figura 13-7 Jerarquía de ritmos (v. §7.2.1).	428
Figura 13-8 Anticipo a las unidades básicas de la sintaxis neuronal de la presente tesis.	429
Figura 13-9 Formación de representaciones léxicas.....	435
Figura 13-10 Formación de conjunto.	435
Figura 13-11 Proyección del núcleo.....	435
Figura 13-12 Transferencia del complemento.....	435
Figura 13-13 Representación alternativa del núcleo complemento.....	436
Figura 13-14 Derivación en paralelo del borde y ensamble a la espina.	436
Figura 13-15 Diagrama de ritmos para el sintagma/fase.....	436
Figura 13-16 Representación alternativa del sintagma/fase en la sintaxis neuronal.	436
.....	436
Figura 13-17 Unidades de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.	437
.....	437

Índice de tablas

Tabla 1	Procesamiento lingüístico basado en Friderici (2002 et seq.)	214
Tabla 2	Fases del procesamiento lingüístico simplificadas.....	255
Tabla 3	Fases de la orientación atencional simplificadas.....	256

Certificado de dirección de la tesis




El Dr. Francesc Roca Urgell, de la Universitat de Girona,

DECLARO:

Que el trabajo *Implementación cerebral de las estructuras sintácticas*, que presenta Javier Ramírez Fernández para la obtención del título de doctor, se ha realizado bajo mi dirección.

Y, para que así conste y tenga los efectos oportunos, firmo este documento.

Firma 

Girona, de 2018

Agradecimientos

A la Generalitat de Catalunya por la beca FI-DGR 2015, ECO/1788/2014, a la Universitat de Girona (Departament de Filologia i Comunicació), y a los revisores.

Dedicatoria

A mi familia. Abuela, Álex, Arlet, Bea, Biel, Charo, Ivet, Juani, Mama, Papa, Sergi, Toñi... El sentido de un mundo que no lo tiene.

A Francesc Roca, por haber despertado hace ya unos años en mí el interés por la lingüística como no lo había captado ningún asunto académico. Por su cercanía a lo largo del proceso. A Carla, Lluïsa, y las demás compañeras, por haber hecho acogedora mi estancia en la UdG. A compañeros y profesores de carrera, por haber compartido aquella etapa de inquietudes.

Índice

Lista de publicaciones derivadas de la tesis	i
Lista de abreviaturas y siglas	ii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas	ix
Certificado de dirección de la tesis.....	x
Agradecimientos	xi
Dedicatoria.....	xii
Índice.....	xiii
Resumen.....	xxii
Resum	xxiii
Abstract	xxiv
1 Introducción	1
1.1 Objetivos	5
1.2 Metodología	6
1.3 Organización de la tesis	9
1.3.1 Parte I.....	9
1.3.2 Parte II.....	9
1.3.3 Parte III.	11
1.4 Secciones correspondientes a resultados y discusión	12
Parte I: Un punto de partida.....	15
2 Mi concepción del lenguaje y su integración en la (neuro)cognición	17
2.1 Partiendo de Chomsky	17
2.1.1 El quinteto de cuestiones fundamentales para el estudio del lenguaje. 18	
2.1.2 La preeminencia de cada una de estas cuestiones en el desarrollo de la Gramática Generativa.	19
2.2 El conocimiento. Teoría estándar (extendida)	21
2.2.1 La universalidad como componente del conocimiento.....	22

2.2.2	Rasgos definitorios del lenguaje.....	22
2.2.3	Dispositivo teórico para expresar esas características. Reglas y transformaciones.....	29
2.2.4	Otras ideas importantes.....	32
2.2.5	Avances y desafíos.....	35
2.3	La adquisición. Principios y Parámetros.....	36
2.3.1	Orígenes en la Teoría Estándar.....	37
2.3.2	Desarrollo en PyP.....	37
2.3.3	La pobreza del estímulo y el innatismo.....	38
2.3.4	La sustitución de reglas por principios.....	38
2.3.5	Los (Macro)Parámetros.....	41
2.3.6	Lengua-I.....	43
2.3.7	Supuesta simplificación en la modularidad.....	44
2.3.8	Avances y desafíos.....	44
2.4	El uso. El Programa Minimista.....	46
2.4.1	Un misterio compartido por otros dominios cognitivos. La integración del lenguaje en los mismos.....	46
2.4.2	Dos ideas que plantean el uso del lenguaje como interacción de sistemas. 48	
2.4.3	Una simplificación exigida por el resto de la mente.....	51
2.4.4	El sistema computacional del lenguaje.....	57
2.4.5	Avances y desafíos.....	61
2.5	La evolución. Biolingüística.....	63
2.5.1	Una breve introducción a la teoría evolutiva.....	66
2.5.2	Surgimiento del lenguaje dentro de la lógica evolutiva.....	70
2.5.3	La pregunta y la respuesta en la teoría chomskyana.....	72
2.5.4	La pérdida de la complejidad computacional por la discontinuidad evolutiva. Una solución.....	77
2.5.5	Avances y desafíos.....	78
2.6	La implementación. El futuro.....	79
2.6.1	Tres componentes a implementar.....	80
2.6.2	Una versión menor de la neurociencia y de la lingüística.....	81
2.6.3	Avances y desafíos.....	82

2.7	... Y hacia una implementación verosímil del lenguaje	82
3	Premisas sobre la computación en el cerebro	87
3.1	Estructura y función. La dimensión espacial	91
3.1.1	Hipótesis de la localización funcional. Función emergiendo de propiedades intrínsecas y conexiones extrínsecas.	92
3.1.2	La escala adecuada.....	93
3.1.3	Tipos de conexiones.....	94
3.2	Dinámicas y función. La dimensión temporal	95
3.2.1	Limitaciones del conectoma.	95
3.2.2	Las oscilaciones como mecanismos de interacción.	96
3.2.3	Ritmos y funciones.	97
3.3	Operaciones neutrales	98
3.3.1	Interrelacionando dominios cognitivos a partir de mecanismos... 100	
3.3.2	Un nuevo nivel de análisis transversal de los dominios cognitivos. 101	
3.4	Sintaxis neuronal.....	102
3.5	No todo se reduce a oscilaciones. El <i>neural coding</i> como ejemplo....	105
3.6	Conclusiones	107
	Parte II: Del cerebro a la cognición. Estructura, dinámicas, mecanismos, y cognición	111
4	Estructura y conexiones del cerebro	113
4.1	La corteza.....	113
4.1.1	Áreas (de Brodmann) y funciones.	116
4.1.2	Vías principales.....	120
4.1.3	La corteza canónica granular.	122
4.2	El tálamo	123
4.2.1	Conexiones talámicas con el circuito cortical canónico. Núcleos de primer orden y núcleos de mayor orden.	124
4.2.2	El TRN.	126
4.3	La formación hipocámpica	127
4.3.1	De la neocorteza al hipocampo.	128
4.3.2	Dentro del propio hipocampo y hacia afuera.	128
4.3.3	Comunicación hipocámpica con estructuras subcorticales.....	129

4.4	Los ganglios basales	129
4.4.1	Estructuras de <i>input</i>	131
4.4.2	GPI y SNpr como estructuras de <i>output</i>	131
4.4.3	Estructuras intermedias: GPE, SNpc.	131
4.4.4	Canales paralelos.	132
4.5	Conclusiones	132
5	Oscilaciones cerebrales	138
5.1	A nivel unicelular.....	139
5.1.1	Movimiento iónico.....	139
5.1.2	Permeabilidad selectiva de la membrana celular.	140
5.1.3	La alteración del potencial de membrana y el potencial de acción. 141	
5.1.4	La neurona como oscilador natural y la resonancia.....	143
5.2	A nivel poblacional.....	145
5.2.1	Sincronía y ventana temporal.....	145
5.2.2	La sincronía de inhibición y excitación en oscilaciones.....	147
5.2.3	Contraponiendo oscilaciones unicelulares y poblacionales.	149
5.2.4	Oscilaciones en distintos tipos redes.	150
5.2.5	La (aparente) necesidad de oscilaciones para la sincronía.....	151
5.3	Principios simples y acoplamiento de oscilaciones	152
5.4	Mecanismos o funciones de bajo nivel	153
5.4.1	Detección de coincidencia.	154
5.4.2	<i>Modulación de ganancia</i>	154
5.4.3	Formación de ensamblajes locales y globales.	155
5.4.4	(De)selección por acoplamiento de ritmos y reinicio de fase.	157
5.4.5	Inhibición.	158
5.4.6	Enrutamiento dinámico y multiplexación.....	159
5.4.7	Codificación por fase y multiplexación por división de tiempo... 160	
5.4.8	Oscilaciones como creadoras de patrones rítmicos en los procesos. 162	
5.5	Conclusiones	164
6	Dinámicas de las estructuras y conexiones cerebrales	168
6.1	A nivel cortical granular	169

6.1.1	Oscilaciones en láminas SG.....	169
6.1.2	Oscilaciones en láminas IG.....	169
6.1.3	Relación entre oscilaciones SG e IG.....	169
6.1.4	Diferentes dinámicas en relación a la distinta conectividad (con estructuras subcorticales).....	170
6.2	A nivel de áreas o (sub)redes corticales.....	170
6.2.1	Coherencia con la hipótesis de las oscilaciones como mecanismos canónicos.	171
6.3	A nivel talámico.....	173
6.3.1	Oscilaciones de origen puramente talámico.	174
6.3.2	En relación con la corteza.	174
6.3.3	Diferentes núcleos a diferentes ritmos en función de las conexiones.	175
6.3.4	El núcleo reticular talámico.	176
6.4	A nivel del complejo hipocámpico	177
6.4.1	Múltiples generadores.....	177
6.4.2	En relación con la corteza.....	179
6.5	En los ganglios basales	179
6.5.1	<i>Beta</i>	180
6.5.2	<i>Theta</i>	180
6.5.3	Diferentes <i>loops</i> con diferentes dinámicas.	181
6.6	Conclusiones.....	182
7	Mecanismos y sintaxis neuronal emergente	187
7.1	Mecanismos o funciones generales de ritmos específicos.....	187
7.1.1	<i>Gamma</i>	188
7.1.2	<i>Beta</i>	188
7.1.3	<i>Alpha</i>	189
7.1.4	<i>Theta</i>	191
7.2	Un anticipo de la sintaxis neuronal.....	192
7.2.1	Jerarquizando, acoplando y simultaneando los ritmos.	193
7.2.2	Identificando unidades: letras/rasgos, palabras, conjuntos y f(r)ases neuronales.	194

7.2.3	Correspondencia en la temporalidad del ritmo y la frecuencia de unidades y operaciones que identifican.	197
7.2.4	Correspondencia espacial.	198
7.2.5	Explotación de relaciones temporales entre ritmos.	199
7.2.6	Límites.	200
7.3	Conclusiones	200
8	Dominios cognitivos	205
8.1	Lenguaje.....	205
8.1.1	Sustrato neuronal.	206
8.1.2	Mecanismos clásicos.....	211
8.1.3	Oscilaciones.	222
8.1.4	Conclusiones y crítica a los principales modelos.	229
8.2	Memoria.....	233
8.2.1	Memoria implícita y ganglios basales.....	235
8.2.2	Memoria explícita y complejo hipocámpico.	236
8.2.3	Codificación.....	236
8.2.4	Mantenimiento y manipulación. Memoria de trabajo.....	238
8.2.5	Recuperación.	240
8.2.6	Oscilaciones implementando mecanismos.	241
8.2.7	Relación entre memoria y lenguaje.	246
8.3	Atención.....	248
8.3.1	Subprocesos atencionales.	249
8.3.2	Sustrato neuronal.	251
8.3.3	Mecanismos oscilatorios.....	251
8.3.4	Relación entre atención y lenguaje.	254
8.4	Consciencia.....	257
8.4.1	Procesamiento inconsciente o preconscious.	261
8.4.2	Consciencia como unificación.	262
8.4.3	El poder de la consciencia.....	264
8.4.4	Consciencia y atención.	265
8.4.5	Consciencia y control.....	266
8.4.6	Sustrato neuronal.	266
8.4.7	Mecanismos.	270

8.4.8	Relación entre consciencia y lenguaje.	275
8.5	Control ejecutivo.....	277
8.5.1	Buscando puntos en común en las funciones ejecutivas.....	278
8.5.2	Inhibición.	280
8.5.3	El trabajo de la memoria.	280
8.5.4	Flexibilidad cognitiva. <i>Shifting</i> atencional o actualización de la memoria de trabajo.	281
8.5.5	Reglas.....	281
8.5.6	Sustrato neuronal.	282
8.5.7	Mecanismos y Oscilaciones.	283
8.5.8	Relación entre control cognitivo y lenguaje.	285
8.6	Conclusiones. La interrelación entre los múltiples sistemas y sus operaciones de bajo nivel	288
	Parte III: Implementación de mecanismos, estructura, principios y constricciones	295
9	Implementando mecanismos.....	297
9.1	<i>Selección</i> . Formación de ítems mediante recuperación+mantenimiento mnésicos	298
9.1.1	Relación con la memoria (y otros dominios cognitivos).	299
9.1.2	Codificación, naturaleza y sustrato neuronal del léxico.	300
9.1.3	Recuperación y formación: <i>binding</i> (y atención).	301
9.1.4	Mantenimiento y trabajo (mediante el control ejecutivo).....	302
9.1.5	Mecanismos oscilatorios y estructuras donde se generan.....	302
9.1.6	Síntesis.	305
9.2	<i>Ensamble</i> . Combinación en GW consciente o en un <i>buffer</i> general...	306
9.2.1	Formación de conjuntos de piezas vs formación de piezas (a partir de rasgos).	306
9.2.2	Relación con la consciencia (y la atención).	307
9.2.3	Sustrato.	313
9.2.4	Mecanismos oscilatorios.....	313
9.2.5	Síntesis.	315
9.3	<i>Proyección</i> . Selección atencional y mantenimiento de memoria de trabajo	316

9.3.1	Descomposición en tres suboperaciones: selección, categorización y trabajo(+mantenimiento).	317
9.3.2	Relación con el control ejecutivo, la atención y la memoria de trabajo. 318	
9.3.3	Sustrato e implicación de los ganglios basales y el tálamo.	319
9.3.4	Mecanismos oscilatorios y estructuras que los generan.	320
9.3.5	Síntesis.	322
9.4	<i>Transferencia</i> . Intercomunicación de sistemas bajo el control ejecutivo 323	
9.4.1	Más cerca de mecanismos que de dominios cognitivos específicos. 325	
9.4.2	Sustrato.	327
9.4.3	Mecanismos oscilatorios y estructuras que intervienen.	328
9.4.4	Ritmicidad de <i>proyección, ensamble y transferencia</i> dictada por la interacción de ritmos.	329
9.4.5	Síntesis.	331
9.5	Conclusiones y contraste con otros modelos	332
10	Simplificando la estructura sintáctica	337
10.1	En busca de simplicidad. Comparando sintagmas y fases	337
10.2	Sintagmas	339
10.3	Fases	345
10.4	Unificando fases y sintagmas. La ciclicidad de la teoría lingüística	353
10.4.1	La unidad núcleos de fase y núcleos derivados a partir de la herencia de rasgos. Los rasgos definiendo fases.	353
10.4.2	La relación entre la transferencia, el núcleo de fase y el (problemático) <i>etiquetado</i> . La sobrecarga del mecanismo de transferencia.	356
10.4.3	El movimiento de constituyentes y núcleos y las fases.	360
10.4.4	Pruebas de fase y pruebas de constituyente.	363
10.4.5	Unificación y conclusiones provisionales.	365
10.5	Estructuras ternarias	371
10.6	Conclusiones	373
11	Generación de estructura a partir de ritmos	376
11.1	Etiquetas <i>gamma, beta 2 y beta 1</i>	376

11.1.1	<i>Beta</i> 1 y los bordes.....	379
11.2	Estructura sintáctica. Sintagmas/fases.....	380
11.2.1	Núcleo-Complemento.....	381
11.2.2	Borde-Núcleo-Complemento.....	384
11.2.3	<i>Beta</i> y la capacidad para formar dependencias (a distancia).	390
11.3	Estructura oracional.....	391
11.4	Propiedades estructurales, relaciones y principios.....	396
11.5	Conclusiones	401
12	Implementando límites. Localidad en las estructuras cerebrales y lingüísticas.....	406
12.1	La constricción de base: la anti-ambigüedad	407
12.1.1	Ejemplos	408
12.2	Unificando los dominios, la anti-localidad y la anti-identidad	409
12.3	Reduciendo constricciones globales a dominios locales.....	410
12.4	Un único principio general.....	411
12.5	Anti-ambigüedad oscilatoria	413
12.6	Una visión mecanicista complementaria a lo típico en neurociencia cognitiva. La periferia constriñendo el núcleo	414
12.7	Sincronía ambigua. Traduciendo la teoría a ejemplos	415
12.7.1	¿Laxitud en el método científico?.....	417
12.8	Conclusiones	420
13	Conclusiones generales	422
	Bibliografía	442

Resumen

En ciertos círculos de lingüística se asume que el lenguaje es una ventana a la mente y que la mente es una ventana al cerebro. En consecuencia, podríamos pensar que, al describir el lenguaje, estaríamos descubriendo determinados procesos cerebrales, legitimando así el estudio aislado del mismo con la esperanza (o no) de que la teoría lingüística acabe integrándose en la cognición y, finalmente, se llegue a una implementación cerebral. No obstante, el resultado acaba siendo una teoría en la que el lenguaje queda desunido de la naturaleza en la que se pretendía explicarlo, con poco que ver con el resto de la mente y sin apenas fundamento en la computación cerebral.

Por el contrario, en la presente tesis, se realiza un esfuerzo por cruzar (metafóricamente) esa ventana y situarse en el otro lado con el fin de descubrir propiedades del lenguaje a la luz del conocimiento independiente del cerebro y la mente. En otras palabras, se da la vuelta al método común en lingüística: en lugar de proceder del lenguaje a la mente, y de ahí al cerebro, se procede del cerebro a la mente, y de ahí al lenguaje. Se revisan así las estructuras y conexiones cerebrales a gran escala; la actividad, en forma de oscilaciones cerebrales, que las caracteriza; la manera en que estos ritmos pueden interactuar y los mecanismos que pueden proporcionar; y cómo se valen de ellos las principales operaciones en que pueden descomponerse los dominios cognitivos de mayor nivel. En ese contexto se implementa e integra el lenguaje, concebido de forma no modular ni específica, de modo que las operaciones clave reutilizan mecanismos neutrales con los que se caracteriza asimismo la consciencia, la memoria, la atención, o el sistema de control ejecutivo. Por consiguiente, la estructura lingüística, reducida a lo esencial, se puede seguir de la interacciones de oscilaciones y tanto los principios del lenguaje como sus constricciones surgirían de las funciones y de los límites en la generación y el sostenimiento de ciertos patrones oscilatorios.

En suma, con este desafío interdisciplinar de aunar la lingüística teórica con la neurociencia cognitiva, se propone un modelo teórico en el que no se ignoran propiedades fundamentales del lenguaje, como ocurre en la literatura de neurociencia, pero en el que al mismo tiempo las propuestas son coherentes en el contexto amplio de la naturaleza, la evolución, el funcionamiento del cerebro y el resto de la mente, a diferencia de corrientes lingüísticas donde el lenguaje acaba siendo algo totalmente sui géneris.

Resum

A determinats cercles de lingüística, s'assumeix que el llenguatge és una finestra a la ment, i que la ment és una finestra al cervell. En conseqüència, podríem pensar que, en descriure el llenguatge, estaríem descobrint determinats processos cerebrals i per això se'n legitimaria l'estudi aïllat, amb l'esperança (o no) que la teoria lingüística acabi integrant-se en la cognició i, finalment, s'arribi a una implementació cerebral. No obstant això, el resultat acaba essent una teoria a la qual el llenguatge queda desunit de la natura en què es pretenia explicar-ho, amb poc a veure amb la resta de la ment i sense amb prou feines fonament a la computació cerebral.

Per contra, a la present tesi, es realitza un esforç per creuar (metafòricament) aquella finestra i situar-se a l'altra banda, per descobrir propietats del llenguatge a la llum del coneixement independent del cervell i de la ment. En altres paraules, es capgira el mètode comú en lingüística: en comptes de procedir del llenguatge a la ment, i d'aquí al cervell, es procedeix del cervell a la ment, i després al llenguatge. Així, es revisen les estructures i connexions cerebrals a gran escala; l'activitat, en forma d'oscil·lacions cerebrals, que les caracteritza; la manera en què poden interactuar i els mecanismes que poden proporcionar aquests ritmes, i com se'n valen les principals operacions en què es poden descompondre els dominis cognitius de major nivell. Finalment, en aquest context s'implementa i integra després el llenguatge, concebut de forma no modular ni específica, de manera que les operacions clau reutilitzen mecanismes neutrals amb què es caracteritza així mateix la consciència, la memòria, l'atenció o el sistema de control executiu. Per tant, l'estructura lingüística, que es mira de reduir a l'essencial, es pot seguir de les interaccions d'oscil·lacions i tant els principis del llenguatge com les seves constriccions poden sorgir de les funcions i dels límits en la generació i el sosteniment de certs patrons oscil·latoris.

En suma, amb aquest desafiament interdisciplinari de conjuminar la lingüística teòrica amb la neurociència cognitiva, es proposa un model teòric en el qual no s'ignoren propietats fonamentals del llenguatge, com ocorre en la literatura de neurociència, però en què, al mateix temps, les propostes tinguin coherència en l'ampli context de la natura, l'evolució, el funcionament del cervell i la resta de la ment, a diferència de la lingüística teòrica, on el llenguatge acaba essent quelcom totalment *sui generis*.

Abstract

In certain circles of linguistics, language is assumed to be a window to the mind, and the mind is assumed to be a window to the brain. Consequently, we could think that, when describing language, we would be discovering certain cerebral processes, thus legitimizing its isolated study, hoping (or not) that the linguistic theory ends up integrating itself in cognition and, finally, reaching a cerebral implementation. However, the result is a theory in which the language is disunited from the nature in which we intended to explain it, hardly connected with the rest of the mind and with little basis in brain computation.

On the contrary, in the present thesis, an effort is made to (metaphorically) cross that window and to situate oneself on the other side, to discover properties of language in the light of independent knowledge of the brain and the mind. In other words, the common method in linguistics is reversed: instead of proceeding from language to mind, and from there to the brain, we will proceed from the brain to the mind, and from there to language. We will review brain structures and connections on a large scale; the activity, in the form of brain oscillations, that characterizes them; the way which these rhythms can interact and the mechanisms that they can provide; and how they are used by the main operations into which higher level cognitive domains can be decomposed. Finally, in such a context, language is then implemented and integrated, conceived in a non-modular nor specific way, so that its key operations reuse neutral mechanisms that also characterize consciousness, memory, attention, or the executive control system. Therefore, the linguistic structure, which tries to be reduced to the essential, can be followed from the interactions of oscillations, and both the principles of language and its constrictions can arise from the functions and limits in the generation and sustenance of certain oscillatory patterns.

In short, with this interdisciplinary challenge of combining theoretical linguistics with cognitive neuroscience, we propose a theoretical model in which fundamental properties of language are not ignored, as in the neuroscience literature, but in which at the same time proposals are coherent in the broad context of nature, evolution, functioning of the brain and the rest of the mind, unlike in theoretical linguistics, where language ends up being something totally *sui generis*.

1 Introducción

A continuación, se explicarán las motivaciones de la tesis en un tono llano y desde un punto de vista personal, resiguiendo mi trayectoria como estudiante. Para un texto de carácter más científico, abundante en citas, etc. ya se tiene el resto de la tesis. Recuerdo mis primeros encuentros con la lingüística. Vistos en perspectiva, destacaría mi inocencia: estuve rápidamente convencido, más por apasionamiento que por reflexión, de que estaba estudiando lo que en lingüística suele llamarse “mente/cerebro”. Daba por sentado que los “árboles sintácticos” podían encontrarse, de alguna forma difusa y vaga sobre la que no pensaba lo suficiente, en el cerebro. Estudiándolos estaría, por consiguiente, estudiando la mente/cerebro.

Asimismo, recuerdo el sesudo y respetuoso escepticismo de mi hermano (programador), cuando en el comedor le decía que podríamos encontrar, en el cerebro de todo hombre, algo parecido a árboles y a unos principios que los regían. De alguna forma casera, ese momento reflejaba la postura defendida habitualmente por ciertos lingüistas frente a la postura que debe de tener con respecto a ellos otro científico de una disciplina más o menos cercana, como los dedicados a la neurociencia cognitiva. Igualmente, definía la que iba a ser mi trayectoria académica.

Iría pasando el tiempo, e irían acumulándose las lecturas en el marco teórico del generativismo, las cuales me empujarían, por reacción, más y más a una postura escéptica como aquella. Llegué así a una suerte de desencantamiento con respecto a la lingüística teórica: a pesar de considerarse una ciencia que estudia el lenguaje como un objeto natural, el interés por el resto de objetos y fenómenos naturales se iba revelando casi nulo. Se presupone que el lenguaje está regido por las mismas leyes de la naturaleza, pero generalmente los lingüistas no se toman bastantes molestias en averiguar cuáles son esas leyes, ni siquiera en el entorno más inmediato de la mente y el cerebro.

Advertí entonces que, a pesar de que, en teoría, las metas eran más altas, la práctica del lingüista, en general, se centraba básicamente en representar datos lingüísticos mediante diagramas arbóreos de cierto diseño. Apenas se preocupaba por la manera en que podrían encontrarse en la mente/cerebro, por los procesos por los que podrían emerger a un nivel de abstracción menor y compatible con las descripciones de otras disciplinas.

Téngase presente que está fuera de mi intención menospreciar cualquiera de estas opciones, que son, al fin y al cabo, producto de los intereses y curiosidades ingobernables de cada uno e igualmente legítimas. Sin embargo, creo que es imperativo realizar un ejercicio de sinceridad. El lingüista al uso no está interesado en la mente/cerebro, por lo menos en comparación con el interés que se siente por los datos o los detalles del lenguaje. Sin embargo, se habla muy a la ligera de que uno investiga el producto del cerebro del hombre. Uno de los signos más evidentes en este sentido, y que no deja de asombrarme, es que quienes dicen estar interesados en la relación entre el lenguaje y la mente citan, cuando hablan del asunto, exclusiva o mayormente a otros lingüistas, y a muy duras penas a algún neurocientífico, psicólogo, biólogo, etc. Una explicación a esta desatención del cerebro y la mente podría ser la concepción, errónea a mi juicio y como defenderé de continuo a lo largo de la tesis, de una mente excesivamente modular y de una facultad del lenguaje demasiado particular. Si uno concibe el lenguaje como algo tan distinto y aislado del resto de dominios cognitivos, es esperable que no investigue sobre ellos para dar con respuestas sobre el propio lenguaje.

Mi interés capital, por el contrario, se centra en la relación entre el lenguaje, la cognición, y el cerebro. Admito que las construcciones particulares de las lenguas son, en el mejor de los casos, una herramienta accesoria de la que valerme para reforzar las conexiones más profundas que puedan apreciarse en abstracto y, en el peor, un estorbo o potencial contraargumento para la universalidad que necesito si quiero proponer una implementación cerebral.

Para aumentar mi escepticismo, durante mi formación como lingüista pude apreciar que apenas hay consenso entre las teorías del lenguaje, ni diacrónica ni sincrónicamente, ni siquiera dentro del mismo marco teórico, programa de investigación, o adopción de un modelo en particular. La impresión es que, muchas veces, la elección de un sistema, reglas, enfoque, etc. acaba siendo cuestión de preferencias personales o de la fe de cada uno. Casi siempre se encuentra un dato de una lengua, ya sea cercana o

lejana, o un argumento interno a la propia teoría y afín a la opinión de otro autor, con los cuales respaldar, dicho llanamente, los árboles que dibuja uno en detrimento de los de otro.

Estos dos problemas, a saber, el aislamiento teórico y la manga demasiado ancha para teorizar, van de la mano. Cuando se tratan de compatibilizar dos campos de conocimiento, se bloquean posibilidades teóricas. En cambio, si nos encerramos en una teoría desconectada de todo, el abanico de posibilidades es mucho más amplio. Además, la cerrazón teórica contribuye a otro pecado del lingüista: el gusto por la complejidad y el artificio. Generalmente, te topas con teorías muy específicas, tremendamente articuladas, pero que se quedan en la superficie en cuanto a comprensión del fenómeno de base. Los lingüistas tenemos un amplio conocimiento de artefactos teóricos con que analizar o describir oraciones, pero nos cuesta responder convincentemente a preguntas que deberían ser básicas, como qué es el lenguaje, y cómo se relaciona con el resto de la mente y del cerebro.

En lo que podría parecer un polo opuesto, pero realmente no lo es, se encuentra el intento de simplicidad que acaba en simplismo. Si un lingüista le dice a cualquier hombre de a pie, ajeno a la materia, que el lenguaje consiste básicamente en el *merge* (ensamble) de ítems léxicos, este mirará quizás extrañado. Si, allanando la jerga (aunque el parafraseo no sea literal), le dice que, tras años de estudio, ha llegado a la conclusión de que el lenguaje consiste esencialmente en combinar elementos como palabras, lo que seguramente despierte sea una sonrisa irónica. Las simplificaciones recientes sólo cobran sentido si se contemplan y mantienen presentes desarrollos anteriores de la teoría que hoy se rechazan.

El tono excesivamente técnico y poco explicativo de los trabajos de lingüística se explica, en parte, porque el aislamiento teórico nos ha llevado a considerar el lenguaje como algo demasiado especial. Si observamos tan minuciosamente algo que nos gusta, corremos el riesgo de maravillarnos demasiado, y de ensalzarlo por encima de otras cosas igualmente fascinantes, o igualmente simples, en las que no reparamos. Tendemos, además, a ser antropocéntricos y, por decirlo de alguno modo, linguocéntricos. Tanto ha observado el lingüista el lenguaje humano que ha pasado a considerarlo algo como de otro mundo, sin par en la naturaleza, y que nos llegaría a definir como especie. He de reconocer que, durante un tiempo, caí en esa trampa. Sin embargo, ampliar las miras y leer, por ejemplo, acerca del sentido de la visión en neurociencia cognitiva me hizo caer

en la cuenta de que el cerebro, humano o no, realiza otras muchas computaciones maravillosas (sobre las cuales podría construirse el lenguaje). Después de tanto tiempo considerando el lenguaje el pináculo del procesamiento, ahora me puede parecer equiparable a algo tan aparentemente simple como la vista, que está al alcance de algo tan “insignificante” como una mosca.

Así las cosas, decidí buscar nuevas respuestas, y posibles soluciones a los problemas de la lingüística en su mal abordaje de la conexión entre el lenguaje y el cerebro, en quienes realmente parecen interesados en este último, y más saben del mismo en relación con la mente: científicos de neurociencia cognitiva. Uno de los primeros aspectos que me llamaron la atención fue que, en la mente en conjunto, algo que parece tan especial como el lenguaje es en realidad un elemento más de todo un entramado. Mientras que el lingüista piensa en la arquitectura de la mente en los siguientes términos: una sintaxis contacta con sistemas motores y sistemas interpretativos, el neurocientífico, por el contrario, concibe la cognición como algo muchísimo más interconectado, complejo, y de lo que el lenguaje es un simple componente más y para nada central.

El lenguaje se reveló entonces como una pieza más de un puzzle, y para entender el cuadro que ayudaba a componer, su lugar en la mente y su naturaleza, debía procurar montar el puzzle en su totalidad. Al intentarlo, a uno le llama la atención la completa falta de correspondencia, la incompatibilidad de las teorías. De la misma forma que los lingüistas ignoraban la neurociencia cognitiva, desde la neurociencia cognitiva se ignoraban propiedades definitorias de la facultad del lenguaje, universales, y para las cuales se debería buscar una explicación. No basta, como suele hacerse en modelos neurolingüísticos, con localizar un componente amplio y vago del lenguaje, como la sintaxis, en una región cerebral y, en el mejor de los casos, asociarlo también a la temporalidad de determinada señal prominente.

La misma falta de consenso que aprecié tiempo atrás en la lingüística parecía encontrarse también en la neurolingüística. Si quería conectar ambos campos, debía replantearme el lenguaje, ver qué era realmente lo fundamental, y necesitaba, asimismo, comprender los fundamentos de la neurociencia cognitiva. Para conseguir establecer las conexiones necesarias, precisaba de una posición intermedia a ambas disciplinas: sin abusar del detalle en la lingüística, pero sin simplificarlo todo demasiado; no buscar una implementación a nivel celular (si es que eso es posible o tiene sentido), pero tampoco

conformarme con señalar un área clásica del cerebro y atribuir a cierta actividad algo vago como la sintaxis.

Esta empresa tiene un problema de base: puedo plantear una concepción del lenguaje más o menos fundamentada, pero no soy neurocientífico. Mi formación ha sido, fuera de las lecturas por las que me haya podido interesar a título personal, básicamente la de un filólogo. No obstante, creo que, a pesar de los riesgos que corro al intentar describir el funcionamiento esencial del cerebro, puedo dar forma a un trabajo interdisciplinar que interese a un público amplio. Por un lado, al neurocientífico puedo mostrarle que el lenguaje no es tan simple como cree y ofrecerle una concepción que se preste mejor a una implementación y más integrada con el resto de la cognición. Por otro lado, al lingüista puedo ofrecerle una idea básica de cómo podría funcionar esa mente/cerebro, con la que realmente confrontar las teorías, y sugerirle que el lenguaje no es algo tan único en la naturaleza como creía.

De alguna forma, trato de volver al espíritu fundacional de la teoría lingüística moderna, y ser consecuente con el objetivo (chomskyano) de explicar el lenguaje como un objeto natural, que parece estar perdiéndose de vista.

1.1 Objetivos

El principal objetivo de la presente tesis es desarrollar un modelo eminentemente teórico del lenguaje en que integrar hallazgos de la lingüística teórica y de la neurociencia cognitiva. De esta forma, se pretende ofrecer una visión del lenguaje más integrada en la cognición y en el cerebro, alejándose de la modularidad y de la especificidad que caracterizan la visión lingüística y obstan en el encaje del lenguaje en la naturaleza.

Con la implementación del lenguaje aquí desarrollada, se tiene también el propósito de complementar la concepción simplista que se tiene del lenguaje en neurociencia cognitiva, así como en los estadios recientes de la teoría lingüística. Se buscará una explicación de mecanismos, principios y límites en el proceso de generación de estructura, caracterizada por unas propiedades fundamentales, que hagan justicia al mínimo de complejidad exigible en lo referente al lenguaje.

Al mismo tiempo, se aspirará a contemplar con suficiente profundidad la computación y el funcionamiento del cerebro, analizándose sus estructuras, dinámicas, y mecanismos generales. Asimismo, se revisará cómo de esa combinación surge el resto de

la mente, en especial la cognición de mayor nivel, prestándose por ende una atención insólita desde el ámbito de la lingüística a los dominios cognitivos de la consciencia, la atención, la memoria y el control ejecutivo. De este modo, se ofrecerá una visión del cerebro y la mente más compleja que la recogida en la lingüística, y se perseguirá una coherencia general entre las propiedades u operaciones del lenguaje y lo que uno puede aprender de la literatura de neurociencia cognitiva.

Con todo esto, espero mostrar que es posible una forma alternativa de hacer lingüística (teórica), más explicativa, en la que para integrar el lenguaje en la naturaleza no simplifiquemos en exceso o contradigamos, sin fundamento, otras disciplinas (ni nuestra propia investigación incluso). En esta línea, aunque el objetivo básico es el de proponer una implementación del lenguaje, se espera que el mismo, en los términos en que se concibe aquí, sea a la vez una facultad evolucionable, usable, adquirible, etc. desde el punto de vista de otros campos de conocimiento.

1.2 Metodología

Con el fin de cumplir los objetivos citados, se ha realizado una lectura prolija de la literatura de lingüística (generativista) y de neurociencia (cognitiva). En lo que concierne a la lingüística teórica, se ha tomado como punto de partida el marco teórico de la Gramática Generativa, por compartirse con la misma el estudio del lenguaje como un objeto natural, así como el planteamiento de preguntas que se consideran fundamentales para su comprensión. En lo relativo a la neurociencia cognitiva, se ha partido de obras introductorias para abordar, luego, artículos más específicos o avanzados. Se ha desarrollado así una base aceptable desde la neurociencia cognitiva acerca de las estructuras cerebrales y sus dinámicas y de los mecanismos que proporcionan a diversos dominios cognitivos en la cual es factible integrar en última instancia el lenguaje.

El presente trabajo se halla en las fronteras de diversas disciplinas donde se encuentran polémicas intelectuales y algunas “papas calientes”. A este respecto, cabe explicitar desde buen comienzo que el método para desarrollar nuestro modelo no puede consistir en abordar los vastísimos campos de conocimiento con los que lindan todas las cuestiones que se suscitan, lo cual obliga como en toda investigación a fijar límites en el objeto de estudio y las perspectivas desde las que se analiza. Por consiguiente, hago

hincapié en que el modelo se desarrolla fundamentalmente a partir de las dos disciplinas ya citadas, la lingüística teórica y la neurociencia (cognitiva), y más concretamente, desde dos posturas particulares que se discuten pormenorizadamente en la primera parte de la tesis. Esto no debe perderse de vista, porque el lector evitará generarse la expectativa de encontrar discusiones detalladas de los temas más próximos a su especialidad o que las respuestas se busquen a través de los mismos cauces. Es más, considero que en su justa medida el uso operativo de algunas nociones supone una ventaja y permite explicaciones más abarcadoras y resistentes al paso del tiempo y a la volubilidad de las teorías.

A pesar de encontrarme en esa suerte de trinchera fronteriza, es totalmente opuesto a la metodología aquí adoptada embarrarme en guerrillas intelectuales, prefiriéndose en cambio adoptar las ideas desbrozadas de debates y que contribuyan a construir el modelo más elegante posible. Así pues, quisiera que no se me encasille en ningún bando entre funcionalistas y generativistas, computacionalistas y conexionistas, neodarwinistas y antineodarwinistas, etc. y que se trate de recibir con las menores cargas posibles las hipótesis formuladas. De igual forma, desearía que no se encasille el trabajo en la biolingüística, con la que tampoco lo identifico aunque resultara útil en origen para enlazar los conocimientos del lenguaje con los que adquiriría después sobre el cerebro y la mente. En este sentido, creo (generalizando) que tanto la lingüística teórica como la biolingüística comparten el error metodológico de restringir el debate a su propio círculo, cuando fuera pueden encontrarse fuentes de conocimiento tanto o más interesantes, puras, y con las que establecer conexiones más directas que superen las respuestas a las principales preguntas que se plantean, especialmente acerca de la implementación del lenguaje que aquí investigamos.

Tanto en el caso de la lingüística teórica como en el de la neurociencia cognitiva, la revisión de la literatura se ha llevado a cabo con pensamiento crítico o desde una postura escéptica. Por consiguiente, me he cuestionado de forma sistemática la validez de las ideas, para llegar así a detectar las debilidades y las fortalezas de las diversas teorías. Esto ha permitido identificar elementos que obstan para la consecución de los objetivos de la tesis, como por ejemplo, por un lado, un exceso de modularidad y especificidad en la teoría lingüística y, por otro lado, una simplificación en la concepción del lenguaje por parte de la neurociencia cognitiva. Estas lagunas se han abordado para proponer una implementación del lenguaje, construida sobre las susodichas fortalezas y el

descubrimiento de convergencias entre las dos disciplinas, de modo que los aciertos de una complementen los puntos débiles de la otra.

Se puede considerar que el desarrollo del modelo teórico de la presente tesis sigue un método constructivista: una vez se ha fijado determinada concepción del funcionamiento del lenguaje, la mente y el cerebro, se ha propuesto una implementación teórica coherente con esos puntos de partida. Por lo tanto, con esta propuesta no se intenta alcanzar una verdad absoluta, sino que se ofrece una aproximación o una explicación plausible a la pregunta de la implementación del lenguaje asumiendo que el estado de la cuestión aquí descrito va bien encaminado.

La conexión entre lingüística y neurociencia cognitiva se ha establecido a través de la reflexión y la búsqueda de convergencias profundas. En este sentido, se ha priorizado un método racionalista, confiando más en paralelismos lógicos y abstractos entre lenguaje, otros dominios cognitivos y mecanismos cerebrales de menor nivel, que en datos o pruebas empíricas. Las construcciones o datos lingüísticos se han usado para ilustrar propiedades universales sobre las que cabe encontrar una explicación en términos cerebrales, y no como excepciones potenciales.

Además, para encontrar aquellas convergencias profundas se ha procedido a la inversa que en la práctica habitual en lingüística: en vez de analizar exhaustivamente el lenguaje y luego dar, si se puede, con algún correlato en la mente o en el cerebro, se ha preferido ir del análisis del cerebro a la mente, y de ahí al lenguaje. Mediante este método distinto, se ha tratado de llegar a hipótesis innovadoras que favorezcan la integración del lenguaje en su contexto natural, y reduciendo al mínimo las tendencias apriorísticas que pudiera tener habida cuenta de mi formación.

Para poder aunar conocimientos tan diversos de una forma comprensible, se ha fijado un nivel de análisis intermedio y se ha rehusado el abuso de aparato formal. En la misma línea, se incluyen revisiones de materias con las que lectores diversos pueden estar menos familiarizados. De este modo, se ha intentado poner las explicaciones lingüísticas y la introducción a las estructuras y oscilaciones cerebrales o a los dominios cognitivos al alcance, respectivamente, de otros científicos y de lingüistas. Con los mismos fines expositivos, se ha recurrido a figuras, tablas, o algunos diagramas sencillos que favorecieran la comprensión o la visualización de fenómenos complejos.

1.3 Organización de la tesis

La presente tesis se estructura en tres partes: “Un punto de partida”, “Del cerebro a la cognición. Estructura, dinámicas, mecanismos y cognición”, e “Implementación de mecanismos, principios y constricciones”.

1.3.1 Parte I.

A grandes rasgos, en la primera parte defino mi concepción personal del lenguaje e introduzco las premisas que asumo sobre la computación en el cerebro. Más concretamente, en el capítulo 2 se ofrece una concepción del lenguaje, basada en la lingüística teórica de corte generativista, así como algunas lecciones adquiridas de la neurociencia cognitiva y la biología. En síntesis, se describen propiedades fundamentales del lenguaje y las estructuras lingüísticas, principios y constricciones, que se enmarcan sin embargo en un contexto evolutivo, mental y cerebral coherente. Los fundamentos del lenguaje aquí identificados serán para los que se proponga una implementación en la tercera parte de la tesis.

En el capítulo 3, se apuntan las premisas que se asumen respecto al funcionamiento del cerebro. Para ello, se sitúa el nivel de análisis en una escala media entre las estructuras cerebrales y la cognición, y se pone énfasis en las dinámicas temporales de la actividad. Se defiende que la estructura y sus conexiones definen la función que se desempeña en el sustrato cerebral; que, además de esa la dimensión espacial, la temporalidad y las dinámicas de la actividad cerebral pueden proporcionarnos mecanismos; que esos mecanismos son, en realidad, neutrales, de modo que un mismo mecanismo en una estructura puede ser reclutado por diversos dominios cognitivos, y un dominio cognitivo puede reclutar mecanismos diversos; y que estos mecanismos se organizan formando una sintaxis neuronal.

1.3.2 Parte II.

En la segunda parte, utilizo un método inverso al común en lingüística. En vez de proceder del lenguaje a la mente, y de ahí al cerebro, procedo del cerebro a la mente, y de ahí al lenguaje. De esta forma, puedo sentar unas bases neutrales para proponer una implementación del lenguaje que se ajuste, con mayor probabilidad, al funcionamiento del cerebro descubierto independientemente.

En el capítulo 4, habida cuenta de la hipótesis de la localización funcional, se esboza una red básica a gran escala, analizando las principales estructuras cerebrales y las conexiones entre las mismas, para sentar así las bases de las funciones y mecanismos que se superpondrán más adelante. Para ello, se intenta revisar el cerebro en su conjunto, sin tendencias apriorísticas, como por ejemplo el cortico-centrismo. Se dedica, por lo tanto, bastante atención a estructuras subcorticales, que pueden ser igualmente relevantes en la ejecución de mecanismos (oscilatorios).

En el capítulo 5, se lleva a cabo una revisión de las oscilaciones cerebrales, que será la actividad a macro/mesoescala que tiene lugar en las estructuras analizadas en el capítulo 4, y que nos podrá proporcionar mecanismos más tarde. Así, se analiza desde su generación a nivel unicelular y poblacional, pasando por algunos principios de sus interacciones, hasta los mecanismos de bajo nivel que podrían aportar de una forma más bien neutral.

En el capítulo 6, se pone en común lo descrito en los dos capítulos precedentes, estableciendo qué estructuras analizadas en el capítulo 4 generan determinadas oscilaciones, analizadas en el capítulo 5. Los ritmos específicos que se identificarán respetarán y serán coherentes con la red y las propiedades de los mismos descritas previamente, sin que ello implique que se produzca siempre una relación de uno a uno entre estructuras y ritmos (los hay que requieren de la colaboración de múltiples estructuras, así como estas, con una organización interna compleja, pueden sostener varias oscilaciones).

En el capítulo 7, se discutirán las operaciones neutrales o prototípicas que pueden surgir a partir de esas estructuras con esas oscilaciones, y, en especial, la interacción entre estas últimas. Se ilustrará entonces la manera como los ritmos se organizan de forma jerárquica, y respetan o fundan una suerte de sintaxis neuronal.

En el capítulo 8, se analizarán los principales dominios cognitivos de mayor nivel estudiados por la neurociencia (atención, memoria, consciencia, control ejecutivo y el propio lenguaje). Se verá cuáles son los mecanismos oscilatorios que se les suponen; que están interrelacionados, en contraste con la modularidad que se atribuye tradicionalmente al lenguaje; y se comprobará que cuadren con todo lo discutido previamente. Aparte, una revisión exhaustiva de la neurolingüística será de utilidad para identificar lagunas explicativas que subsanar en la tercera parte de la tesis. Toda esta revisión sentará las bases del sustrato neuronal, las oscilaciones, y las operaciones usadas

independientemente en la cognición, con las cuales se fundarán más adelante paralelismos con las operaciones lingüísticas. Por ende, se será consecuente con la hipótesis de que el lenguaje se ha construido evolutivamente sobre los mecanismos de dominios cognitivos preexistentes.

1.3.3 Parte III.

Por último, en la tercera parte, propongo, basándome en todo el trabajo previo, una implementación de mecanismos lingüísticos en términos de estructuras cerebrales y sus dinámicas, fundando paralelismos con otros dominios cognitivos; se explica cómo a partir de su combinación puede generarse estructura con las propiedades sintácticas fundamentales del lenguaje; y se plantea una manera de que las constricciones sobre esa generación de estructura emerjan de los límites que sufren los mecanismos cerebrales que las generan.

En el capítulo 9, se conectarán los mecanismos del lenguaje analizados en el capítulo 2 con los de otros dominios cognitivos, así como con las dinámicas y las estructuras cerebrales analizadas a lo largo de la parte II desde un punto de vista neutral. Así, se propondrá una implementación plausible de las operaciones de selección, proyección, ensamble y transferencia basada en conocimientos que trascienden el propio lenguaje, teniéndose en cuenta mecanismos oscilatorios en la interacción de *gamma*, *beta*, *alpha* y *theta*, utilizados también en la memoria, la atención, la consciencia y el control ejecutivo, y que implican diversas estructuras corticales y subcorticales.

En el capítulo 10, se revisarán las diferentes concepciones de cómo se genera estructura sintáctica a partir de los mecanismos previos. Al analizar con detalle la teoría de fases y su relación con la estructura sintagmática, el resultado será una simplificación del todo bienvenida, en la que se fundirán ambos enfoques por considerarse medios formales distintos de llegar a una misma realidad subyacente. Conforme a esto, el sistema generará básicamente tres tipos de elementos en la estructura sintáctica, con propiedades generales que pueden relacionarse con funciones de la memoria de trabajo y de ritmos concretos.

En el capítulo 11, propondré, en primer lugar, qué ritmos concretos pueden implementar o identificar cada uno de los tres elementos notados arriba. En segundo lugar, se expondrá cómo la interacción de los mecanismos oscilatorios (del capítulo 9) puede generar una estructura sintáctica (como la discutida en el capítulo 10), con

determinadas propiedades universales (destacadas en el capítulo 2). En síntesis, se mostrará que una sintaxis neuronal consecuente con las operaciones implementadas previamente, y gobernada por determinados principios, puede constituir la base de la sintaxis lingüística tal como la concebimos en lingüística.

En el capítulo 12, propondré una implementación de las constricciones de localidad del lenguaje, formulando la hipótesis de que podrían surgir de fenómenos de localidad que tendrían lugar en las propias estructuras cerebrales y sus dinámicas (sincronizadas “ambiguamente”). Así pues, algunos límites en el procesamiento lingüístico podrían ser el resultado de los límites en los patrones oscilatorios de la sintaxis neuronal desarrollada arriba. Con esto, al igual que en los capítulos 11 y 9, se subsanarán algunas carencias tanto de la neurolingüística como de la lingüística.

En el capítulo 13 y último, recogeré las conclusiones que se derivan del modelo de la presente tesis y qué repercusión o interés pueden tener sobre la lingüística, y, tal vez, con una ambición hartamente mayor, en disciplinas afines. No sólo se sintetizará cómo podría implementarse el lenguaje de una forma compatible con la neurociencia cognitiva, sino que la visión aquí ofrecida facilitará explicaciones de la evolución del lenguaje, su uso y, posiblemente, su adquisición, que sean compatibles y respeten las ideas fundamentales de otras disciplinas científicas, como la biología o la psicología.

1.4 Secciones correspondientes a resultados y discusión

Debido al carácter cabalmente teórico y poco empírico de la tesis, así como a los objetivos propuestos y a la metodología empleada, es difícil (y, desde un punto de vista expositivo, inconveniente en este caso en particular) establecer una división rotunda entre los resultados y la discusión de la investigación. De hecho, esta es una característica de la lingüística teórica, con la que, a pesar de los intentos de superación, podría asociarse el presente trabajo. De una forma vaga, si entendemos por resultados el producto más frío o menos sujeto a interpretación de la investigación, estos podrían predominar en las partes I y II de la tesis. Por el contrario, si con discusión nos referimos a la interpretación, el cuestionamiento, la reflexión... más personales de la investigación, podríamos hallar más de discusión en la tercera parte de la tesis. No obstante, esta sería una distinción arbitraria en términos absolutos. A lo largo de toda la tesis, las teorías que se analizan se discuten

al mismo tiempo, y las propuestas y discusiones tienen como base los resultados, bien de otras investigaciones, bien de la propia. Por consiguiente, resultados y discusión están, en realidad, entremezclados en los capítulos que siguen (excepción hecha de las conclusiones), por lo que esta estructura potencial a este respecto, típica de otro tipo de trabajos, puede considerarse aquí fundida.

*Parte I: Un punto de
partida*

2 Una concepción del lenguaje y su integración en la (neuro)cognición

En este capítulo se realiza una revisión de la lingüística teórica en el marco de la gramática generativa, haciéndose hincapié en la evolución del pensamiento chomskyano pero desde una postura crítica en todo momento (§ 2.1). Se estructura en torno a cinco cuestiones fundamentales para el estudio del lenguaje, cuya discusión se pone en paralelo con el desarrollo histórico de la corriente (§§ 2.1.1 y 2.1.2). A lo largo de sus principales etapas: Teoría Estándar (§ 2.2), Principios y Parámetros (§ 2.3), el Programa Minimista (§ 2.4), la Biolingüística (§ 2.5) y lo que podría (y debería) ser el futuro reciente de la lingüística teórica (§ 2.6), se destacan los principales avances y su influencia en la concepción del lenguaje, así como aquellos “errores” conceptuales que van lastrando la aproximación a una teoría del lenguaje integrada en la ciencia y la naturaleza. El abordaje de estos “desafíos” se realiza a partir del conocimiento que proporcionan otras disciplinas, como la neurociencia cognitiva o la biología (v. por ejemplo §§ 2.4.1 y 2.5.1). Por último, se ofrece una visión del lenguaje que aúne todas las propiedades, principios y límites que, con independencia del momento histórico, se han revelado como definatorios y explicativos respecto a la facultad, y para los cuales se ofrecerá una implementación a partir del conocimiento sobre el cerebro y la cognición adquirido en el resto de la tesis (§ 2.7).

2.1 Partiendo de Chomsky

Son múltiples las perspectivas desde las que se ha abordado el estudio del lenguaje. Con mucha frecuencia, en lingüística teórica los autores declaran su afiliación a cierta línea de pensamiento, y dedican esfuerzos a desacreditar la visión considerada opuesta. Sin embargo, en la presente tesis, prefiero invertir el tiempo y el espacio en

ofrecer, tan pura como pueda, la que me parece la mejor concepción del lenguaje: una que sea válida transdisciplinariamente y conciliable con hallazgos de otros campos científicos. Por lo tanto, en la medida de lo posible, no me entretendré en guerrillas lingüísticas (internas, externas, a gran escala ni a pequeña escala, v. Newmeyer 1996 para algún ejemplo).

Habrà quien esté tentado de encasillar este trabajo en la corriente de la Gramática Generativa, pero, con un mínimo de paciencia, se verá que las hipótesis aquí defendidas pueden ser neutrales, e incluso opuestas al generativismo, como en el caso de la discusión sobre la inclusión del lenguaje en el contexto más amplio de la cognición, la evolución y el cerebro. De este modo, el punto de partida es netamente chomskyano en la medida en que se trata el lenguaje como un objeto natural y se apoptan algunas de las premisas postuladas por Chomsky. En la presente tesis, se comulga con su concepción internista del lenguaje, entendido como una facultad de la mente y de la especie que debe ser estudiada como cualquier otro sistema biológico u objeto natural en general. Se comparte hasta cierto punto, pues, la manera chomskyana de investigar el lenguaje: la búsqueda de explicaciones sistemáticas a diversos fenómenos, la invocación de principios abstractos, la persecución de la simplicidad, la idealización (en el sentido de desatender demasiadas variables) del objeto de estudio... que son los procedimientos comunes en las ciencias naturales (Eguren y Soriano 2004).

Aparte, la teoría chomskyana es útil para ofrecer una idea del lenguaje que haga justicia al grado mínimo de complejidad que exige la descripción de propiedades fundamentales que pasan desapercibidas para la neurolingüística, que caracteriza el lenguaje de un modo demasiado simplista. No obstante, esto no conlleva seguir ciegamente todas las ideas chomskyanas, como el exceso de especificidad, el modularismo, etc. De hecho, este capítulo tiene la función, entre otras, de pulir esos problemas y proponer una concepción del lenguaje enmarcada en la cognición en general, coherente con la arquitectura de la mente, con el funcionamiento del resto de sistemas, y lógica en términos evolutivos.

2.1.1 El quinteto de cuestiones fundamentales para el estudio del lenguaje.

Hay cinco cuestiones fundamentales para el estudio del lenguaje si aspiramos a comprenderlo en el contexto amplio de la naturaleza (v. Boeckx y Grohmann 2007a). Las

cinco preguntas, recogidas en Chomsky y Lasnik (1993), pueden parafrasearse como sigue:

1. ¿Qué es el conocimiento del lenguaje?
2. ¿Cómo se adquiere el conocimiento del lenguaje?
3. ¿Cómo se usa el conocimiento del lenguaje?
4. ¿Cómo evolucionó la facultad del lenguaje?
5. ¿Cómo está implementada la facultad del lenguaje en el cerebro?

El gran potencial teórico de este quinteto reside, más que en las cuestiones individuales, en la fuerza de su conjunto. Esto es: la verdadera respuesta será aquella que pueda sostenerse frente a los cinco problemas al mismo tiempo. Entonces, puede ser preferible una respuesta parcial a una pregunta individual, pero compatible con las demás, a una respuesta muy exhaustiva a una cuestión, pero que sea irreconciliable con el resto. Las preguntas tienen, además, otra virtud, que es también una exigencia: la respuesta satisfactoria sólo puede ser multidisciplinar, requiriéndose conocimientos, además de lingüística, de neurociencia cognitiva, biología evolutiva, psicología del desarrollo, etc. (Boeckx 2010). Sólo cuando se cumpla con ese deber transdisciplinar se podrá superar la cerrazón en sí misma de que adolece la lingüística.

2.1.2 La preeminencia de cada una de estas cuestiones en el desarrollo de la Gramática Generativa.

El desarrollo del generativismo es más o menos coherente con el planteamiento sucesivo de las cinco cuestiones citadas. Cada una de sus etapas se corresponde, aproximadamente, con la incorporación al estadio teórico previo de una nueva pregunta, o bien con una respuesta más plausible a la ofrecida con anterioridad y que remodela la concepción del lenguaje. Así pues, estructuraré la exposición resiguiendo, a grandes rasgos, la concepción del lenguaje a lo largo de la historia del generativismo, seleccionando aquellas ideas que hayan resistido el paso del tiempo a la luz de las preguntas 1-5 e incorporando ideas ajenas cuando las respuestas de esa corriente no sean satisfactorias. Al final, daré una concepción propia del lenguaje, dedicando mayor reflexión a la pregunta 5 y a las lecciones que la neurociencia cognitiva nos proporciona. Veremos también cómo la incorporación sucesiva de preguntas nos fuerza a reducir la supuesta complejidad del objeto de estudio. Aunque esto pudiera causar la impresión de que perdemos cobertura empírica, no es así: la repartimos entre más niveles, y ganamos

en profundidad. En realidad, la verdadera explicación procede siempre de la simplicidad, no de la complejidad (v. Boeckx 2006).

Con todo, en apariencia puedo pecar de un cierto sintacticocentrismo que también aqueja el generativismo. Esto puede justificarse por varios motivos. Primero, parece que la sintaxis consiste en un conjunto de operaciones que son más conciliables con los mecanismos empleados en la cognición de alto nivel, en la que pretendo integrar el lenguaje. Segundo, se trata de un componente del lenguaje con mucha universalidad, la cual es un requisito imprescindible cuando se propone una implementación cerebral del lenguaje. Tercero, el componente sintáctico es el peor estudiado en neurolingüística, donde se concibe de una forma simplista y desconectada del resto de la cognición. Con todo, los mecanismos que se propondrán no son específicamente sintácticos, aunque se correlacionen con operaciones que desde cierto nivel parezcan sintácticas. Es más, se concebirán como neutrales y, por ende, al servicio de otros dominios cognitivos (v. § 3.3).

Las secciones siguientes presentan tanto una progresión temporal como temática de la teoría chomskyana, lo cual puede relacionarse al mismo tiempo con una progresión o un proceso de cambios en el aparato formal con el que se ha intentado representar el conocimiento lingüístico. No obstante, a lo largo de este desarrollo de la lingüística teórica, no existen correspondencias exactas entre lo temporal, lo temático y lo formal, como tampoco se producen transiciones abruptas en la teoría. Esta no avanza como un todo homogéneo, siendo internamente muy compleja, ni se transforma de la noche a la mañana. La organización de la discusión se basa, por consiguiente, en tendencias y aproximaciones. El aspecto temático recibirá aquí prioridad, haciéndose hincapié en cómo las diversas preguntas han ido redefiniendo la concepción del lenguaje.

En este sentido, podemos empezar asociando, primero, la teoría Estándar (desde mediados de los 50 hasta finales de los 70) con el sistema de reglas y transformaciones y, en segundo lugar, la etapa de Principios y Parámetros (entre comienzos de los 80 y los primeros años de los 90) con el amplio uso del esquema X', un sistema más representacional y modular de principios y los parámetros asociados a los mismos. Posteriormente, la etapa del Minimismo (desde mediados de los 90 hasta más o menos la actualidad), puede relacionarse con principios relativamente generales, una concepción más derivacional en que la sintaxis consistiría en la aplicación sucesiva de mecanismos (con el paso del tiempo más y más ligados a las fases) y una estructura de frase escueta (*bare phrase structure*) que representa la estructura generada. En cuarto lugar, la etapa de

la Biolingüística (cuyo inicio se fijaría en la colaboración de Chomsky, Hauser y Fitch en 2002 y sigue vigente en la actualidad) puede asociarse a un aparato formal de corte minimista pero tremendamente empobrecido, y a algún principio vago del denominado tercer factor; Finalmente, en lo que he etiquetado como “futuro”(que podríamos asociar forzosamente con Berwick y Chomsky 2016 por ser el trabajo de Chomsky, por lo que sé, donde se discute más sobre el cerebro) el aparato formal sigue en decadencia o reducido a la mínima expresión, abriéndose el paso hacia un aparato formal distinto que abordamos en los capítulos finales de la tesis.

2.2 El conocimiento. Teoría estándar (extendida)

La primera pregunta que se plantea Chomsky para el estudio científico del lenguaje es: qué es el conocimiento lingüístico. Quizás, antes cabría dar una respuesta a qué es el conocimiento en general. Para ello, basándonos en la visión general que se desprende de libros de biología y neurociencia cognitiva (v. Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016, Redolar 2013), se dará una mera definición “operativa”, en el sentido de que permita seguir con la discusión acotando mínimamente qué se tiene en mente¹⁰. El conocimiento podría consistir en información codificada en el cerebro, con independencia del origen (genético, en el entorno/experiencia o en la combinación de ambos factores). Entonces, el conocimiento se parecerá a la memoria, si por memoria entendemos las huellas que deja la experiencia en la estructura cerebral. A su vez, esto requiere una definición de qué es la “información”, para lo cual volveré a esbozar una noción operativa: sería toda relación sistemática y coherente entre un estímulo (externo o interno) y la actividad o modificaciones en la estructura cerebral útil para predecir situaciones similares y responder frente a ellas. Por tanto, el conocimiento lingüístico que uno desarrolla no abarca la totalidad del procesamiento lingüístico, donde la información está activa y se manipula mediante mecanismos que trascienden las huellas de memoria.

Sin embargo, cuando en teoría lingüística se habla de conocimiento del lenguaje parece abarcarse el lenguaje en su totalidad, pudiendo asociarse a reglas estáticas, cuando el procesamiento cerebral es dinámico. Además, afirmar que los mecanismos se aplican

¹⁰ Debo a una comunicación personal de Xavier Lamuela la idea de que sin “nociones operativas”, que nos permitan definir ciertos conceptos complejíssimos de una forma suficiente para seguir trabajando, nos estancaríamos en debates inacabables sobre la ontología de las cosas.

conforme a unas reglas sigue dejando huérfanos de explicación los mecanismos en sí, y estas, de poder rastrearse en algún dominio cognitivo, se encontrarían en el sistema de control ejecutivo, que es, como se discutirá en § 8.5, uno de los menos comprendidos. Aquí se distinguirá, por el contrario, entre el conocimiento, que vagamente podemos asociar a las representaciones, y los mecanismos que las manipulan, relacionan y estructuran. Volviendo al paralelismo con la memoria, cuando se forman las huellas, se van adquiriendo recuerdos, conceptos, etc., pero estos no explican todo el procesamiento relacionado con la memoria. Falta una parte vital de los mecanismos de codificación, mantenimiento, y recuperación de los recuerdos, que uno no aprende, por derivarse del funcionamiento general del cerebro.

2.2.1 La universalidad como componente del conocimiento.

Seguramente, la idea más popular de qué sabemos cuando sabemos una lengua es la proporcionada por la gramática de corte tradicional (algo parecido a lo que se suele enseñar en clase de lenguas no nativas). En ella, se caracteriza el conocimiento lingüístico centrándose en las construcciones específicas de una lengua, haciendo hincapié en las arbitrariedades (de origen cultural) que la harían distinta a las demás. Por el contrario, Chomsky (1965) centra su interés en las regularidades (de causa natural) observables en todas las lenguas humanas. Aspira así a desentrañar el componente universal que se deberá, en última instancia, a la dotación biológica que canaliza en cada individuo el desarrollo y uso de la facultad del lenguaje. Sin esta caracterización de las regularidades no puede darse una respuesta completa a la pregunta de qué es el conocimiento del lenguaje.

2.2.2 Rasgos definitorios del lenguaje.

2.2.2.1 Constituyentes y categorías.

Un rasgo definitorio del lenguaje es que las secuencias de elementos de las oraciones pueden fragmentarse en *constituyentes* menores que se comportan como unidades a ciertos efectos sintácticos y cuyos integrantes establecen relaciones más estrechas entre sí que con el resto de piezas de la oración. Para identificarlos a nivel

sintáctico, se les aplican pruebas como la elisión, la sustitución, la coordinación, el desplazamiento o el aislamiento (v. Bosque y Gutiérrez-Rexach 2009).

A cada constituyente se le suele atribuir una *categoría*, esto es, los objetos se agrupan en conjuntos mayores con una propiedad que los caracteriza. La categoría atribuida al conjunto es afín a la naturaleza del miembro más prominente del conjunto. Por ejemplo, en la siguiente oración (1), las dos unidades que forman [comer patatas] están más unidas entre sí que con el resto; se comportan como un único elemento sintáctico y se pueden categorizar como Sintagma Verbal (SV):

(1) Quiero [_{SV} comer patatas]

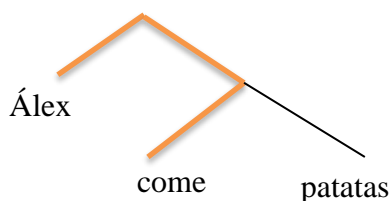
El constituyente *comer patatas* responde satisfactoriamente a las pruebas de constituyentes, como por ejemplo el aislamiento: en respuesta a una pregunta como “¿Qué quiero?” se puede decir “Comer patatas”; la sustitución: puede reemplazarse el conjunto por otro elemento similar, como en la oración “Quiero bailar”; la coordinación: el conjunto se puede coordinar con otro de la misma naturaleza “Quiero comer patatas y beber agua”; etc.

2.2.2.2 Organización jerárquica.

Los constituyentes, además, no forman una mera secuencia lineal, sino que están organizados jerárquicamente debido a la organización temporal de su combinatoria (v. § 11). A este respecto, cabe asumir que la combinación es mínima (de dos unidades a la vez; v. Kayne 1984) y acumulativa, no sobrescribiendo ni destruyendo pasos previos (v. § 2.4.4). Así pues, las relaciones sintácticas (y semánticas) entre las piezas se establecen de acuerdo a una estructura jerárquica que pasa desapercibida a simple vista. Por ejemplo, en “Álex come patatas”, en español el verbo concuerda con el elemento con el que establece determinada relación jerárquica con independencia del orden lineal (el especificador)¹¹:

¹¹ La concordancia, en este caso del español, es sólo una manera de manifestar morfológicamente una relación general que se establece en las estructuras sintácticas entre núcleos y especificadores, a diferencia de, por ejemplo, la que puede establecerse entre el núcleo y el complemento (no se entrará en discutir si los complementos ascienden o no a categorías funcionales para concordar). A su vez, esta distinción se basa en la organización jerárquica de los elementos que, más allá del orden lineal, componen la estructura sintáctica, aplicable a cualquier lengua (sea más o menos evidente) y en la cual los

(2) a. [Álex [come [patatas]]]



b. *Patatas*, come Álex (enfatiando *patatas*).

c. *Álex comen patatas.

d. *Patatas, comen Álex.

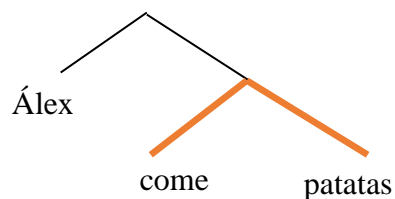
2.2.2.3 Relaciones (locales) sintácticas y semánticas.

De la combinación (jerárquica) de estos constituyentes (categorizados) surgen relaciones de tipo sintáctico y semántico. Tradicionalmente, se ha defendido que los elementos sintácticos de una oración cumplen determinada *función* con respecto a otros, de modo que al hablar de una función sintáctica (y semántica) estamos empleando una noción *relacional* (Chomsky 1965). Por ejemplo, *patatas* es un elemento que puede categorizarse por sí sólo como nombre (N), pero en (1) es objeto del verbo *comer*, con el que además se establece una relación semántica en que entendemos que las patatas son lo que sufre la acción denotada por el verbo *comer* (presenta el *papel temático* de *tema*). Nótese que esta relación depende nuevamente de la estructura resultante de cómo se han combinado los elementos. Así, se establece una relación de verbo-objeto entre *come* y *patatas* (3) y de sujeto-predicado entre *Álex* y *come patatas* (ambas marcadas con línea roja continua) (4), pero no se establece ninguna relación tan evidente a nivel semántico entre *Álex* y *patatas* (5) (línea roja discontinua)¹².

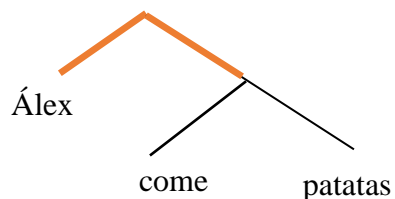
especificadores (posición en que se encuentra “Álex”) están más altos que los complementos (posición de “patatas”).

¹² Desde un punto de vista interno a la teoría, se establecen determinadas relaciones estructurales, como el “mando de constituyentes” (mando-C, v. Reinhart 1976): *Álex* no domina directamente a *patatas*, pero todo nudo que domina a *Álex* (el vértice de la línea discontinua, por así decirlo) también domina a *patatas*. Como no puede decirse lo mismo de *patatas* respecto a *Álex*, es una relación de mando-C *asimétrico*. La relación de mando-C parece ser un requisito para legitimar o bloquear algunas construcciones. Por ejemplo, en el caso del ligamiento de pronombres, podemos decir “Álex se come a sí mismo”, estableciendo una relación entre *Álex* y *sí mismo*, gracias a que el primero manda-C al segundo; en cambio, en la oración “*El hijo de Bea se come a sí misma”, algo parece bloquear que *Bea* se relacione de la misma manera con *sí misma*. Una posible explicación es que *Bea* no manda-C a *sí misma* o, visto de

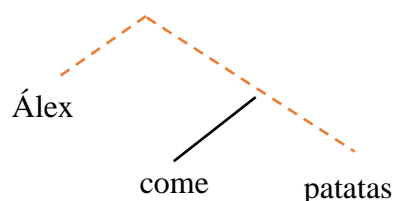
(3)



(4)



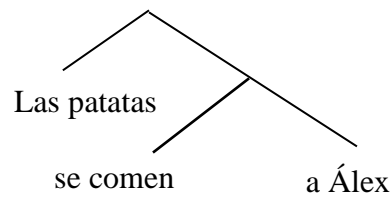
(5)



Las líneas continuas reflejan, además, relaciones “locales”, esto es, entre elementos cuya combinación ha sido directa o en un único paso (v. Kayne 1984). Asimismo, la posición estructural está directamente relacionada con la interpretación semántica. Por ejemplo, en un mundo imaginario donde las patatas fueran depredadores, podríamos decir que “Las patatas se comen a Álex” y, en virtud de la distinta combinación de elementos y de la distinta estructura que resultara de ello, las patatas pasarían a ser el sujeto y a interpretarse como agente. Al combinarse de forma distinta, los elementos establecerían relaciones diferentes con el verbo *comer*, en este caso:

otro modo, está demasiado incrustada en la estructura jerárquica (o existe demasiada distancia temporal entre la combinación de esos elementos).

(6)



2.2.2.4 Creatividad y recursividad.

Otra propiedad universal del lenguaje es su *aspecto creativo* (Chomsky 1957, 1965). En este sentido, se defiende que el lenguaje es capaz de expresar infinidad de pensamientos a partir de la combinación de elementos discretos (como las palabras). En las consabidas palabras de Humboldt, recuperadas por Chomsky, el lenguaje hace “uso infinito de medios finitos”. Tanto las operaciones sintácticas como las piezas combinables son limitadas, pero se pueden reutilizar *recursivamente*. De hecho, esta propiedad se erigirá en el rasgo definitorio del lenguaje e incluso del pensamiento humano por excelencia (según la tradición), en contraposición a las capacidades de otros animales (con lo que uno podría discrepar, v. § 2.5). Por ejemplo, podemos alargar “hasta el infinito” la secuencia de (7) añadiendo complementos preposicionales con *de*:

(7)[Alex [come [patatas [del huerto [del amigo [del vecino [de ...]]]]]]]]

2.2.2.5 Condiciones.

A pesar de ello, parece que la combinación infinita de elementos finitos debe respetar ciertas condiciones, como las impuestas por propiedades de los mismos elementos que se combinan. Por ejemplo, en el uso más extendido, *comer* siempre necesita ir acompañado de algo que sea comida (que estará categorizado como SN), que este algo sea comestible (aunque no aparezca realizado fonéticamente en la oración, se asume su existencia) y que sea un constituyente .

- (8) a. # Alex come luz.
b. *Alex come que sea carne
c. . *Alex come patatas carne.

A este respecto, se defiende que en construcciones como (8b) se viola un conocimiento más de tipo formal o sintáctico (en etapas posteriores de la teoría se ha apelado al filtro de caso, al criterio temático, a la ausencia de un rasgo de selección de *comer*, etc.); mientras que en construcciones como (8a) habría una violación más de conocimiento del mundo (qué cosas son, en principio, comestibles). No obstante, en ambos casos los *rasgos* o las propiedades del elemento relevante (*comer*) imponen condiciones sobre su combinatoria.

2.2.2.6 Relaciones a distancia y uniformidad subyacente.

Además de las relaciones locales, el lenguaje es capaz de establecer relaciones a distancia entre los elementos. Si las primeras se establecían por combinación directa, las relaciones globales, en cambio, serían más indirectas, englobando más pasos combinatorios o requiriendo de una mayor memoria del proceso de construcción de la frase. Esto se asocia al hecho de que los elementos que se encuentran prototípicamente en una posición de la oración (llámese A), pueden aparecer en otra (llámese B). Cuando esto ocurre, el elemento parece interpretarse en parte en la posición A y en parte en la posición B. La “metáfora” visual que se usa en la corriente generativista es que las piezas se han “movido” a posiciones estructurales distantes. De esta forma, las relaciones a distancia se establecerían entre el elemento “movido” y la posición desde donde habría partido ese movimiento¹³. Por ejemplo, partiendo de una frase como “Álex come patatas”, podemos crear pequeñas variantes mediante el reordenamiento de los elementos, sin que el significado básico de la oración se resienta demasiado. Esto ocurre cuando formulamos una pregunta (a partir de “Álex come qué”) (9a) o cuando, al enfocarnos más en el objeto de la acción que en el agente, formamos una pasiva (9b).

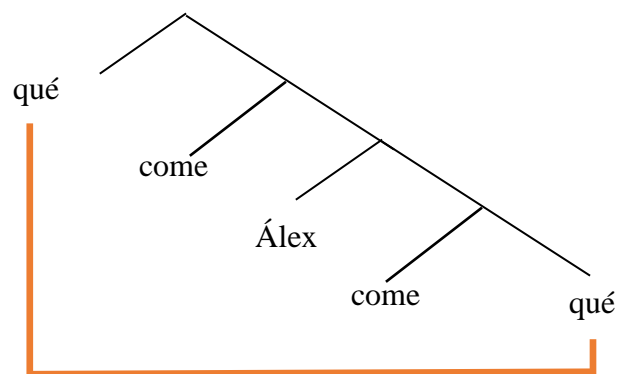
(9) a. ¿Qué come Álex?

b. Las patatas son comidas por Álex.

¹³ Incluso los casos de ligamiento, en que aparentemente se establece una relación a distancia entre elementos distintos (antecedentes y pronombres) sin que hubiera movimiento, se han explicado en estos términos (así como los de control, v. Hornstein 2000, Kayne 2002). Por ejemplo, “Álex se come a sí mismo” tendría como base algo del estilo “Álex come Álex”, pero el *Álex* más bajo en la jerarquía se realizaría fonéticamente mediante la expresión anafórica.

Es evidente que existe una uniformidad semántica de fondo entre las frases “Álex come patatas”, “¿Qué come Álex?” y “Las patatas son comidas por Álex”. Es decir, hay una relación abstracta entre construcciones superficialmente distintas, pero semánticamente muy similares en el fondo. Chomsky postula que esa relación se establece mediante el desplazamiento del elemento, que relaciona dos posiciones sintácticas, la de origen y la final. Por ejemplo, en el caso de la pregunta, el interrogativo *qué* se desplaza desde una posición baja en la estructura hasta una posición más alta, creando una relación a distancia (y provocando la inversión del sujeto y el verbo, reflejo del ascenso del verbo, seguramente).

(10) ¿qué come Álex ~~come~~ qué¹⁴?



Asumiendo que la estructura se genera paso a paso, para poder relacionar los elementos a distancia, necesitamos capacidad de memoria suficiente para saber, en un momento dado del proceso, qué había ocurrido antes (en ocasiones, se habla de un proceso de “reconstrucción”, conforme al cual básicamente se devuelve mentalmente la pieza desplazada a la posición de origen para poder interpretarla). De esta forma, se afirma que *qué* puede interpretarse como objeto del verbo gracias a encontrarse en la posición de origen y como “interrogativo” gracias a encontrarse en la posición final. Así pues, debemos mantener activa la representación del primer *qué* (estructuralmente más bajo) para saber que se trata justamente de ese elemento cuando volvemos a utilizarlo en el tramo final de la estructura. A pesar de que esta propiedad del “movimiento” de

¹⁴ Se emplea aquí la notación de copia y borrado, más reciente, en vez de la de huella, para ilustrar más claramente la doble posición en que se ha encontrado el elemento. Normalmente, se realiza fonéticamente sólo la copia más alta del elemento movido.

constituyentes pueda sorprender de entrada a los no lingüistas, parece un hecho universal del lenguaje.

2.2.3 Dispositivo teórico para expresar esas características. Reglas y transformaciones.

Los universales del lenguaje forman parte del conocimiento lingüístico de cualquier hablante (en condiciones normales), por lo que Chomsky (1957, 1965) plantea la necesidad de crear un dispositivo teórico que pueda explicarlos. Para ello, se propone que el conocimiento gramatical del hablante consiste en un sistema de reglas capaces de asignar información estructural a las expresiones potencialmente infinitas que se generan. La aplicación consecutiva de las reglas se denominará *derivación*.

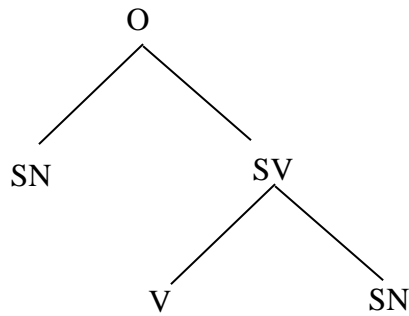
2.2.3.1 Reglas.

Para las relaciones locales (constituyentes, jerarquía, categoría, etc.), Chomsky (1965) formula reglas de estructura sintagmática (*phrase-structure rules*), que postulan que una categoría (situada a la izquierda), a la que le corresponde un símbolo (N, SV...), se “reescribe” o reanaliza mediante otra u otras (situadas a la derecha).

$$\begin{aligned}(11) \quad O &\rightarrow SN \text{ SV} \\ \text{SV} &\rightarrow V \text{ SN} \\ \text{SN} &\rightarrow N\end{aligned}$$

El propio formato de las reglas define la estructura resultante (se podría capturar asimismo el orden de los constituyentes, de cuestionable relevancia para los fenómenos sintácticos, en los que la jerarquía es mucho más determinante). Esto es, con independencia del orden en que se apliquen, de las de (11) sólo puede surgir la siguiente estructura, lo cual acaba estipulando más o menos el formato típico de la oración (se omite por razones expositivas la estructura interna de SN):

(12)



En este sistema, los constituyentes equivalen a las categorías representadas por símbolos (N, SN, etc.); la jerarquía surge de la aplicación sucesiva de las reglas; las relaciones locales, que típicamente han determinado las funciones sintácticas y semánticas, son reflejadas asimismo por el conjunto de elementos que reescriben una categoría (a la derecha en las reglas). Además, basta permitir que una categoría se incluya a sí misma indirectamente mediante otra regla, para que se pueda expresar la capacidad de generar expresiones potencialmente infinitas (*recursividad*):

(13) $SN \rightarrow N SP$

$SP \rightarrow P SN$

2.2.3.1.1 Un lexicón para los nudos terminales.

Al final de las computaciones lingüísticas nos encontramos palabras, y no símbolos categoriales abstractos. Por consiguiente, las categorías (*terminales*, esto es, que no son objeto de más reescrituras) de las reglas deben ser reemplazadas por ítems léxicos, lo cual se cubre con la existencia de un lexicón (una suerte de diccionario mental). Como discutíamos arriba, las piezas del lexicón podrían contener información (llamada *rasgos*) relevante para su combinación e interpretación (por parte de otros sistemas no sintácticos). Según Chomsky (1965), esta información, codificada ya en las mismas piezas, consta de rasgos fonológicos (lo que pronunciamos); rasgos semánticos (el concepto que entendemos, la representación que nos construimos del objeto en el mundo); y rasgos sintácticos, que especificarían la categoría de la palabra (*comer* es un V), con qué otras categorías se combina (*comer* requiere un SN que haga de objeto, lo cual se conoce como *subcategorización*) y qué propiedades deben tener, a su vez, estas categorías

(por ejemplo, *comer* busca un objeto como *patatas* que sea [-animado], en lo que se conoce como *selección*). Con todo, este conglomerado de información en las piezas léxicas complica la teoría (y haría lo mismo con la exposición, por lo que no nos extenderemos), haciendo que los símbolos categoriales de las reglas, a pesar de parecer simples, sean en realidad un complejo de rasgos de distinta naturaleza.

2.2.3.2 Transformaciones.

El aparato teórico que usa Chomsky (1965) para capturar las relaciones no locales son las *transformaciones*. Básicamente, consisten en otro tipo de reglas en que se genera una estructura nueva (*cambio estructural*, CE) a partir de otra previa (*descripción estructural*, DE), cuyo origen es el resultado de la aplicación de reglas de estructura sintagmática. La transformación se consigue mediante el reordenamiento de los símbolos (aunque puede haber también supresión o inserción de elementos). Por ejemplo, para formar una pregunta, debemos invertir el orden sujeto-verbo y hacer que el interrogativo encabece la oración (ejemplos inspirados en Eguren y Soriano 2004):

(14) a. Inversión sujeto verbo:

DE: N V N (Álex come qué)

1 2 3

CE: 1 2 3-> 2 1 3 (come Álex qué, V N N)

b. Formación de interrogativa parcial:

DE: V N N (come Álex qué)

1 2 3

CE: 1 2 3 -> 3 1 2 (qué come Álex, N V N)

Junto a transformaciones que se pueden aplicar libremente, hay otras que requieren ciertas condiciones para ser aplicadas, tal vez en función de los rasgos. Por ejemplo, una regla transformacional que implique el borrado del objeto (en oraciones intransitivas) necesita que el verbo no requiera su presencia, como sucede con *comer* frente a *tener* (que no admite tal transformación):

(15) Formación de intransitiva:

DE: N V N (Álex come X)

1 2 3

Condición: el verbo no requiere la presencia de objeto (tiene cierto rasgo)

CE: 1 2 3 -> 1 2 (Álex come, N V)

En resumen, determinadas construcciones requieren de la aplicación de una o más transformaciones, quizás bajo ciertas condiciones (léxicas). La función básica es el reordenamiento de elementos (partiendo de posiciones estructurales, no lineales). Se pueden recoger así relaciones a distancia y relaciones sistemáticas entre frases de distinto tipo.

2.2.3.3 Estructura profunda y estructura superficial.

En relación con las reglas y las transformaciones, Chomsky (1965) postula también la distinción *estructura profunda* y *estructura superficial*. La primera es fruto de aplicar las reglas de estructura sintagmática, donde se establecen las relaciones sintácticas locales y las semánticas más básicas y uniformes (intra y translingüísticamente). La segunda, en cambio, es producto de las transformaciones, donde se determina la forma (fonética) de las expresiones, más sujeta a variación y cuyas repercusiones semánticas son menores. La distinción entre estructura superficial y profunda apunta, además, a que el lenguaje se relaciona con otros sistemas externos interpretativos, unos más relacionados con la externalización de la estructura y otros más asociados a la semántica (v. § 2.4).

2.2.4 Otras ideas importantes.

2.2.4.1 Un sistema estático.

En síntesis, la respuesta de Chomsky (1965) a la pregunta de qué es el conocimiento lingüístico es: reglas, transformaciones y un léxico complejo que puede condicionarlas. A pesar de la impresión que uno adquiere con la perspectiva del desarrollo del pensamiento chomskyano, y contrariamente a lo que suele defenderse desde el generativismo (v. Eguren y Soriano 2004), en realidad este conocimiento lingüístico parece concebirse como algo bastante estático y más próximo a una herramienta (teórica) para decodificar la estructura que a un proceso cerebral. A duras penas se entiende, pues,

como un proceso dinámico que la genera, dándose una sucesión de operaciones que progresivamente construyen la frase (si bien es cierto que ciertas transformaciones deben aplicarse en determinado orden para que la estructura resultante sea buena). Prueba de ello es, a mi juicio, el sentido también “estático” o “atemporal” que se le da al término “generativo” de la “Gramática Generativa”, entendiéndose únicamente que la teoría se limita a hacer explícitas las relaciones sintácticas entre los elementos (v. la contraposición entre este enfoque *representacional* frente a un enfoque *derivacional* del procesamiento en § 2.4.3.3). En este sentido, Chomsky (1965) defiende que las reglas, que constituirían el conocimiento lingüístico y por medio de las cuales se asigna una descripción estructural explícita a las frases, son ajenas a “how the speaker or hearer might proceed, in some practical or efficient way, to construct such a derivation” (Chomsky 1965:7) y su aplicación, dice, no implicaría el orden temporal del procesamiento.

2.2.4.2 Competencia frente a actuación.

En coherencia con esta concepción estática del conocimiento lingüístico, se comete a mi juicio un error que parasitará, en mayor o menor medida, todas las etapas de la corriente. Se hace referencia así a la popular distinción entre *competencia* y *actuación* (*performance*; v. Chomsky 1965), que favorecerá el nulo interés que la corriente profesa por el resto de sistemas de la mente. Se cree que la competencia de un hablante es el conocimiento lingüístico (reglas, en aquel momento), con independencia del resto de sistemas de la mente (v. § 2.4). En cambio, la *actuación* consiste en la puesta en marcha de ese conocimiento, donde sistemas de memoria, atención, etc. pueden provocar desviaciones de las construcciones que para un hablante son intuitivamente posibles en su lengua. Chomsky (1965) llega a afirmar que las limitaciones de memoria, las distracciones, los *shifts* de atención, etc. son irrelevantes gramaticalmente. De la misma manera, se realiza una distinción entre frases (a)gramaticales, que (no) respetan las reglas del conocimiento lingüístico, y frases (in)aceptables, que (no) son computables debido a la interacción con el resto de sistemas, como la memoria o la atención.

No obstante, la neurociencia cognitiva apunta a que no existe tal independencia entre sistemas. Chomsky (1965) atribuye la inaceptabilidad a la interacción incorrecta de múltiples sistemas, lo cual, parece que es en esencia lo que constituirá el proceso derivacional sintáctico (v. § 2.4). El modularismo excesivo y la ignorancia del resto de sistemas de la mente deslegitima para afirmar que un fenómeno va en contra del

conocimiento lingüístico y no del conocimiento o funcionamiento de otros sistemas. De hecho, en la tesis defiende que el procesamiento aparentemente lingüístico es, en grandísima medida, general.

2.2.4.3 Adecuación descriptiva y explicativa.

Otra idea importante, relacionada con la competencia, es la de la *adecuación* teórica. Si la teoría del conocimiento lingüístico consigue describir correctamente la competencia intrínseca del hablante, o, en términos de Chomsky (1957), generar las estructuras posibles de la lengua y no generar las imposibles, se considera que es *descriptivamente adecuada*. No obstante, para Chomsky la adecuación descriptiva no basta, de modo que defiende la búsqueda de la *adecuación explicativa*. Esta consiste en que la caracterización del conocimiento lingüístico (pregunta 1) sea coherente con el planteamiento de otras preguntas más profundas (las 2-5 de § 2.1.1).

Visto de otra forma, se entiende que el progreso en lingüística consiste en descubrir que las propiedades de las lenguas individuales pueden reducirse a propiedades universales del lenguaje como facultad (las que hemos presentado arriba: constituyentes, jerarquía, recursividad, relaciones dependientes de memoria, etc.). Por coherencia, el paso siguiente es reducir las propiedades del lenguaje a las de la mente (v. § 8) y, en última instancia, a cómo funcionan los objetos naturales. En consecuencia, teorías descriptivamente adecuadas puede haber muchas, pero como teoría explicativamente adecuada sólo puede haber una.

2.2.4.4 Primeros pasos hacia la adecuación explicativa.

En la búsqueda de la adecuación explicativa, lo primero que se plantea con cierto detenimiento Chomsky (1965) es que el sistema de conocimiento lingüístico debe poder ser adquirido por el aprendiz de la lengua (desarrollo de un niño en circunstancias normales). Por consiguiente, no sólo se construye una teoría del lenguaje, sino una teoría de la construcción de ese conocimiento a partir de la experiencia (*datos lingüísticos primarios*). Esta pregunta lleva a la observación de una aparente pobreza del estímulo, donde los datos lingüísticos aportan menos información de la necesaria para desarrollar el conocimiento que acabamos teniendo. A su vez, esto lleva a la conclusión lógica de que el ser humano viene equipado con parte de ese conocimiento. Se afianzan así debates estériles sobre formalismo en contra de empirismo, cayéndose, desde el generativismo,

en el error de asociar lo innato a lo específico¹⁵. A pesar de que en esta etapa temprana Chomsky ya se plantea la cuestión de la adquisición del lenguaje, las hipótesis tentativas no sirven para remodelar la visión del conocimiento lingüístico (la teoría sigue centrándose en reglas y transformaciones), como sí sucederá más adelante (en el modelo Principios y Parámetros, v. § 2.3). El propio Chomsky (1965:26) reconoce que “it would be utopian to expect to achieve explanatory adequacy” dado el limitado desarrollo de la teoría lingüística por entonces. Postergo, pues, la discusión a § 2.3.

2.2.5 Avances y desafíos.

Los primeros trabajos generativistas parten de ciertos rasgos definitorios comunes a todas las lenguas humanas que no deberían perderse de vista:

- los elementos se combinan formando constituyentes de cierto tipo;
- de la combinación surge una estructura jerarquizada;
- en esa estructura se establecen relaciones locales de tipo sintáctico y semántico;
- el número (que no el tipo) de relaciones que pueden establecerse entre los elementos (finitos) es potencialmente infinito;
- esas combinaciones parecen restringidas a veces por propiedades de las unidades que se combinan;
- además de las relaciones locales, establecidas en un único momento combinatorio, se establecen relaciones a distancia, entre elementos cuya combinación está separada temporalmente, lo cual da la sensación de que encontramos elementos desplazados con respecto a la posición habitual que ocupan en la frase;
- y a cierto nivel de abstracción, estas relaciones más abstractas/no locales pueden poner en relación frases que parecen diferentes (básicamente, en el orden de las piezas) pero tienen una uniformidad significativa (estructural y semántica) de fondo.

Esto se recogió mediante el dispositivo de reglas y transformaciones (aparte de la composición del lexicón), que permite, con un aparato teórico relativamente simple (que acabará por desecharse), expresar buena parte de la complejidad del lenguaje (tanto a

¹⁵ Un error más grave es (probablemente) la deducción, a partir del argumento de la pobreza del estímulo, de un innatismo de carácter preformacionista. Como se discute en Longa y Lorenzo (2012), la asociación entre innatismo y preformacionismo ignora la importancia del desarrollo a la hora de determinar las características de la facultad del lenguaje (y los organismos), además de entroncar con una visión genocéntrica de la biología que se opone a una parte de la biología evolutiva del desarrollo favorecida desde el ámbito de la biolingüística. No obstante, para el objetivo de esta tesis, tiene mayor peso la vinculación inapropiada de lo innato con lo específico, habida cuenta de lo antimodular e inespecífico que es el modelo desarrollado. Sin ánimo de menospreciar la relevancia de la ontogenia y de factores epigenéticos en la maduración del lenguaje, su discusión queda fuera de los propósitos del presente trabajo. Agradezco esta observación a uno de los revisores.

nivel más *profundo* como más *superficial*). No obstante, la concepción de la sintaxis (circunscrita a la *competencia*) es estática (como las *reglas* en sí) y aislada del resto de sistemas de la mente (englobados en la *actuación*), cuya naturaleza parece, por el contrario, dinámica (v. § 8) De hecho, creo que inconscientemente se establece una asociación demasiado directa o transparente entre el dispositivo teórico y la auténtica ontología del conocimiento lingüístico que representa (v. § 10). En la misma línea, bajo el “conocimiento” se cree abarcar toda la dimensión del procesamiento lingüístico, cuando quedan huérfanos de explicación los mecanismos por los cuales este se adquiere, manipula... o, en definitiva, se pone en uso. Con todo, se ambiciona desarrollar una teoría más *explicativa* que se integre con cuestiones más profundas sobre el entorno natural del lenguaje y su adquisición.

2.3 La adquisición. Principios y Parámetros

Una vez caracterizado el conocimiento lingüístico, debemos preguntarnos si este es “adquirible” por una persona, si un niño podría adquirir ese conocimiento tal como se ha descrito. El planteamiento de esta cuestión desentierra, a su vez, una pregunta más profunda: ¿cómo se adquiere el conocimiento? Para la neurociencia cognitiva el proceso consiste básicamente en la formación de memoria (v. § 8.2), por lo que debería seguir los mismos mecanismos, dicho pronto y mal, de potenciación y depresión de sinapsis genéticamente determinadas. Sin embargo, apelar a la memoria vuelve a poner sobre aviso de una distinción entre representaciones (lo que puede estar codificado en pesos sinápticos) y mecanismos (lo que no puede describirse en términos de conexiones neuronales, que es la actividad de esas mismas neuronas). Por ejemplo, para formar una huella de memoria en forma de cambios en las sinapsis, se necesita un mecanismo molecular, cierto umbral de actividad sincrónica, etc. En consecuencia, lo aprendido, así en el lenguaje como en el resto de dominios, es insuficiente para caracterizar el procesamiento cerebral en su totalidad: tenemos representaciones adquiribles, pero también hay mecanismos no adquiribles (en este sentido, no aprendemos a formar huellas de memoria, sino que simplemente las formamos debido al funcionamiento del sistema nervioso tras millones de años de evolución).

2.3.1 Orígenes en la Teoría Estándar.

La cuestión de la adquisición ya se plantea en Chomsky (1965). Por entonces, se creía que el aprendiz contaba de forma innata con múltiples sistemas de reglas o con sus formatos posibles, de modo que la adquisición consistiría en ir valorando y seleccionando qué conjuntos de reglas se adecuan más a los datos a los que se está expuesto (*evaluation metric* que asigna un valor a los sistemas de reglas). Un proceso de adquisición como este parece implausible debido a que la dotación innata es bastante específica (y vasta); se utiliza un mecanismo de asignación de valores que, aunque útil como recurso teórico, es difícil de traducir a un proceso cerebral; la adquisición opera diferente a cómo lo hace con el conocimiento no lingüístico; el desarrollo de la facultad lingüística sería independiente al del resto de facultades mentales; y, como nota uno de los revisores, plantea un problema de irrestricción al haber demasiadas gramáticas potencialmente compatibles con los datos. En esta línea, Chomsky (1986) señala que la concepción del lenguaje como un sistema de reglas describiría adecuadamente la lengua (adecuación descriptiva), pero no parece adecuada para explicar el proceso de adquisición (adecuación explicativa).

2.3.2 Desarrollo en PyP.

Por consiguiente, para discutir el efecto de la pregunta 2 (¿cómo se adquiere el lenguaje?; v. § 2.1.1) en la concepción del conocimiento lingüístico, me centraré en la siguiente etapa del pensamiento chomskyano, conocida como Principios y Parámetros (PyP). Es realmente entonces cuando, a mi juicio, el planteamiento de cómo se desarrolla la facultad del lenguaje remodela significativamente la concepción de qué es el conocimiento del lenguaje, y se esboza un proceso de adquisición un poco más verosímil. Como se discutirá abajo con la noción de *parámetro*, para formular una teoría del conocimiento lingüístico adquirible no sólo se necesita simplificar y sistematizar el componente universal del lenguaje, sino que es igualmente necesario simplificar y sistematizar la variación. Un exceso de riqueza en lo universal carga demasiado la dotación biológica; un exceso de riqueza en la variación, carga demasiado el proceso de adquisición.

2.3.3 La pobreza del estímulo y el innatismo.

El problema principal, al explicar cómo funciona la adquisición, es el conocido argumento de la *pobreza del estímulo* o problema de Platón (Chomsky 1965), según el cual los datos *positivos* a partir de los cuales el niño fija su conocimiento lingüístico son demasiado pobres en comparación con la riqueza de la facultad que acaba emergiendo. Tanto es así que procesos generales de aprendizaje como la inducción, la generalización, etc. no bastarían, según Chomsky, para adquirir apropiadamente la lengua. En este contexto, se suele hablar de una tensión en que la aparente complejidad de las lenguas choca con la necesidad de que sean simples para poder adquirirse (y usarse, evolucionar e implementarse, como veremos en las secciones siguientes).

La solución es simple: si parte del conocimiento lingüístico no puede obtenerse de los datos lingüísticos primarios, dicho conocimiento debe ser innato (Chomsky 1965, 1986). En consecuencia, se explicita que contaríamos con una dotación biológica innata que constituye el punto de partida para la adquisición (el llamado estado mental S_0). En condiciones normales, con el tiempo y la exposición a los datos, ese sistema de conocimiento va desarrollándose hasta que puede considerarse que se alcanza un “estado mental relativamente estable”, que constituye la lengua del individuo (S_L) (Chomsky 1986).

2.3.4 La sustitución de reglas por principios.

La sobreabundancia de reglas y transformaciones desentona en esta hipótesis: son demasiadas para constituir ese punto de partida y demasiado específicas, además, para encontrarse en la dotación biológica y en el marco general de las facultades cognitivas. Por consiguiente, se intenta reformular las reglas en forma de un menor número de *principios universales*, que serían propiedades del cerebro desde un alto nivel de abstracción (Chomsky 1986) y permitirían simplificar la teoría. Así, los principios, que dan lugar a la homogeneidad estructural de las lenguas, pasan a constituir el punto de partida innato para el desarrollo del conocimiento lingüístico (*Gramática Universal*), respondiendo en parte a la pregunta 2. No obstante, sin acotar suficientemente la variación (v. § 2.3.5), la sola simplificación de los principios no basta para responder satisfactoriamente a 2).

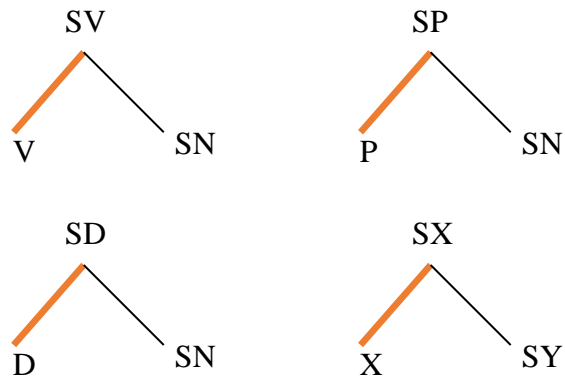
2.3.4.1 De las reglas a la teoría X’.

La simplificación de la gramática se atestigua en los dos componentes fundamentales que la caracterizaban hasta el momento: las reglas, que generaban la estructura de base, y las transformaciones, que modificaban esa estructura. La reducción de reglas a principios puede ejemplificarse con la incorporación del llamado Principio de Proyección, íntimamente ligado a los populares diagramas en el formato de la teoría X’ (v. § 10.2). Chomsky (1986) advierte que las reglas estaban reflejando dos propiedades aparentemente léxicas que se encontraban en todos los constituyentes: la *selección* (por ejemplo, un verbo selecciona un objeto) y la *endocentricidad*, una propiedad a la que se concede más importancia en esta etapa. Esta última consiste en que uno de los elementos que forman el constituyente determina la naturaleza del mismo (por lo cual recibe el nombre de *núcleo*). Por ejemplo, de la combinación de un verbo y un objeto resulta un constituyente de naturaleza verbal a efectos sintácticos. El sintagma adoptaría las propiedades del elemento que se considera seleccionador: en un SV, por ejemplo, el verbo aislado parece necesitar un SN que haga de objeto¹⁶, pero un SN puede ser o no un objeto, y no parece necesitar un verbo (pudiendo combinarse con otros elementos diversos, como una preposición).

Por lo tanto, existe una uniformidad estructural (uno de los elementos que compone el constituyente selecciona al otro y se erige en núcleo) que parecía expresarse, de forma redundante, tanto en la manera como las reglas asignan estructura como en las propiedades del léxico. Chomsky (1986) evita esta redundancia eliminando propiedades de las reglas, y haciendo explícito que la estructura se debería a propiedades léxicas, que se *proyectan* en la estructura. Este es el *Principio de Proyección*, un universal sencillo que evita tener una regla para cada tipo de sintagma. De hecho, empobrecer la sintaxis y enriquecer el léxico es un paso muy frecuente en la corriente. De esta forma, cada sintagma refleja la naturaleza de su núcleo.

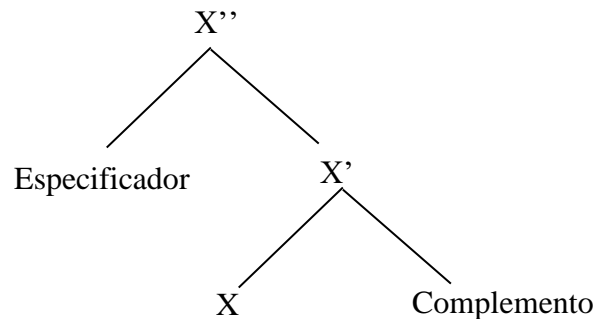
¹⁶ Se está generalizando, son los verbos transitivos quienes necesitan de un objeto a efectos sintácticos y semánticos (asimismo, los inacusativos podrían tener un objeto semántico pero no sintáctico), si bien puede omitirse por ser implícito y poder recuperarse de información externa a la oración (o del propio verbo si se trata de un objeto cognado, v. Bosque y Gutiérrez-Rexach 2009).

(16)



Se establece, a continuación, que todas las estructuras siguen un mismo esquema estructural, el de la llamada Teoría X', según el cual todos los sintagmas cuentan con un núcleo (*endocentricidad*) que proyecta sus propiedades, determinando la identidad del conjunto y que selecciona los elementos con que se combina, denominados complementos y especificadores¹⁷.

(17)



En las posiciones en torno a X, sustituible por múltiples categorías, se establecen relaciones sintáctico-semánticas básicas como objeto y sujeto (posiciones de complemento y especificador, respectivamente).

¹⁷ Se ha llegado a postular la existencia de múltiples especificadores y adjuntos, aquí omitidos habida cuenta de lo poco que se comprenden y la falta de consenso en las explicaciones.

2.3.4.2 De transformaciones a Muévase- α .

Las transformaciones para construcciones específicas se redujeron a la operación de desplazar un elemento (*Move- α*), que era la constante de cualquier tipo de transformación. En lugar de explicarse en cada construcción en concreto qué elemento cambiaba su posición y adónde, se buscó motivar el movimiento y fijar unas condiciones o principios que debía respetar. Entonces, el movimiento sería fruto de que ciertas relaciones sólo se establezcan de forma local, mediante la combinación directa de elementos: cuando los elementos se han combinado previamente en la derivación y se necesita establecer de nuevo una relación local, se fuerza volver a usarlos (moverlos).

Esto explicaría por qué hay piezas que se volvían a combinar, pero no en qué condiciones es o no posible. Para ello, entraban en juego otros principios (como la localidad, que en PyP se formula como *subyacencia*, pero que puede rastrearse en Ross 1967) según los cuales el movimiento no puede traspasar ciertas posiciones estructurales si están ocupadas (v. § 12.3). La introducción ahora del aparato teórico desviaría la atención de lo esencial, pero es importante subrayar cierto avance respecto a la Teoría Estándar: antes las relaciones estaban condicionadas, básicamente, por propiedades de las piezas léxicas; en PyP (con las condiciones de teorías como la de *Bounding* o *Government*; v. § 2.3.7) la propia estructura generada condiciona las relaciones a distancia entre los elementos.

2.3.5 Los (Macro)Parámetros.

Así las cosas, conviene preguntarse qué es lo que realmente adquiere el niño. Como lo universal se atribuye a la dotación innata, lo lógico es atribuir al proceso de adquisición aquello que varía. Ahora bien, si esta variación es demasiado rica, volvemos a encontrarnos con un problema de adquisición: debe abstraerse una gran cantidad de instrucciones sobre las que los *inputs* lingüísticos pobres no proporcionarían suficiente información. La respuesta de este modelo (v. Chomsky 1986) es que la variación lingüística queda limitada a: 1) las piezas léxicas, que por fuerza deben adquirirse (con sus distintas propiedades morfológicas, fonológicas, etc.) y 2) a unas pocas opciones de carácter sintáctico, organizadas de forma sistemática e interrelacionadas. Estas opciones son lo que se denomina *Parámetros*, el segundo miembro del binomio que da nombre a esta etapa. Por la manera de concebirlas entonces, se han etiquetado como “macroparámetros” (en contraposición a los “microparámetros”; v. § 2.4.3.5), ya que

definen conjuntos amplios de propiedades interrelacionadas (jerárquicamente) que predicen y explican propiedades tipológicas de las lenguas (v. Baker 2001, 2005, 2008). En cualquier caso, la idea general es que la dotación biológica no es lo suficientemente restrictiva para que emerja completa uniformidad del desarrollo de la facultad del lenguaje, quedando así un pequeño margen del conocimiento lingüístico a merced de la experiencia (v. Ramírez 2013).

Un ejemplo de esta variación sistematizada se da en el orden de constituyentes. Los verbos seleccionan objetos y con ellos forman sintagmas verbales, siguiendo el principio de proyección. Sin embargo, las lenguas muestran variación en el orden entre los constituyentes: núcleo-complemento vs. complemento-núcleo. El orden elegido suele ser, además, uniforme para diferentes sintagmas. Así, las lenguas con orden verbo-objeto suelen tener preposiciones, y las de orden objeto-verbo acostumbran a usar posposiciones. Como ejemplifica Baker (2001), en lenguas como el japonés el objeto precede al verbo, los determinantes a las adposiciones y el sintagma del poseedor precede al nombre de lo poseído; por el contrario, lenguas como el inglés son como la imagen especular, de modo que los objetos siguen al verbo, los determinantes a las adposiciones y el poseedor sigue a lo poseído. Se postula, pues, que existe un *Parámetro de direccionalidad*, que se puede fijar a partir de la simple evidencia del orden de elementos en un tipo de sintagma frecuente (como SV), y cuya aplicación se hace extensible automáticamente al resto de estructuras, para las cuales los datos lingüísticos primarios pueden ser menores o incluso nulos. Un único parámetro puede tener consecuencias en varias estructuras de la lengua (efecto de *clustering*; v. Chomsky 1981 y Rizzi 1982 sobre el parámetro de sujeto nulo en torno al cual se definen múltiples propiedades) y parece estar relacionado con ciertos módulos o principios del componente universal: en el caso del parámetro de direccionalidad, la teoría X'.

La ventaja fundamental de los parámetros es que facilitan la adquisición, puesto que la dimensión de la variación funciona sistemáticamente y basta percibir una propiedad de las construcciones para que se sigan el resto de fenómenos asociados. Asimismo, puede haber principios generales (como el del subconjunto de Berwick 1982) que determinen cómo se fijan. Una razón (entre otras muchas) del fracaso de Chomsky (1965) para obtener una teoría adecuada explicativamente (adquirible) fue buscar únicamente la simplificación de lo universal, cuando también podría ser necesaria una simplificación de la variación.

2.3.6 Lengua-I.

Por todo lo anterior, en Chomsky (1986) se hace explícito que el lenguaje es una facultad de la mente y que la lengua es un desarrollo de esa facultad. Se distingue entre *Lengua-I(interna)* como estado mental que alcanzamos a título individual todos los hablantes en condiciones normales y *Lengua-E(xterna)*, la cual, igual que, por ejemplo, constructos culturales o la abstracción de regularidades sobre hablantes de determinada época y región, “is understood independently of the properties of the mind/brain” (Chomsky 1986:20). El conocimiento lingüístico se afianza como un estado mental del individuo, que consta de una dotación innata común a la especie y de conocimiento superpuesto sobre esa base a lo largo de la adquisición. Este sistema realiza computaciones sobre piezas léxicas siempre respetando unos principios/condiciones y unos parámetros, que en conjunto delimitan la uniformidad y la variación posibles. Llegados a este punto, cabe preguntarse cómo se explican en términos de principios las propiedades universales del lenguaje sintetizadas en § 2.2.5, a las cuales podemos, a partir de lo revisado en § 2.3, añadir:

- que las estructuras son endocéntricas (los constituyentes se comportan básicamente como uno de sus elementos);
- que existen condiciones estructurales, y no sólo léxicas, para el establecimiento de relaciones entre elementos;
- y que sobre toda esta universalidad existe una variación limitada y sistematizada.

En la transición de la Teoría Estándar a Principios a Parámetros, se simplifican las reglas, transformaciones y rasgos en principios, parámetros y rasgos, facilitando que el conocimiento lingüístico tenga cabida en la dotación biológica. A pesar de que en el marco de Chomsky (1986) se logra, ciertamente, una reducción del número de reglas a un menor número de principios, la simplificación no bastará para que la visión del lenguaje se sostenga frente al planteamiento de otras preguntas, ni será conciliable con la cognición en un sentido amplio. Por tanto, daré cuatro pinceladas de la concepción del conocimiento lingüístico que se tenía y ahorraré pormenores que luego habría que desechar. Este esbozo me servirá para ilustrar uno de los defectos más comprometedores en la concepción del lenguaje: la modularidad.

2.3.7 Supuesta simplificación en la modularidad.

En Chomsky (1986) se defiende que el conocimiento lingüístico consiste en una serie de módulos, esto es, subsistemas bastante encapsulados, especializados en cierto tipo de información y función y con un desarrollo más o menos predeterminado (v. Fodor 1983). Cada uno de estos subsistemas contendría sus propios principios (y parámetros asociados) que determinarían si en cierto punto de la derivación, la estructura, las relaciones y los movimientos son válidos.

Estos subsistemas eran: la Teoría X', que explicaba la estructura, la jerarquía y la endocentricidad, y daba pie a la recursividad; la Teoría del Ligamiento (*Binding*), que determinaba las relaciones globales entre pronombres; la Teoría Temática, que definía las relaciones semánticas locales; a Teoría del Caso, que regulaba las relaciones sintácticas (mayormente) locales de las expresiones nominales; la Teoría de la rección (*Government*), que fijaba las condiciones estructurales bajo las cuales se establecen relaciones locales (caso) o globales (movimiento); la Teoría del Acotamiento (*Bounding*), que limitaba las relaciones establecidas por movimiento; y la Teoría del Control, que cubría la interpretación de elementos de naturaleza nominal en oraciones no finitas. Cada uno de estos subsistemas, a su vez, podría ser bastante complejo, por ejemplo, la del ligamiento consistía a su vez en las condiciones A, B y C para los elementos nominales denominados, respectivamente, anáforas, pronombres y expresiones referenciales.

Se evidencia así el alto grado de especificidad y complejidad atribuido al conocimiento lingüístico, que sigue haciendo implausible una dotación biológica de todo ello. Se pasó de una montaña de reglas y transformaciones a un denso entretejido de módulos y principios. En trabajos posteriores, Chomsky caerá en la cuenta de que muchos de los módulos que imponían condiciones sobre las estructuras (*Government*, *Control*, *Binding*, etc.) se pueden reducir a condiciones de localidad de las relaciones sintácticas (en la teoría de *Fases*, v. §§ 10 y 12) que parecen establecerse por medio de la concordancia o el movimiento.

2.3.8 Avances y desafíos.

En Principios y Parámetros, cuando entra en juego la pregunta 2, que cuestiona si el niño puede adquirir el conocimiento del lenguaje dado como respuesta a 1, se profundiza en la tensión que surge entre un sistema lingüístico tan rico y la pobreza de los datos a los que se expone el aprendiz. La solución estribaría en relegar parte del

conocimiento a un componente innato, lo cual comporta adentrarse más en cuestiones biológicas, aspecto que se acentuó en etapas posteriores (aunque con una mala ejecución). Se consideran las lenguas como estados mentales genéticamente determinados de los individuos, de modo que la facultad del lenguaje maduraría y se moldearía como una lengua o estado mental estable en el momento de completar la adquisición. No obstante, se comete el error de asociar inadecuadamente lo innato con lo muy específico y de no reparar en que el popular argumento de la pobreza del estímulo, como se discute en otros puntos, puede aplicarse a cualquier tipo de aprendizaje. La dotación biológica innata, que tanta controversia ha generado en la lingüística, se asume, independientemente y con mayor consenso, en la memoria en neurociencia cognitiva, que es indispensable en el proceso de adquisición y en el lenguaje en general (v. Ullman 2016), por más que apenas se tenga en cuenta en nuestra disciplina. El sustrato neuronal sobre el que se construye el conocimiento está genéticamente determinado, de igual forma que los mecanismos que lo alteran y tienen lugar en el mismo, sobre los cuales, en el caso del lenguaje, esta etapa sigue sin ofrecer una visión clara.

Para que la dotación biológica fuera un tanto más creíble, se necesitaba simplificar la concepción del conocimiento lingüístico (en lo que se llamarían *Principios*). Además, era igualmente necesario sistematizar y reducir la complejidad de lo que se adquiriría y sus límites (a lo que se llamarían *Parámetros*), que se correspondería a la dimensión de la variación (sistematizada) en el conocimiento lingüístico. Se pasa entonces de un sistema de reglas, transformaciones y léxico con determinados rasgos, a otro, supuestamente más sencillo, en que estos principios y parámetros se organizan en cantidad de módulos (los rasgos siguen teniendo importancia en, por ejemplo, la idea de la proyección). Nuevamente, creo que se establece una relación demasiado directa entre el aparato teórico y la propia naturaleza del conocimiento lingüístico que describe. Es más, la concepción en formato modular contribuye aun más al aislamiento del lenguaje con respecto al resto de la cognición, conservándose un sistema, pese a todo, demasiado específico. En palabras del mismo Chomsky (1986:150), “it is hardly conceivable that principles of the sort we have been considering have any general applicability beyond the language faculty”. A pesar de que en Chomsky (1986) se afirme que la modularidad es una propiedad general los sistemas cognitivos, en la literatura de neurociencia cognitiva no se encuentra semejante nivel de modularidad interna en ningún otro dominio de la cognición de mayor nivel (v. § 8). De hecho, la visión tan modular y específica del lenguaje en la

corriente se tambaleará todavía más cuando, en la siguiente etapa, se entienda que el lenguaje no puede ser un componente aislado y *sui generis* del cerebro, que debe comunicarse con otros sistemas y que, para ello, debe tener compatibilidades.

Aun con estos problemas y los cambios en el dispositivo teórico, es importante que la teoría no pierda información sobre propiedades fundamentales del lenguaje, como sí ocurrirá en etapas posteriores. De hecho, a estas se les añade la endocentricidad, la sistematización de la variación, y la visión de que no sólo las piezas léxicas, sino la propia estructura puede condicionar la combinación de elementos.

2.4 El uso. El Programa Minimista

Aunque pueda considerarse que esta es una cuestión que se planteó con anterioridad a la etapa a la que yo la atribuyo (Programa Minimista), la atención que se le ha dispensado es, en mi opinión, muy insuficiente (la larga discusión de Chomsky 1986, capítulo 4, no me parece suficientemente explicativa). El uso del lenguaje ha sido siempre una cuestión molesta en la corriente generativista. Chomsky la consideraría un “misterio impenetrable” de la mente, dado que uno se topa con cuestiones como la creatividad, la disociación del contexto, etc. Básicamente, nos topamos con el hecho de que lo que uno va a decir es impredecible.

2.4.1 Un misterio compartido por otros dominios cognitivos. La integración del lenguaje en los mismos.

Tal como lo entiendo, ese es justamente el mismo problema que podemos encontrarnos en neurociencia cognitiva con el sistema ejecutivo, la cuestión del homúnculo, el libre albedrío, etc. En general, ¿por qué tomamos las decisiones (lingüísticas o no) que tomamos? Aunque lo misterioso del asunto desaliente a Chomsky para profundizar, en mi opinión pone de manifiesto que cuando se usa el lenguaje se está relacionando el mismo con otros sistemas de la mente y se están poniendo en marcha mecanismos procedentes de estos otros sistemas. Lo que gobierna el comportamiento, aparentemente conforme a “nuestra voluntad”, es el sistema de control ejecutivo, del cual hay indicios de que es un único sistema en comunicación con múltiples dominios

cognitivos, como la atención o la memoria de trabajo. Tiene sentido, entonces, pensar que se ocupe también de organizar el procesamiento lingüístico.

Según Chomsky (1986, 1995), la estructura del lenguaje no determina qué diremos, como sí lo haría la estructura de una molécula con respecto a su comportamiento en un experimento. En sus palabras, “our theory is not a causal or dispositional theory concerning his behaviour” (Chomsky 1986:241). En mi opinión, esto se debe simplemente a una concepción simplista del lenguaje, aislada de la cognición en general. Si asumimos que el lenguaje y el sistema ejecutivo están integrados (v. § 8.5.8), podemos afirmar que en realidad la estructura del lenguaje, concebida ampliamente, sí que determina nuestro comportamiento lingüístico. Otra cosa es que, por ahora, no estemos en disposición de comprender cómo lo hace, ni hasta qué punto el funcionamiento del cerebro es determinista (para nuestra decepción, quizás completamente).

2.4.1.1 Un ejemplo de interacción de dominios.

Chomsky (1995) opina que esperar de una teoría lingüística una explicación de cómo se pone en uso el lenguaje equivaldría a esperar que “a theory of the mechanisms of vision or motor coordination explain why someone choses to look at a sunset or reach for a banana” (Chomsky 1995:208). Se llega a afirmar, incluso, que la elección de las acciones no entra en el estudio de los mecanismos. Una vez más, opino que esta visión altamente modular es simplista. El sistema de visión, por ejemplo, no es un sistema aislado: al contrario, conecta con la atención, la memoria, la consciencia, etc. con los que efectivamente tiene mecanismos en común.

De hecho, para enfocar la vista en la susodicha puesta de sol necesitamos la atención, seguramente capturada primero de forma exógena por el brillo, los contrastes, etc., y para percibirla realmente necesitamos la consciencia (v. § 8.4.1 sobre procesamiento subconsciente o preconsciente). Además es probable que sigamos dirigiendo la atención endógenamente, desde el sistema ejecutivo, basándonos en asociaciones de belleza que descansan sobre el sistema de memoria o en emociones del sistema límbico en general. Los mecanismos, posiblemente, serán bastante neutrales en todo el proceso (v. § 3.3). En definitiva, es insuficiente dar una explicación de la visión del estilo: hay un procesamiento de bajo nivel en que, a medida que ascendemos en la jerarquía de las regiones corticales occipitales, diferentes rasgos convergen para dar lugar

a propiedades más complejas, y quizás, en última instancia, a neuronas que codifican específicamente la puesta de sol en la vía ventral.

2.4.1.2 La complejidad en la cognición exige de la colaboración de múltiples sistemas.

Si uno se limita a explicaciones como la anterior, estará ignorando la complejidad de qué está ocurriendo realmente en el cerebro y de qué está experimentando el sujeto. Dicho de otro modo, el funcionamiento de otros sistemas (mejor comprendidos) sugiere que cuando el procesamiento adquiere algo de complejidad, como ocurre sin duda en el lenguaje, no es un asunto aislado y local en el cerebro, sino el reflejo de la actividad a escala global con múltiples sistemas involucrados.

En esta discusión uno podría contraargumentar que la prioridad de Chomsky en la investigación del lenguaje es el equivalente al procesamiento de bajo nivel de la visión. Sin embargo, esto dista mucho del verdadero interés del generativismo: la sintaxis, que parece el componente del lenguaje de mayor complejidad. Los mismos diseños generativistas de la arquitectura de la facultad del lenguaje la sitúan lejos de los sistemas de *input* y *output* de la mente, concibiéndola como algo mucho más interno o, visto de otro modo, del procesamiento de menor nivel. Así pues, la sintaxis forma parte de la cognición de mayor nivel, y lo que sabemos sobre los mecanismos de esta última indica que son pocos, neutrales, dinámicos, etc. (v. § 3.3 y § 8).

En suma, el lenguaje no es un sistema aislado y específico como parece la parte de la visión de bajo nivel, y ni siquiera sistemas sensoriales de este tipo, aparentemente simples, funcionan con independencia del resto de dominios de la alta cognición. Por consiguiente, es lícito, en contra de lo que argumenta Chomsky, pedir a la teoría lingüística propuestas sobre la intervención de otros sistemas en la determinación del comportamiento lingüístico.

2.4.2 Dos ideas que plantean el uso del lenguaje como interacción de sistemas.

Ante este fuerte distanciamiento de la postura chomskyana, el lector puede preguntarse por qué a partir de ahora no ignoro directamente a Chomsky. Esto no haría justicia a dos ideas cruciales de esta etapa: 1) que el lenguaje no es un sistema totalmente aislado, sino que conecta con otros; y, aun más importante, 2) que las propiedades del

lenguaje deberían poderse explicar a partir de esos sistemas “externos”. Estas dos ideas son fundamentales, a pesar de que se dedique poca reflexión a los sistemas “externos”, que básicamente se reducen a un sistema sensoriomotor que se ocupa de la decodificación y de la producción de señales lingüísticas, y a un sistema conceptual responsable de la interpretación (y del control) de las producciones lingüísticas. En algunos momentos se ha hablado de “interfaces” entre estos sistemas y el lenguaje, que serían como intermediarios en los que la señal de un sistema se transformaría en apta para ser interpretada por el otro.

Puesto que al usar el lenguaje estamos hablando de una intercomunicación de sistemas y en esta etapa del generativismo se reconoce que esa intercomunicación es significativa para determinar propiedades de la facultad del lenguaje, me parece lógico concluir que la pregunta relevante en este estadio de la teoría pasa a ser el uso del lenguaje.

2.4.2.1 Una mala ejecución de la integración del lenguaje con el resto de la cognición. El lenguaje como algo extranatural.

Llegados a este punto, Chomsky y sus seguidores no llevan la integración del lenguaje en la cognición hasta sus últimas consecuencias. En lugar de buscar la coherencia con el resto de sistemas biológicos, se empieza a tratar el lenguaje como algo casi extranatural, en clara contradicción con el objetivo primario de estudiarlo como un elemento más de la naturaleza. Es en este momento cuando se dice que las propiedades del lenguaje son “infrecuentes” en los sistemas biológicos. Este sería el caso de la infinitud discreta (combinar elementos finitos para generar infinitud de elementos), la poca redundancia y la falta de sobredeterminación de los fenómenos por los principios (que a un fenómeno puedan corresponderle múltiples causas), siendo los tres “unexpected features of complex biological systems” (Chomsky 1995: 154).

2.4.2.2 Contra la excepcionalidad del lenguaje en la naturaleza.

A mi parecer, el lenguaje no es tan mágico. La supuesta anomalía o excepcionalidad por excelencia del lenguaje, la infinitud discreta, podría no ser algo exclusivo ni de ese dominio cognitivo, ni de la especie. De hecho, es una propiedad que parece encontrarse también en nuestro sistema motor, y en el de otras especies: tenemos infinitas posibilidades de movernos (ángulos, direcciones, velocidades, tiempos, etc.) a fin de cumplir unos objetivos, que pueden ser abstractos y aparentemente desligados del

contexto. Para alcanzarlos, combinamos esas variables para ejecutar planes motores cuya infinita riqueza no tiene nada que envidiar a las expresiones lingüísticas. Con cierta abstracción, el alcanzar uno de esos propósitos no me parece tan diferente a expresar lingüísticamente determinado significado.

Por lo que hace a la ausencia de redundancias, creo que este es como mucho un atributo de la teoría lingüística, no del lenguaje. Las estructuras lingüísticas son redundantes, como muestran la concordancia y los rasgos formales, y también lo son sus mecanismos, si las hipótesis de la presente tesis son correctas, en relación con los empleados en otros dominios cognitivos (v. §§ 8 y 9). Tal vez el procesamiento lingüístico parezca tan superior al de otros sistemas (y especies) porque desde nuestro ámbito no hemos reparado suficientemente en ellos. Personalmente, considero que el procesamiento visual, que podríamos encontrar en un insecto a cuyo procesamiento cerebral seguramente no le atribuyamos demasiada complejidad es más asombroso (y beneficioso para la supervivencia) que el lenguaje en cantidad y velocidad de procesamiento.

2.4.2.3 Sistemas externos con poco correlato en la neurociencia cognitiva.

Volviendo al asunto de la integración del lenguaje en la cognición de Chomsky (1993), se considera que estaría incrustado en sistemas de actuación etiquetados como sistema conceptual-intencional y sistema sensoriomotor. Estos sistemas serían responsables, respectivamente, de la interpretación y la producción de las expresiones lingüísticas y recibirían, de forma más bien pasiva, las instrucciones del sistema lingüístico. Estas instrucciones contendrían la información relevante para que los sistemas externos puedan cumplir sus funciones, de modo que se produciría una interacción entre unos y otros que forzaría la existencia de compatibilidades. Visto de otra forma, el lenguaje debe cumplir ciertas condiciones para que la información que envía a los sistemas externos sea computable, reduciéndose así el grado de libertad interno.

Quien esté familiarizado con la literatura de neurociencia cognitiva sentirá no poco recelo ante las etiquetas *sistema sensorio-motor* y *sistema conceptual-intencional*. No hay explicaciones comprensivas del funcionamiento de los sistemas sensoriales ni motores que los traten como una unidad. Y lo que es más grave, en neurociencia cognitiva no se habla siquiera de sistemas intencionales ni conceptuales. Uno puede intentar traducirlo intuitivamente a algo más familiar, como sistema ejecutivo y sistema de

memoria semántica a largo plazo, pero este es un paso que no se da desde el generativismo. En la presente tesis se recurrirá, por el contrario, a sistemas reconocidos en neurociencia cognitiva, bien estudiados, con visos de entidad real, como son la memoria, la consciencia, la atención, el control ejecutivo, etc. (v. § 8) en tanto que sistemas que se integran con la facultad del lenguaje. De hecho, ni siquiera trataré la facultad del lenguaje como un elemento aislado, de modo que la sintaxis emergerá de la suma de mecanismos (oscilatorios y neutrales) que prototípicamente subyacen a los sistemas en la cognición de mayor nivel (v. Buzsáki 2006, Bastiaansen y Hagoort 2006, Siegel *et al.* 2012).

2.4.3 Una simplificación exigida por el resto de la mente.

Recapitulando: a pesar de que las hipótesis se desarrollen pobremente, adoptamos aquí las ideas básicas de que el lenguaje comparte el cerebro con otros sistemas que imponen requisitos en su funcionamiento. En consecuencia, Chomsky (1991, 1993) intenta dar una visión del lenguaje más general y simple (limitando todo el aparato teórico a lo que se siga de “virtual conceptual necessity”). Por ende, las propiedades del lenguaje deberán seguirse de propiedades de los sistemas externos, pudiendo, cada uno de los cuales, imponer distintas demandas. Sólo cuando se cumplen todas esas demandas, el procesamiento sintáctico es viable, y su *output* resulta interpretable (la derivación *converge* y no *fracasa*, siguiéndose el *Principio de Interpretación Plena*). De esta forma, se intentan explicar propiedades de la sintaxis desde fuera de la sintaxis.

2.4.3.1 El espinoso asunto de la perfección.

Se postula que la intercomunicación de sistemas (lingüísticos vs “extralingüísticos”) sigue principios generales de economía que se aplican sobre las derivaciones o las transformaciones sintácticas. En este sentido, se ve el lenguaje como un sistema *perfecto* (v. Boeckx 2006), que cumple de forma óptima las condiciones impuestas desde fuera (*bare output conditions*) y van imperando las ideas de que las operaciones son simples, en dominios locales, y no superfluas. Aun así, el asunto de la “perfección” del lenguaje tiene una doble interpretación: el lenguaje en sí es perfecto (*Strong Minimalist Thesis*) o la teoría que lo explica debe serlo (*Weak Minimalist Thesis*) (v. Martin y Uriagereka 2000). Lo segundo me parece útil para construir una teoría explicativa: por ejemplo, en términos geométricos, es más fácil entender la conexión entre

dos puntos con una línea recta que con giros aleatorios hasta que se conectan. En cambio, la idea más radical de que el propio lenguaje es perfecto me parece mal enfocada, puesto que se considera que “the language faculty might be unique among cognitive systems, or even in the organic world, in that it satisfies minimalist assumptions” (Chomsky 1995: 203).

En mi opinión, la facultad del lenguaje debe ser, ante todo, coherente con el resto de objetos naturales. Esto significa que si todos estos son “perfectos”, cualquiera que sea el significado real de la palabra, el lenguaje lo será; en cambio, si en el resto de la naturaleza sólo existe el desorden, el caos, etc. el lenguaje no puede ser “perfecto” tampoco. Retomando el ejemplo colorista de arriba, o bien la naturaleza dibuja líneas rectas, o bien dibuja líneas aleatorias para conectar las cosas. Los que intentamos hacer ciencia adoptamos, casi por fe, la idea de que existe un orden, unas causas y unas consecuencias de los sucesos que ayudan a predecirlos. Y esto es un asunto de todo o nada. Si el lenguaje fuera una anomalía de perfección en la naturaleza, estaríamos todos condenados a un solipsismo absoluto. En definitiva, parece útil adoptar la idea de “perfección” del lenguaje para evitar postular pasos ilógicos y construir una teoría al azar del procesamiento lingüístico, pero no se será partícipe de la idea de que es un fenómeno único¹⁸.

2.4.3.2 Un lexicón y un sistema computacional.

Como vemos, en esta etapa se explicitan buenas ideas que intentan encajar el lenguaje en un contexto más amplio, pero se desarrollan pobremente. No obstante, esto tiene un efecto beneficioso sobre la concepción de los procesos lingüísticos: se simplifican y se hacen más conciliables con el resto de sistemas. Así, el lenguaje pasa a dividirse en dos componentes: un lexicón (conjunto de piezas que combinamos) y un sistema computacional (las operaciones con las que combinamos las piezas). El lexicón aún propiedades (o rasgos) universales (procedentes de otros dominios cognitivos), con arbitrariedades (o rasgos) sujetas al proceso de adquisición de la lengua. Es en estas propiedades de los elementos combinables donde se intenta localizar lo que antes eran los

¹⁸ El propósito de esta sección no es debatir qué es la perfección en la naturaleza y el lenguaje (el lector interesado encontrará cierta discusión en Boeckx 2006), sino señalar que el concepto de perfección no puede utilizarse para alejar el lenguaje de la naturaleza en que se aspira a integrar, contradiciendo la concepción naturalista de la mente que se propugna en el generativismo. En otras palabras, se defiende la necesidad de coherencia entre los rasgos fundamentales del lenguaje y los del resto de objetos naturales, sin mayores pretensiones filosóficas.

parámetros (v. § 2.4.3.5) (con pérdida de capacidad explicativa debido a una reducción de efectos de *clustering*). Por el contrario, el sistema computacional se asume universal, uniforme. Cuando se pone en marcha, el sistema computacional realiza una sucesión de operaciones que genera la estructura (derivación), respetando unos principios conforme a los cuales se satisfacen de forma óptima condiciones impuestas por el resto del cerebro. La revisión de estos mecanismos y principios básicos se aplaza a §§ 2.4.4.1 y 2.4.4.2, pero sí contemplamos a continuación cuestiones asociadas al sistema computacional y el lexicón: el enfoque derivacional (v. § 2.4.3.3) y los rasgos (2.4.3.4), respectivamente .

2.4.3.3 El enfoque derivacional afín al funcionamiento de otros dominios cognitivos.

Es de vital importancia la concepción de las computaciones lingüísticas como una sucesión en el tiempo de operaciones sencillas sobre ciertas representaciones (un *enfoque derivacional*). Esta visión del *uso* del lenguaje, más próxima a la actuación que a la competencia, no era posible en etapas anteriores donde el procesamiento era algo mucho más estático, y donde las representaciones lingüísticas más que construirse, debían, una vez construidas, respetar condiciones. La transición a un enfoque derivacional permite que el procesamiento lingüístico sea similar al de otros dominios cognitivos: unos cuantos mecanismos sencillos realizados por determinadas estructuras sobre ciertas representaciones y ordenados temporalmente. La mente funciona así, de manera dinámica, temporal y mecanicista (v. § 8) . Un enfoque representacional es estático, atemporal, antimecanicista. Las etapas anteriores del generativismo no contaban con suficientes operaciones para que semejante concepción del procesamiento fuera posible. Con Chomsky (1995) se da un giro y la computación procede localmente para ir generando estructura, a pesar de que luego esto quede enmascarado por la impresión global de que se tiene una representación de gran complejidad.

2.4.3.4 Rasgos.

A pesar de todo, estas operaciones sencillas se acaban justificando en términos de rasgos, a los que dedicaré poco espacio por las razones que siguen. Las representaciones deberán contener información fonológica y semántica apta (rasgos *interpretables*) para los sistemas externos, pero Chomsky (1995) mantiene que contienen también información relevante para el sistema interno (rasgos *formales no interpretables* por los

sistemas externos). Estos rasgos internos se usan en la teoría para justificar (pobremente, según Boeckx 2015) fenómenos sintácticos: las operaciones tienen lugar para evitar que esa información interna llegue a los sistemas externos. Por ejemplo, el movimiento de un elemento se justifica apelando a la existencia de un rasgo (con nombres variopintos como *formal*, *fuerte*, *no interpretable*, *no validado*, *de PPE*, (*principio de proyección extendido*), etc.) que fuerza el desplazamiento, y no a sistemas externos que, según el propio Minimismo, deberían ser la causa.

2.4.3.4.1 Una interpretación de los rasgos desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva.

La justificación de mecanismos en términos de rasgos es del todo ajena a lo que se postula del resto de sistemas en neurociencia cognitiva. Por ejemplo, no se cree que en la memoria de trabajo (v. § 8.2.4) haya ningún rasgo que fuerce el mantenimiento de la representación. El mecanismo es una parte natural del mismo funcionamiento del sistema, y se justifica apelando a sistemas externos a la propia memoria, como la atención, el sistema ejecutivo, etc. Haciendo un paralelismo, decir que una pieza se “mueve” sintácticamente porque tiene un rasgo no-interpretable es tan desacertado como decir que una representación se mantiene en el *workspace* (v. Baddeley 2012) porque contiene un rasgo X, llamémoslo “relevante”.

En su lugar, lo lógico es apelar a que el mantenimiento de esa representación se debe a que se focaliza la atención en la información adecuada para la tarea que se está ejecutando. Este tipo de justificación en un contexto más amplio de la cognición es justamente la que le falta al generativismo cuando se habla de rasgos. Por lo tanto, de aquí en adelante los omitiré tanto como pueda, ya que oscurecen más que aclaran los fenómenos. La explicación de los mismos en etapas anteriores no era perfecta, pero la organización conceptual era más sólida y persuasiva. Como se critica en Boeckx (2015), desplazar todo el peso de la sintaxis a propiedades de las piezas léxicas vacía de contenido el propio componente sintáctico y exige una explicación del léxico, integrado en el resto de la cognición, mucho más completa que la actual.

2.4.3.5 Microparámetros.

La variación de rasgos formales es justamente a lo que se acaba atribuyendo la variación que antes se achacaba a los parámetros interrelacionados con los principios (v. § 2.3.5). Entre las razones que llevaron a una renovación del concepto de parámetros,

podemos contar: 1) el fracaso a la hora de capturar toda la variación registrada, que se acabó atribuyendo, en parte, a una periferia poco definida); 2) la existencia lenguas no armoniosas ni consistentes con la teoría, de modo que no se cumplían los *clusters* de fenómenos de variación relacionados; 3) el adelgazamiento progresivo de la teoría de lo universal dejaba huérfanos de *locus* a los parámetros, esto es, se quedaron sin principios (específicos) a los que asociarse de una forma lógica; 4) la infiltración de la variación en el propio componente sintáctico estorbaba a una teoría que perseguía la completa uniformidad; 5) toda la variación debía atribuirse a la adquisición (“segundo factor”, Chomsky 2005) y este, a su vez, se reducía al léxico; etc. (v. Newmeyer 2005, Haspelmath 2008, Gallego 2011, Ramírez 2013).

Los parámetros se intentaron traducir a “microparámetros que agrupaban un número menor de fenómenos y dependían de unidades más pequeñas, haciendo responsables a los rasgos (formales) de las piezas léxicas; esta es la llamada conjetura Borer-Chomsky (v. Baker 2008, Biberauer 2008, Kayne 2010). La idea básica de la microvariación es que la composición del léxico varía entre lenguas y que la sintaxis es sensible a determinadas propiedades de esas piezas léxicas. Por consiguiente, aunque los mecanismos sean universales, un *input* distinto al sistema computacional supone un *output* distinto. De este modo, la derivación sintáctica puede dar lugar a estructuras diversas en la lengua de cada hablante (v. Ramírez 2013).

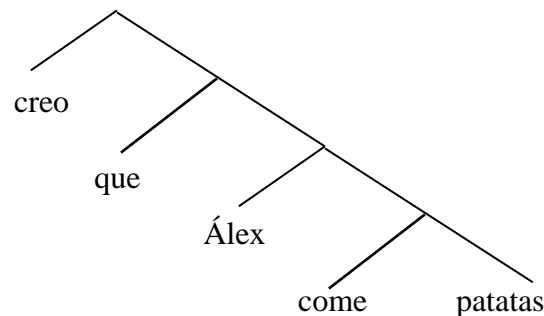
No obstante, con la proliferación de microparámetros reaparecería un problema que la teoría paramétrica intentaba evitar: la falta de sistematización de la variación (v. Newmeyer 2005). Igualmente, al sobrecargarse el léxico, se complicaba la adquisición que se intentó facilitar en la etapa de PyP. Además, se volvería a cometer el error de hacer depender íntimamente la teoría de la variación del recurso formal popular en el momento. En este sentido, en PyP los parámetros se hicieron depender de los principios de los módulos que, tras eliminarse de la teoría, dejarían sin *locus* a los parámetros. El Minimismo, en la misma línea, relacionaría íntimamente los parámetros a los rasgos formales centrales en la teoría, de modo que cuando las explicaciones de los mismos colapsen, se volverá a venir abajo la explicación de la variación.

2.4.3.6 Estructura de frase escueta y fases.

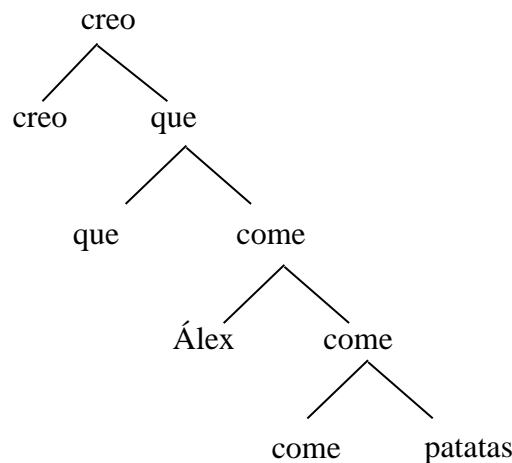
La simplificación de la concepción del lenguaje está asociada (ya sea por causa o por efecto; v. § 10.6), a una simplificación del aparato formal con que se representan las

estructuras sintácticas. Si para representar la estructura sintáctica en la teoría estándar se recurría a las reglas y transformaciones, y en PyP a la teoría X', con el programa minimista se utiliza la estructura de frase escueta. Este formalismo consiste, fundamentalmente, en la falta de formalismo, es decir, se intenta prescindir de todo lo que no sea léxico en las representaciones. Se representan las estructuras sintácticas mediante conjuntos (jerarquizados) formados mediante *merge* en los que se combinan piezas léxicas y en los que, en versiones más radicales, no queda rastro de niveles de proyección, núcleos (mayormente, el etiquetado (*labeling*) se desestima como mecanismo y el núcleo se identifica mediante un algoritmo, v. § 10.4.2.1), etc.

(18) a. Versión de estructura de frase escueta más radical:



b. Versión de estructura de frase escueta más moderada:



Como se discute pormenorizadamente en § 10, la transición de la teoría X' a la estructura de frase escueta llevó a despreciar los mecanismos y propiedades que anteriormente se habían considerado fundamentales, llegándose a un punto en que todo lo formal que uno encuentra es la operación *merge* y diagramas poco explicativos como los de (18). Esto haría cobrar fuerza a la teoría de fases que surgiría poco después

(Chomsky 2000, Uriagereka 1999) y serviría para identificar fragmentos y elementos relevantes en la estructura, intentando recuperar de algún modo la capacidad explicativa de la teoría X' acompañada de módulos. De este modo, lo que había sido un sintagma clásico se recodificaría en una fase (o esa es mi impresión), y la operación de *transferencia* pasaría a centralizar fenómenos como la concordancia, la localidad, la categorización, etc. Puesto que esta es una discusión de carácter más técnico y que requiere de un espacio mayor que trabaría la exposición, se desplaza el análisis y la revisión de estos asuntos a § 10.

2.4.4 El sistema computacional del lenguaje.

Con un enfoque mecanicista y simplificado del conocimiento lingüístico, Chomsky (1995) pasa de caracterizar el lenguaje como módulos muy complejos a caracterizarlo como unos cuantos mecanismos que establecen relaciones básicas entre los elementos y actúan conforme a determinados principios generales (de la mente). Estos tres elementos (mecanismos, relaciones y principios generales, junto con sus límites) se utilizan y reinterpretan en la tercera parte de la presente tesis para tender un puente con el que conectar la lingüística con la neurociencia cognitiva.

2.4.4.1 Mecanismos.

En el Minimismo, se defiende que los mecanismos actúan de manera local en el sentido de que realizan una sola operación con el mínimo de representaciones posibles. A continuación se revisan las principales operaciones que se describen en el Programa Minimista (Chomsky 1995). En desarrollos posteriores, se intentan reducir a la única operación de *merge*, aunque, con un *status* mucho menos reconocido, en los textos se hable también con una cierta frecuencia de la *transferencia*. Actualmente, se tiende a desechar mecanismos como la proyección o el *etiquetado*, pero se acaba sobrecargando soterradamente la operación de transferencia (v. § 10) o el mismo *ensamble* (v. § 2.5). Por consiguiente, aquí, y en el resto de la tesis, se adoptan como mecanismos fundamentales del lenguaje los apuntados en Chomsky (1995) a excepción, como se verá, de la concordancia. En líneas generales, estos son los mismos recogidos en Boeckx (2015), aunque ahí se hable más de etiquetado que de proyección, y este se aúne con la transferencia.

- *Selección (select)*: el sistema computacional accede al lexicón (conjunto de representaciones) para seleccionar la(s) pieza(s) que luego combinará¹⁹.

- *Ensamble (merge)*: combina los elementos elegidos en la susodicha selección léxica formando estructura o constituyentes. Se suele asumir que es una operación binaria, esto es, que une dos elementos $\{\alpha, \beta\}$; y que se aplica sobre la raíz, en el sentido de que las piezas van combinándose con la estructura generada previamente, ampliándola. Se distingue entre ensamble *interno* y *externo*: en el primer caso, la pieza se obtiene de la propia estructura, como ocurre con el movimiento; en el segundo caso, la pieza procede de las seleccionadas del lexicón y es, por lo tanto, la primera vez que se ensambla a la estructura.

- *Proyección o etiquetado (project o labeling)*: uno de los dos elementos combinados por *ensamble* categoriza el constituyente resultante, se convierte en núcleo y actúa de enlace con las otras representaciones que se ensamblarán. Aunque Chomsky (1995) lo considere parte de la operación asimétrica de ensamble y Boeckx (2015) de la asimetría en la transferencia, la proyección se tratará aquí como un mecanismo independiente, con entidad propia. Además, se priorizará la propiedad de que el elemento que proyecta se constituye en núcleo y hace de conector entre otros, por encima de la categoría que pueda derivarse de ello. Para Chomsky, la categoría es un requisito de los sistemas externos, que necesitan saber cuáles son las propiedades del conjunto resultante de *ensamble*, y está “determined derivationally”, es decir, resulta de cómo se aplican las operaciones. Se captura la endocentricidad: para un objeto sintáctico $K = \{\gamma\{\alpha, \beta\}\}$ “the label γ is either α or β ; one or the other projects and is the head of K . If α projects, then $K = \{\alpha\{\alpha, \beta\}\}$ ” (Chomsky 1995:243-244).

- *Transferencia o materialización (transfer o spellout)*: la estructura resultante de las operaciones anteriores pasa a otros sistemas. Podemos concebirla como un proceso similar a la distribución de la información visual en las dos rutas del *where* y *what* (aunque Chomsky 1995 piensa que cada sistema recibirá información divergente) (v. § 8.1.2.1.3). Se argumenta que la operación obedece a imposiciones de los sistemas con los que conecta, y que se puede aplicar cíclicamente. Una vez la información se transfiere, el procesamiento sigue su curso (independientemente) por los otros sistemas. De este hecho se derivarían las principales condiciones o restricciones sintácticas: las relaciones, combinaciones y movimientos propios de la sintaxis deberán establecerse antes de que la información relevante abandone el sistema (lo cual se recoge teóricamente con la teoría de *Fases* y la *Condición de impenetrabilidad de fase* (PIC); v. § 10.3).

- *Concordancia o validación (agreement)*: esta operación parasita las derivaciones, con poco consenso sobre si ocurre antes o después de la transferencia (o de forma simultánea). Se cree que los rasgos de las piezas concuerdan, siendo un requisito para que otras operaciones puedan seguir adelante (se habla de *cotejo* y

¹⁹ No se asocia el mecanismo a formalismos como numeración ni de “lexical array”, concibiéndose de forma general, porque no me parece conceptualmente imprescindible que la selección deba actuar de golpe sobre grupos de elementos (o uno formado por todos los necesarios), mucho menos que les asocie índices a lo “numeración” o que, a lo Chomsky (2000), los conjuntos dependan de una versión temprana de la teoría de fases que, como se discute § 10, es en general controvertida y voluble en lo referente a la identidad de los núcleos, el tamaño de las mismas, etc. La selección de las representaciones, y el acceso de las mismas al GW, discutido en 9.2, operará de forma progresiva y únicamente sobre aquellos elementos que vaya siendo necesario combinar.

eliminación de rasgos no-interpretables en las *interfaces* o en los sistemas externos). Como se discutió arriba, los rasgos acaban siendo un recurso teórico para dar un nombre a fenómenos que no se entienden. Mi intuición es que capturan propiedades de los otros sistemas con los que interactúa el lenguaje, más allá de lo sensorio o motor, como podría ser el control ejecutivo (v. § 2.4.3.4). Dado lo poco que se comprende de los rasgos y la concordancia, más allá de un nivel descriptivo, dentro de la propia lingüística, no propondré una implementación para esta operación en la presente tesis.

2.4.4.2 Principios.

Las operaciones de § 2.4.4.1 se realizan respetando unos principios muy básicos y generales que se conciben como principios de economía (v. Chomsky 1995 *et seq.*) y que, en su mayoría, me parecen razonables desde un punto de vista cerebral (v. § 11.4). A pesar de que la noción de principios generales se remonta a la etapa anterior (v. § 2.3), no es hasta la irrupción del programa minimista cuando se definen de una forma más o menos conciliable con el resto de sistemas de la mente o con principios naturales de carácter todavía más general (llamados del tercer factor; v. Chomsky 2005). Recuperando algunos de ellos y reformulándolos desde una óptica más neutral, el *Principio de Interpretación Plena* vendría a decir que la información debe ser compatible entre sistemas interconectados. En este sentido, las conexiones cerebrales siempre tienen significancia funcional, y las que no la tienen se reducen (hasta desaparecer), como en la etapa de poda sináptica del desarrollo.

La condición de *No tampering* o *Extensión* dicta que el procesamiento debe ser acumulativo, es decir, lo que se sucede en un punto se suma a lo que se ha computado previamente, sin destruirlo. Esto es lógico por el mismo orden temporal del procesamiento, puesto que la actividad cerebral que ya se ha producido tendrá efectos sobre la que viene después, y la que viene no podrá influir en lo que ya ha ocurrido. No obstante, sí que es posible enviar *feedback* o modular la actividad futura de regiones de menor orden desde regiones de mayor orden. Por su parte, el principio de *Last Resort* o *Procastinate* podría interpretarse como la ausencia de operaciones vacuas en el procesamiento. Los recursos cerebrales son limitados, y a menudo están sobrecargados, como en el caso de la atención (v. § 8.3). Sería totalmente contraadaptativo destinarlos a cosas superfluas.

La PIC puede resumirse en que cuando el procesamiento se transfiere de un sistema al otro, el primero deja de poder computar significativamente. Esta es una visión demasiado *feedforward* del procesamiento que contrasta con la existencia de tantas o más

conexiones cerebrales dedicadas al *feedback*. Puede que por eso la definición de fase no sea tan precisa como se quisiera: porque siempre queda algo de influencia posible en sistemas posteriores. Sin embargo, la idea está bien encaminada. Sobre este principio descansa la idea crucial de que el procesamiento es cíclico y que los elementos pueden relacionarse sólo en cierto margen temporal (habilitado por la memoria a corto plazo o de trabajo, v. § 8.2.4, y en cierto margen temporo-espacial en algunos casos, v. § 12).

Por último, otro principio viene a aseverar que la información que se transfiere a los otros sistemas está contenida ya en las representaciones (*Inclusivity Condition*), lo cual, a mi juicio, volvería vacua la aplicación de las operaciones. Haciendo un paralelismo, equivaldría a que una huella de memoria fuera lo mismo cuando está inactiva que cuando las neuronas que la conforman están descargando activa y sincrónicamente (v. mecanismos de *Binding by Synchrony* en § 5.4.3.1).

2.4.4.3 Relaciones y propiedades universales a partir de la combinación de mecanismos y principios.

Debido a este enfoque derivacional en que el procesamiento consiste en la sucesión de una serie de operaciones sobre las representaciones, las relaciones entre representaciones deben ser el resultado de esas operaciones y de su temporalidad (v. § 11). Esto significa que, por ejemplo, en “Álex come patatas”, *come* y *patatas* establecen una relación sintáctica y semántica porque fueron combinados por *ensamble* en un estadio temprano del proceso y, por tanto, *Álex*, que es ensamblado posteriormente con el resultado de combinar *come* y *patatas* y no con *come* no puede ser objeto del verbo. Desde un punto de vista interno a la teoría, la idea de que las relaciones se siguen de las operaciones y su temporalidad obliga a eliminar o redefinir nociones estructurales que se usaban para explicar los fenómenos. Por ejemplo, la omnipresente noción de mando-C, que servía para dictar bajo qué condiciones estructurales se establecían ciertas relaciones, debe reducirse a la idea de que las relaciones pueden establecerse entre elementos que se han combinado en determinado punto temporal, y no con los que entrarán a combinarse después, o se combinaron hace ya demasiado (y fueron transferidos).

En el programa minimista, las propiedades universales del lenguaje, antes representadas por reglas, transformaciones, principios, parámetros, etc. se intentan explicar mediante operaciones sobre representaciones que cumplen determinados principios y establecen determinadas relaciones entre ellas, generándose la estructura

sintáctica. Para hacernos una idea aproximada, podemos reformular así algunas propiedades del lenguaje: la estructura jerarquizada se sigue de la ejecución de *ensamble*, respetándose el principio de extensión; la endocentricidad se explica mediante la *proyección(etiquetado)* (aunque en desarrollos posteriores se elimine o se eche mano de un algoritmo poco explicativo, v. § 10.4.2.1); las relaciones locales se establecen como resultado de *ensamble*, y, según los autores, gracias en mayor o menor medida a la *concordancia* (cotejo) de propiedades de las piezas léxicas y en cumplimiento, del principio de interpretación plena; las relaciones globales vienen dadas por el *ensamble interno* y la concordancia, que valida rasgos formales (estas operaciones se corresponderían con posiciones estructurales concretas en la teoría de fases que luego predominará; v. § 10); la conexión con los otros sistemas se relaciona con el mecanismo de *transferencia* (al que se atribuirán operaciones como la herencia de rasgos); las condiciones pueden seguirse de principios generales de localidad (como la condición de impenetrabilidad de fase) o de rasgos formales de las piezas léxicas; la sistematización de la variación (si es que sigue contemplándose) se asocia a rasgos formales con efectos varios en la sintaxis; etc.

No merece demasiado la pena detenerse ni tratar de ser preciso en estos formalismos porque no casa con nuestros objetivos. De hecho, llegado el Minimismo, existe menos uniformidad aun en las explicaciones. Estas abarcan más o menos en función de cuánto aparato formal quiera adoptarse, qué principios se contemplen, qué propiedades se consideren dignas de explicación, cuánto abuso se haga de los rasgos, etc. Prueba de ello es que, como se expone en la sección siguiente, el abordaje de la cuestión de la evolución del lenguaje lleva a postular básicamente el *ensamble* como única operación y la recursividad como única propiedad características de la sintaxis.

2.4.5 Avances y desafíos.

En resumen, con el programa minimista, considerando que se había dado una respuesta a 1) que pudiera satisfacer 2), entró en juego, según lo interpreto yo, la pregunta 3): ¿cómo se usa ese conocimiento, y, por lo tanto, cómo interactúa con otros sistemas (v. Chomsky 1995: §§ 3 y 4; Chomsky 2001)? Siendo estrictos, la pregunta inicial era “*why*”, esto es, ¿por qué tenemos ciertos principios lingüísticos y no otros? Pero la respuesta que se dio fue que los sistemas con los que entra en relación (de forma óptima) la facultad del lenguaje imponen condiciones sobre la misma. La intercomunicación de sistemas es en

lo que consiste en realidad el uso de las cosas: por ejemplo, un libro no se usa hasta que entra en contacto con el lector o se coloca para decorar en una estantería, si no, su función como objeto aislado es nula. Por lo tanto, poner en uso la facultad del lenguaje implica que dicha facultad entre en contacto con sistemas “externos”. A pesar de los esfuerzos del generativismo en distinguir entre “competencia” y “*performance*” (o actuación), con el minimismo llegó el día de afrontar que el lenguaje no era un componente de la mente totalmente aislado. Esto condujo a una redefinición del lenguaje muy positiva para nuestro objetivo de conectarlo con el resto de la mente y el cerebro, pasando a concebirlo como un sistema dinámico, interconectado con otros. Siendo generales los sistemas, sus requisitos o principios no podían ser ni muy complejos ni muy específicos, como se había pensado hasta el momento. Se llegó así a reducir el componente sintáctico a unos pocos mecanismos, locales y sucesivos en el tiempo (enfoque *derivacional*), que actúan sobre unas representaciones (léxico) y respetan unos principios bastante básicos de origen externo al sistema lingüístico. Además, se puso en duda la naturaleza de los parámetros formulados como entidades lingüísticas, y se desvincularían del componente más innato o de principios para trasladarlos a algunas propiedades (rasgos) de las piezas léxicas (funcionales). Los avances del programa minimista son relevantes para la implementación de mecanismos y su interacción que proponemos en la tercera parte de la tesis.

No obstante, el Minimismo arrastró algunos errores, o cometió otros nuevos que se agravarían con el paso del tiempo. Por ejemplo, al empeñarse en el exceso de especificidad se defendió que el lenguaje es un objeto único (perfecto, óptimo), en contraposición con el resto de sistemas de la mente o con la misma naturaleza. O bien todo es “perfecto”, en un sentido de orden científicamente abordable, o bien nada lo es. Propiedades como la recursividad o el aspecto creativo pueden encontrarse también en, por ejemplo, el sistema motor (humano o no). Asimismo, en la práctica la investigación sobre la interacción del lenguaje con otros sistemas externos fue casi nula, identificándose unos sistemas simplistas en extremo y apenas teniendo presentes otras disciplinas. Igualmente, los principios, aun aspirando a ser generales, carecen de todo homólogo evidente a los de otros campos científicos, como la neurociencia cognitiva. Por ejemplo, a pesar de que se intente dejar atrás el exceso de modularidad, apelar a un “principio de impenetrabilidad de fase”, del que, sin esfuerzos como los de la presente tesis, no se halla correlato ninguno fuera de la lingüística, pone de manifiesto que las computaciones del

lenguaje y de lo que las rige se ha seguido concibiendo de forma encapsulada, *sui generis*. Lo mismo puede extenderse a los mecanismos, para los cuales se busca una implementación general y compatible con la del resto de la cognición en la presente tesis.

En el programa minimista, tampoco se ha abordado en profundidad el carácter “misterioso” del uso del lenguaje. El misterio no es exclusivo de la lingüística, sino compartido por el estudio de otros dominios cognitivos, como el control ejecutivo. Es nuestro deber, como el de otros científicos, intentar explicar el comportamiento (lingüístico), a partir de otros sistemas si es necesario. En ellos pueden encontrarse respuestas a cuestiones como la verdadera naturaleza de los rasgos formales. Si los rasgos fonéticos pueden emanar, digámoslo así, de los sistemas auditivo y articulatorio (v. Pulvermüller y Fadiga 2016), los rasgos formales podrían ser fruto de otros dominios de la cognición de mayor nivel en los que se integraría el lenguaje (v. § 8). Si no me conformaría con que una representación en la memoria de trabajo se sostuviera por tener un rasgo [+relevante], ¿por qué habría de contentarme con que un elemento se mueve porque hay un rasgo [PPE]? De hecho, con pasos como estos y la simplificación excesiva del aparato formal, se inicia una decadencia en la capacidad descriptiva y explicativa de la teoría. Se empiezan así a menospreciar las propiedades que antaño se capturaban de otra forma, de modo que, cuando se quiere estudiar la sintaxis con un mínimo de detalle en una corriente que desemboca en un mar de puro *merge*, unos echan mano de la teoría de fases, otros de los rasgos, etc. La familiarización con etapas previas como la Teoría Estándar o Principios y Parámetros, asumidas tácitamente, es necesaria si aspiramos a representar o desentrañar de los nuevos diagramas desnudos aquellas propiedades que en tiempos consideramos fundamentales (v. § 10).

2.5 La evolución. Biolingüística

Para desarrollar esta sección deben aclararse los rudimentos de la teoría evolutiva, y poder estar en disposición de comprender qué clase de objetos naturales están sujetos al proceso evolutivo, y cómo es el mismo. Esto nos evitará equívocos comunes en que incurre la teoría lingüística, y permitirá definir qué es un lenguaje “evolucionable” (lo cual acabará llevando una vez más a oponerse al pensamiento chomskyano). En el transcurso nos basaremos principalmente en literatura de biología y no nos distraeremos

con ficciones históricas para reconstruir el supuesto proceso evolutivo, lo cual se aleja de nuestro objetivo.

Concretamente, para la teoría evolutiva se tomarán como referencia manuales actuales (Reece *et al.* 2014, Raven *et al.* 2017, Solomon *et al.* 2010), por considerarse que ofrecen una visión de la materia consensuada, rigurosa y suficientemente completa, habida cuenta de que la pregunta principal que aspiramos a responder es cómo se implementa el lenguaje, y no cómo evolucionó²⁰. No obstante, la postura adoptada en la línea de la Síntesis Moderna o el neo-darwinismo, si quiere etiquetarse, no es arbitraria, sino que puede evitar algunas pobrezas en las explicaciones biolingüísticas y ofrece una alternativa coherente, especialmente con las hipótesis de la tesis acerca del lenguaje, la mente, y el cerebro (v. §§ 2.5.3-2.5.5). En cualquier caso, tampoco quisiera que por estar más próximo a la síntesis moderna se presuponga una creencia ciega de todos sus defectos y virtudes.

Pese a ello, sé que esta concepción de la evolución no responde a la prototípica de la biolingüística, pudiendo resultar desactualizada frente a una visión (un tanto radical) de la biología evolutiva del desarrollo y lo que puede considerarse la síntesis moderna extendida (Pigliucci y Müller 2010). Se podría achacar también un genocentrismo a lo Carroll (2005), más próximo a la visión característica de los manuales, y reprochar la ignorancia del llamado tercer factor (Chomsky 2005), a saber, principios generales que canalizan el desarrollo de los organismos, trascienden la genética, limitan el ámbito de actuación de la selección natural, etc. (v. Longa y Lorenzo 2012, Balari y Lorenzo 2013) Una vez más, es contrario a la metodología marcada el tomar partido en esta suerte de guerrillas. En ningún momento se niega la intervención de principios generales (v. Mendívil 2009), en última instancia físicos, en los fenómenos naturales del lenguaje, su evolución, desarrollo...sino que, al contrario, creo que absolutamente todo está gobernado por los mismos, tanto que ni siquiera es adecuada la disociación del tercer factor del resto. Ahora bien, cabe establecer límites en el objeto de estudio y seleccionar los niveles de análisis que resulten más reveladores. En este sentido, opino que la profundidad que uno encuentra a veces en biolingüística sobre asuntos (controvertidos

²⁰ Aunque, evidentemente, conocer la evolución del lenguaje contribuye a las hipótesis que pueden formularse sobre su implementación, también creo que esto puede funcionar a la inversa, y que la visión de la neurociencia y el encaje del lenguaje en la mente puede ayudar a definir la teoría evolutiva que se adopta. Puede que la biolingüística se haya visto forzada a adoptar una posición bastante radical de la teoría evolutiva debido a la visión (desacertada) que se tiene del lenguaje, y no exclusivamente por los méritos de esa postura en sí.

hasta donde sé) de la biología no siempre se traduce, en la misma proporción, en la profundidad que acaba encontrándose en las explicaciones sobre el lenguaje, especialmente en lo concerniente a su implementación. En la misma línea, creo que se valora mucho más la cuestión biológica de la evolución que la de la implementación, por lo que puede ser provechoso hacer, esta vez, lo opuesto.

Aun así, en ningún caso se pretende desmerecer los trabajos en el campo de la biolingüística, de la que se ofrece una impresión generalizadora. Existen, por ejemplo, propuestas que abordan justamente la evolución del lenguaje, como Balari y Lorenzo (2013), con quienes se comparte la idea de la inespecificidad del lenguaje y la existencia de homólogos para todos sus componentes, o Mendivil (2009, 2016), donde se establecen interesantes paralelismos entre la manera de abordar el estudio del lenguaje y de la evolución en relación a lo aquí discutido, compartiéndose también la visión de qué es lo que evoluciona cuando hablamos de evolución del lenguaje (v. § 2.5.2.1). Sin embargo, no es una discusión centrada en la biolingüística la que aquí se desarrolla, como tampoco lo es el resto de la tesis (v. § 1.2).

Como representantes de la (bio)lingüística se tomarán los trabajos de Hauser, Chomsky y Fitch (2002) y de Berwick y Chomsky (2016), a pesar de que desde la lingüística se suele hacer referencia, desde un punto de vista histórico, a Lenneberg (1967), Piattelli-Palmarini (1974), Jenkins (2000), etc. Nuevamente, preferimos, pues, la coherencia con el seguimiento del desarrollo de la teoría a partir del líder intelectual, Chomsky (respetando, además, el eje cronológico, temático y formal de la exposición). No fue hasta la publicación de Hauser *et al.* (2002) que la cuestión de la evolución (y la base biológica en general) del lenguaje atrajo un interés notable dentro del ámbito de la lingüística generativista ni remodeló de forma significativa la propia concepción del lenguaje (aunque fuera para simplificarlo sobremanera).

Al priorizar la literatura de biología por encima de la investigación de (bio)lingüistas actuales, siguiendo con la metodología definida en la tesis, se evita incurrir en el aislamiento, que hemos criticado en otros puntos, de la lingüística, y se llega a una visión alternativa de la evolución del lenguaje más consecuente con la síntesis moderna (y con el propio lenguaje tal como aquí se entiende). La atribución histórica del estudio del lenguaje en relación con la biología a, por ejemplo, Lenneberg (1967) me parece arbitraria y tendenciosa, en el sentido de que se usan referencias que sitúan en el centro de la cuestión trabajos emparentados con el generativismo. Puestos a rastrear los orígenes

de un estudio del lenguaje integrado en la biología, estimo más justo remontarse, como mínimo, a la investigación de Broca, Wernicke, Lichteim, Geschwind, etc. Las ideas que pueden haber sido revolucionarias para los lingüistas (como que el lenguaje debía encontrarse en el cerebro) habrán formado parte, desde mucho antes de lo que contemplamos en nuestro ámbito, de las premisas naturales de otros campos científicos. En este sentido, que el lenguaje era parte de la biología del hombre y que dependía del cerebro tuvo que ser una premisa básica para que los neurólogos diseñaran el modelo clásico del lenguaje, que, en el fondo, ni necesitó las aportaciones de Chomsky ni se ha modificado sustancialmente a partir de las mismas (v. § 8.1.4)²¹.

2.5.1 Una breve introducción a la teoría evolutiva.

Basándonos en la literatura de biología arriba acotada, podemos afirmar que la teoría evolutiva trata de dar respuesta a tres observaciones básicas: los organismos están adaptados a su entorno, comparten muchas características, pero son también muy diversos (Reece *et al.* 2014).

2.5.1.1 “Descendencia con modificación”.

La respuesta a dichas observaciones es simple: los organismos *descienden* de antecesores comunes, lo cual explica su unidad, con respecto a los cuales tienen *modificaciones*, de las cuales procede la diversidad (“descent with modification”, en las emblemáticas palabras de Darwin). Si concebimos el proceso de arriba en toda su extensión, la lógica lleva a partir de algo como un “antecesor común universal” (que daría origen a la vida en la Tierra hace unos 3.500 millones de años), cuya descendencia habría ido variando hasta hoy (Reece *et al.* 2014). Para trazar esa historia filogenética es fundamental el concepto de homología, referente a las estructuras similares que pueden encontrarse en organismos emparentados debido a un ancestro común (a diferencia de las homoplasias, en que el origen de la similitud no se explica por descendencia común) (Raven *et al.* 2017).

²¹ De forma análoga, tal vez esos mismos condicionantes físicos o generales que llaman la atención en biología y parte de la lingüística en lo referente al desarrollo y funcionamiento de los organismos y el lenguaje son una cosa de sentido común en otras disciplinas como la física.

2.5.1.2 Selección natural y adaptación.

Sobre la variación o modificaciones actúa la *selección natural*. Los organismos se reproducen por encima de lo asimilable por el entorno, y la descendencia difiere en sus características individuales. Ciertas características, en contraste con otras, le permiten al individuo una mayor tasa de supervivencia y reproducción en su entorno (también cambiante en el espacio y el tiempo). Es justamente gracias a estas características que, aunque suene a obviedad, sus portadores viven y se reproducen más: son *seleccionados naturalmente*. De este modo, su descendencia hereda rasgos ventajosos, teniendo así un mayor grado de *adaptación* al entorno (Reece *et al.* 2014).

2.5.1.3 Herencia.

Un requisito ineludible para la evolución es que las características, que varían, sean *heredables*. Es en este punto, históricamente conocido como Síntesis Moderna, donde la teoría evolutiva darwiniana se une a la teoría de la heredabilidad que arrancaría en Mendel (Reece *et al.* 2014), quien fue el primero en apuntar la existencia de unidades discretas transmisibles de un organismo a su descendencia, que hoy conocemos como genes. Actualmente, la visión predominante es que las variaciones fenotípicas son, a grandes rasgos, el resultado de variaciones genéticas (sin descartar la evidente influencia del entorno en el desarrollo). Por lo tanto, las características fenotípicas que la selección natural favorece son, en última instancia, consecuencias de características genéticas, que, desde el punto de vista aquí adoptado, son las unidades heredables que resultan relevantes en el proceso evolutivo (aunque pueda hablarse de epigenética, v. Longa y Lorenzo 2012).

Por consiguiente, la variación es el fruto de cambios genéticos: por mutación, duplicación o translocación de genes, u otros procesos en que se generan nuevos alelos o nuevos genes (v. Reece *et al.* 2014 §§ 22-25). La variación de genes o secuencias de ADN puede tener consecuencias fenotípicas de todo o nada; desembocar en un *continuum*, cuando múltiples genes codifican un único rasgo fenotípico; no tener consecuencias fenotípicas evidentes; o dar lugar a desarrollos inviables o nada ventajosos del individuo. Recientemente, en la biología evolutiva del desarrollo se ha descubierto que los genes se conservan en buena medida a lo largo del proceso evolutivo y que las mutaciones suelen afectar al control de unos pocos genes asociados al desarrollo del organismo sobre la temporalidad (heterocronía) y el espacio (homeosis) con que otros se expresan (Raven *et al.* 2017).

2.5.1.4 Individuos frente a conjuntos de ellos.

Los organismos individuales sufren el cambio *en relación a los otros organismos*. Nacen con la predisposición a desarrollar determinadas características (simplificando el proceso de desarrollo y la interacción entre genotipo y entorno para determinar el fenotipo) y con ellas morirán. Los organismos, pues, no evolucionan, sino que lo hacen los conjuntos o poblaciones de organismos en el tiempo. Las poblaciones (grupo de individuos de la misma especie, con reproducción fértil) comparten lo que se denomina *genetic pool*, que es la suma de todas las copias de cada tipo de alelo en cada miembro, y el origen de las modificaciones posibles (Reece *et al.* 2014).

2.5.1.5 Mecanismos.

Así, los mecanismos que causan la evolución son aquellos que intervienen en la frecuencia de los alelos: la selección natural, la deriva genética (*genetic drift*), el flujo genético (*genetic flow*) (Reece *et al.* 2014), la mutación y el emparejamiento no aleatorio (*nonrandom mating*) (Raven *et al.* 2017). Así pues, aunque la mutación, esos errores de copia en los genes, sean el origen principal de la variación genética, Raven *et al.* (2017) señalan la importancia de los demás factores en juego. Como discutíamos, la selección natural favorece consistentemente unos alelos por encima de otros a partir de lo apta que sea su expresión fenotípica, causando así la evolución adaptativa. La *deriva genética* consiste en que eventos azarosos (que tienen mayor efecto en poblaciones pequeñas) provocan fluctuaciones impredecibles en la frecuencia de los alelos. De esta forma, pueden acabar predominando unos alelos y desaparecer otros de casualidad, sin selección natural (puede deberse, en parte, a que las mutaciones sean neutras desde un punto de vista fenotípico). Por otro lado, el *genetic flow* o flujo genético consiste en la transferencia de alelos dentro o fuera de una población, debido al movimiento de los individuos fértiles o sus gametos (Reece *et al.* 2014). Por último, el emparejamiento no aleatorio consiste en que los individuos prefieren para reproducirse otros de fenotipo similar (*assortative*) o distinto (*disassortative*) (Raven *et al.* 2017)

2.5.1.6 Relacionar microevolución y macroevolución: ¿la acumulación gradual de pequeños cambios?

Llegados a este punto, en que al parecer la diversidad de las especies surge de las modificaciones genéticas (que son seleccionadas), el desafío consiste en relacionar la

microevolución con la *macroevolución*. Esto es, debemos determinar cómo los pequeños cambios en la frecuencia de los alelos en una población dan lugar al patrón evolutivo amplio, como la diversificación de las especies o el surgimiento de clases como los mamíferos²².

Desde un punto de vista más tradicional, la conexión entre microevolución y macroevolución se ha concebido de forma sencilla y directa: los cambios a gran escala no son más que el resultado de una acumulación gradual, generación tras generación, de los pequeños cambios genéticos. Sin embargo, también existe un modelo alternativo (v. Solomon *et al.* 2010), según el cual se producen largos periodos de estabilidad, interrumpidos por abruptos y breves lapsos de cambio en los que, posiblemente a causa de presiones ambientales extremas, surgen nuevas especies (*punctuated equilibrium*) (pudiendo bastar cambios escasos, pero críticos, en genes reguladores). La verdadera velocidad del proceso evolutivo puede moverse habitualmente entre esos dos extremos (Raven *et al.* 2017), o puede que siempre haya un gradualismo en las mutaciones genéticas a pesar de que su expresión fenotípica sea brusca a veces (Solomon *et al.* 2010).

En la misma línea, a una escala menor que la de la especiación, puede concebirse el surgimiento de novedades fenotípicas como la acumulación gradual de modificaciones sobre estructuras antiguas, cuyos estadios intermedios pueden haber sido seleccionados por beneficios funcionales diversos, o bien de una forma más brusca como fruto de pocas mutaciones en esos genes que controlan el desarrollo (Solomon *et al.* 2010, Reece *et al.* 2014). Con todo, aquí parecen entrar en juego conceptos bastante relativos, como el grado de diferencia o complejidad que se fija para considerar que algo es nuevo en relación a lo antiguo. Además, la velocidad de evolución no parece la misma para organismos de cualquier tipo, evolucionando más rápidamente las bacterias que las plantas, y estas que los animales (Raven *et al.* 2017).

²² Aunque el proceso de reconstrucción histórica, macroevolutiva, de esta acumulación gradual sea en cierta medida especulativo, hay indicios que parecen corroborarla: las homologías en los organismos, es decir, estructuras que son variantes de un mismo tema común, que son atribuibles al antecesor; los fósiles, que apuntan a que la diversificación es gradual y toma muchísimo tiempo; la extinción de especies, que apoya que la selección natural es una constante, capaz de sobrepasar la capacidad de cambiar de los individuos; los patrones biogeográficos, es decir, la distribución geográfica de las especies, que apuntan a que se fueron irradiando; etc. (Reece *et al.* 2014).

2.5.1.7 La intervención del azar y otros factores (físicos).

La modificación, fruto de un cambio genético, es un evento azaroso (es sólo un error de copia). Ese componente azaroso significa que no existe una mano invisible que guíe el proceso evolutivo, y haga surgir adaptaciones expresamente para el entorno (de ser así, no se habría extinguido la mayor parte de las especies) (v. Mendívil 2016). Además, las modificaciones tienen un poder limitado, y están sujetas a constricciones físicas. Como se explica en Reece *et al.* (2014), por razones puramente físicas, no podemos, por ejemplo, aumentar la masa de una araña manteniendo sus proporciones hasta alcanzar el tamaño de un elefante y que las patas lo resistan. Sin embargo, como se ha afirmado al principio de la sección, profundizar a ese nivel de detalle escapa a los objetivos de esta la misma.

2.5.2 Surgimiento del lenguaje dentro de la lógica evolutiva.

Por todo lo dicho, al hablar del surgimiento del lenguaje, hablamos del surgimiento accidental de organismos con capacidades cognitivas (modificadas en relación a sus antecesores) que les permitan realizar las operaciones “lingüísticas” notadas en secciones precedentes. Estos rasgos fenotípicos podrían resultar adaptativos y ser seleccionados naturalmente (o tratarse de puro azar). Al reproducirse, estos organismos individuales transmitirán mediante la herencia genética sus capacidades a las siguientes generaciones, de modo que determinadas características se irán extendiendo en la población hasta poder encontrarlas en todos los miembros. Entonces, estas capacidades, según la visión aquí adoptada, podrían:

- no necesitar del surgimiento de una nueva especie;
- ser modificaciones ligeras de capacidades antiguas;
- tener homólogos en el mundo animal;
- estar presentes de algún modo en nuestros antecesores del género homo;
- haber tomado mucho tiempo evolutivo;
- ser fruto de múltiples cambios genéticos;
- haber sido seleccionadas naturalmente, paso a paso, progresivamente.

Todas estas hipótesis son coherentes con la visión del lenguaje y de la teoría evolutiva aquí adoptadas, aunque no se correspondan con las de la biolingüística

analizadas en § 2.5.3. En mi opinión, la evolución del lenguaje sería, en suma, un proceso de acumulación de modificaciones cerebrales, de reciclaje de facultades mentales ancianas. Esta opción teórica me parece preferible a considerar que, en un único punto, se diera un salto evolutivo y surgiera algo totalmente inaudito en la naturaleza, o que hubiera un único cambio genético que marcara un antes y después absoluto (ni siquiera en un gen regulador). En definitiva, ni puedo ni pretendo reconstruir una historia sobre la evolución del cerebro que lleve a las capacidades actuales (v. Balari y Lorenzo 2013), pero sí estoy en disposición de esperar, si la teoría evolutiva contemplada es esencialmente correcta, que un lenguaje *evolucionable* haya sido la consecuencia de una acumulación de cambios genéticos con repercusiones cerebrales (entre otras) a lo largo de muchísimo tiempo y que las propiedades del cerebro de quienes tenemos un lenguaje en estado humano sean identificables, a grandes rasgos, en todas las especies emparentadas.

2.5.2.1 Las lenguas no evolucionan. La confusión entre cambio lingüístico y la evolución de la facultad del lenguaje.

Por razones como las expuestas, las lenguas no evolucionan, sino que lo hacen los organismos en relación con otros. De esta forma, se excluye de la discusión la dimensión cultural del lenguaje, siendo un error común en lingüística confundir la evolución del lenguaje como proceso de fundamento biológico con el cambio de las lenguas como proceso histórico basado en el componente más social o cultural de las lenguas. En definitiva, como discute prolijamente Mendivil (2009), las lenguas no evolucionan, sino que lo hacen los conjuntos de organismos que pueden desarrollarlas, adquirirlas y usarlas. Todos estos individuos tienen unas mismas capacidades, por lo que las lenguas son igualmente uniformes en lo esencial, no existen unas más primitivas que otras y el cambio lingüístico es una anécdota que ocurre en el margen a la variación que deja la dotación biológica (v. Mendivil 2016). Aunque pueda transmitirse culturalmente, el cambio lingüístico es ajeno a la unidad básica de herencia o transmisión de la evolución, los genes (aunque haya otras complejidades en la herencia que aquí se obvian).

2.5.3 La pregunta y la respuesta en la teoría chomskyana.

Al igual que ocurre con las otras preguntas sobre la adquisición, el uso y la implementación del lenguaje, es de ley reconocer a Chomsky que hiciera explícito, al menos para el ámbito de la teoría lingüística que nuestra facultad lingüística debía ser evolucionable y, que para ello era útil reducir la concepción del conocimiento lingüístico a lo universal. Si bien la manera de abordar y responder la cuestión de la evolución del lenguaje desde círculos generativistas, representados aquí por Hauser *et al.* (2002) Berwick y Chomsky (2016), me parece inconsistente con la visión de la teoría evolutiva aquí adoptada y que no es la única posibilidad conceptualmente posible, reseguir su respuesta resulta útil para ilustrar la concepción (inadecuada) que se pasa a tener del conocimiento lingüístico a la luz de la pregunta 4.

2.5.3.1 Un mal punto de partida. La pertinacia en aislar el lenguaje del contexto natural.

Con el objetivo de abordar mejor la cuestión de la evolución del lenguaje, Chomsky (en Hauser *et al.* 2002) distingue entre la “facultad del lenguaje en un sentido amplio” (FLA) y la “facultad del lenguaje en un sentido estrecho” (FLE). No obstante, el resultado vuelve a ser desanclar el lenguaje del contexto natural en que se pretende enmarcar²³. La FLA consistiría en sistemas generales y con homólogos en otras especies, pero se le sigue atribuyendo un sistema sensorio-motor y conceptual-intencional, en una lectura en extremo simplista de la neurociencia cognitiva y demasiado deudora de la arquitectura del lenguaje minimista. De hecho, se llegan a excluir de la FLA sistemas mejor conocidos como el de memoria por considerarse necesarios pero no suficientes para el lenguaje. En cambio, la FLE sería un subconjunto de la FLA específico y exclusivamente humano (lo cual resulta contradictorio si la FLA es general y la abarca). En la FLE se hallaría la capacidad, no vista en ninguna otra especie según Hauser *et al.* (2002) al revisar estudios comparativos, de la recursividad. Esto es, la teoría evolutiva

²³ De acuerdo con Lorenzo (2008), el punto de partida de la visión de Chomsky sobre la evolución se remonta a como mínimo los 60, habiéndose mantenido en el tiempo las ideas clave de la inespecificidad funcional y de la discontinuidad del lenguaje. En mi opinión, en caso de considerarse ese el punto de partida, sigue tratándose de uno inadecuado y que pone de manifiesto cómo la concepción específica del lenguaje ha condicionado significativamente la teoría evolutiva que se ha acabado instaurando.

debe dar cuenta de una fuerte discontinuidad en la cognición entre humanos y especies emparentadas, que nos permite crear objetos infinitos a partir de la combinación de elementos discretos finitos.

En otros puntos de la presente tesis se defiende, por el contrario, que esta es una propiedad general de la mente rastreable en otras especies y en otros dominios cognitivos, como el sistema motor (se coincide en este respecto con la popular crítica de Pinker y Jackendoff 2005, pese a no estar de acuerdo en otros puntos). A mi juicio, al diferenciar la FLA de la FLE se comete una vez más el error del maniqueísmo de la teoría chomskyana. De la misma forma que con la distinción entre competencia y actuación se fomentó un desinterés por el resto de sistemas de la mente (pues la teoría pasó a centrarse en la llamada competencia), con la distinción entre FLA y FLE se centra el interés de nuevo en un objeto aislado de su contexto natural, la FLE, que no tiene homólogos, es exclusivamente humano... cuando en las explicaciones evolutivas es fundamental encontrar homologías para trazar filogenias. Si todos los atributos de las especies fueran específicos y únicos, como se cree que es la FLE, la teoría evolutiva, construida sobre la idea de la descendencia con modificación, se desmoronaría a mi juicio.

Uno podría contraargumentar que distinciones como estas (FLA/FLE, competencia/actuación...) no benefician, a priori, el interés por uno de los dos miembros del binomio por encima del otro, pero en la práctica han llevado en general a aislar el lenguaje del resto de sistemas, del resto de especies, etc. Además, suponen un punto de partida tendencioso desde buen comienzo. La hipótesis por defecto debería ser que hay homólogos de las capacidades lingüísticas en otras especies, y buscarlos exhaustivamente, respetando así la lógica fundamental de la teoría evolutiva. Es insuficiente basarse en trabajos comparativos como los referenciados sobre el sentido numérico en Hauser *et al.* (2002) para lanzar afirmaciones como que la recursividad es exclusivamente humana, hecho que, en caso de ser ciertamente así, plantea un desafío teórico difícil de resolver convincentemente desde el punto de vista evolutivo.

2.5.3.2 La reducción de la homología a los sistemas de comunicación y la confusión con la gradualidad.

Aparte, en Hauser *et al.* (2002) se hace de continuo hincapié en que la FLE apenas guarda relación con los sistemas de comunicación (aunque, sorprendentemente, sería una forma óptima para conectar con los mismos, v. Pinker y Jackendoff 2005), constituyendo

una forma de organizar el pensamiento mucho más interna, digámoslo así. Esta idea se utiliza para deducir, erróneamente, que la FLE no ha evolucionado de forma gradual y que la selección natural habría jugado un papel secundario, porque su punto de partida no son esos sistemas de comunicación de los cuales sería una reelaboración.

“This hypothesis holds that homologs of FLB [Faculty of Language Broad], including FLN [Faculty of Language Narrow], exist (perhaps in less developed or otherwise modified form) in nonhuman animals [...] According to this hypothesis, human FLB is composed of the same functional components that underlie communication in other species.” (Hauser et al. 2002: 1572)

No obstante, el hecho de que la FLE dependa o no de sistemas de comunicación es independiente de si su surgimiento ha sido gradual. De esta forma, es perfectamente posible que la supuesta FLE se basara en otros sistemas cognitivos que sí tienen homólogos en otras especies, en la línea que se defiende en esta tesis, como podrían ser sistemas de la cognición de mayor nivel (memoria, atención, consciencia y control ejecutivo). Su evolución podría concebirse, por lo tanto, como un proceso gradual de cambios sobre esos otros sistemas, aun en el caso de que la interrelación con la comunicación animal fuera menor de lo que a simple vista parece.

2.5.3.3 Una novedad (enorme).

La novedad que según Berwick y Chomsky (2016) evoluciona, y nos separa del resto de especies, es lo que llaman *Basic Property of language*, que consiste en un sistema computacional que puede generar infinitud de expresiones jerárquicas con determinadas interpretaciones en otros sistemas de la mente (semánticos-pragmáticos y sensorio-motores). A pesar de que todo esto se intente simplificar bajo la etiqueta de la operación *Merge*, las novedades que se apuntan en Berwick y Chomsky (2016: 87) son mucho mayores, puesto que se asume que la operación “takes human concepts” (en oposición a conceptos no-humanos, sobre los que no se aducen diferencias); que la operación da lugar a jerarquía, infinitud, nuevas relaciones sistemáticas con otros sistemas y, en definitiva, un nuevo “lenguaje del pensamiento” más rico.

2.5.3.4 El ocultamiento de otras operaciones.

En suma, aunque se postule que la novedad es una única operación, se está argumentando que es toda una nueva forma de pensar. ¿Qué se ha hecho de las otras operaciones elementales con que se caracterizaba el conocimiento lingüístico? Berwick y Chomsky (2016) no se pronuncian sobre la *transferencia, proyección, selección,*

concordancia... aunque el desglose de *ensamble* en propiedades como las relaciones sistemáticas con sistemas externos recuerde a *transferencia*, por ejemplo, lo cual apunta a que están camuflando mal una mayor complejidad de esa “propiedad básica del lenguaje”. Asimismo, en Hauser *et al.* (2002) se defiende que la FLE no sólo crea las representaciones internas, sino que las mapea a los sistemas externos con los que conecta. Esto, traducido a mecanismos, equivale como mínimo al *ensamble* y a la *transferencia*. Por consiguiente, estos autores están pasando por alto una serie de propiedades del lenguaje que van más allá de la misma operación de *ensamble* y de la recursividad, que en otros momentos de la teoría se consideraron fundamentales y que ahora quedan huérfanas de explicación (v. Pinker y Jackendoff 2005).

2.5.3.5 Una mano invisible frente al azar.

Además, en Berwick y Chomsky (2016) asoman ideas que evocan claramente la creencia de una mano invisible que guía la evolución, cosa que descartamos arriba. Se afirma que “language is well *designed* for computational efficiency and expression of thought” (énfasis mío) (Berwick y Chomsky 2016: 107), mientras que no parece diseñado para la comunicación. Asimismo, en Hauser *et al.* (2002: 1574) se afirma que “computational capacities evolved *for reasons* other than communication” (énfasis mío). Al margen de que este argumento se suele usar para descartar el favorecimiento de la selección natural de ciertas capacidades comunicativas (con homólogos en otras especies que resultarían bienvenidos), se deja entrever que el lenguaje surgiría con un propósito, para satisfacer determinada necesidad. Esta idea es más llamativa aun cuando se argumenta que el lenguaje es como es *porque* es más una herramienta de pensamiento que comunicativa. Como vimos arriba, en el surgimiento de las modificaciones que se heredan y constituyen la evolución no hay un verdadero *porque*, sino el azar de cambios genéticos de expresión más o menos favorable²⁴.

2.5.3.6 La falta de homólogos.

Como apuntábamos arriba sobre la FLE, Berwick y Chomsky (2016) argumentan que esa “propiedad básica” del lenguaje carece de homólogos en el mundo animal y

²⁴ Aunque ocurra, se dice, en los márgenes habilitados por una física cuya aplicación al lenguaje y su fundamento biológico no estamos realmente contemplando. De todas formas, bajo mi punto de vista, en la naturaleza no hay margen para el azar, sino a lo sumo para la indeterminación, pero debatir esto nos aleja del objetivo de la tesis.

ancestros homínidos. Se dice que surgiría en los humanos anatómicamente modernos, entre el periodo de su surgimiento, hace 200.000 años, y el éxodo de África, hace unos 60.000. A pesar de que se afirma que en ese lapso de 130.000 años hay tiempo para una evolución gradual, lo que se postula es lo contrario: un salto en un cierto punto.

Se cree así que en ese lapso una ligera mutación genética provocó un “slight rewiring” en el cerebro. Tal vez mi conocimiento de neurociencia cognitiva sea demasiado limitado, pero no he leído nada semejante a que un sistema, gracias a algo como un “slight rewiring”, adquiriera algo tan potente como la capacidad de “recombine meaningful units into an unlimited variety of larger structures, each differing systematically in meaning.” (Hauser *et al.* 2002:1576). De hecho, un caso claro de recombinación de unidades en representaciones mayores (potencialmente infinitas) se encuentra en la combinación de rasgos en perceptos en el sistema visual (Jackendoff y Pinker 2005), que depende de una organización jerárquica y compleja de la corteza, de ricas conexiones corticales y subcorticales, e incluso de mecanismos como el “ligamiento por sincronía” (*binding by synchrony*, BBS; v. § 5.4.3.1) que pueden trascender las conexiones anatómicas... y van, en definitiva, más allá de un “slight rewiring”.

2.5.3.7 Un paralelismo como contraargumento.

Así las cosas, lo coherente con la teoría evolutiva según se define aquí es que un lenguaje evolucionable sea fruto de muchos “slight rewirings” del cerebro y de múltiples cambios (genéticos) anteriores al surgimiento de humanos modernos. De este modo, contaríamos con los mismos mecanismos que nuestros ancestros y parientes evolutivos, sólo que, quizás, ligeramente más potentes (v. Balari y Lorenzo 2013). Buscando un paralelismo, podemos pensar en el altísimo grado de motricidad fina que tenemos los humanos en las manos. No me imagino a ningún pariente evolutivo, como el chimpancé, capaz de coordinar el movimiento de los dedos con la precisión o control temporal necesarios para tocar el piano. No obstante, no por ello postularía que la mano y el control cerebral de la misma en los humanos es algo mágico en términos evolutivos. Morfológicamente, nuestra mano no dista tanto de la de especies de tetrápodos que se ramificaron hace millones y millones de años; su desarrollo es homólogo al de las extremidades de animales tan diferentes en apariencia como las ballenas, por ejemplo, y es el resultado de la expresión de unos mismos genes conservadores, pero con una temporalidad y grado de expresión diferentes (bajo el control de lo que se conoce como

genes reguladores). Asimismo, los centros del sistema nervioso responsables de ese movimiento (*grosso modo*, los ganglios basales, el cerebelo y regiones motoras frontales) se hallan igualmente conservados en muchísimas otras especies. Por ejemplo, si se estimula eléctricamente la parte superior del área de Brodmann 4 tanto en un chimpancé como en un humano, ambos moverán la mano del lado contralateral. Por lo tanto, si se quiere comprender por qué los humanos somos capaces de tocar el piano, es preferible basarse en las capacidades, prácticamente iguales, de los demás animales. Me parecería un error pensar que los mecanismos que nos permiten semejante grado de control motor fino fueron fruto de una novedad insólita hace menos de 200.000 años, y que pasaron a definir lo que somos. Postular algo de este estilo para el lenguaje me parece igual de incoherente con cómo funciona la naturaleza.

2.5.4 La pérdida de la complejidad computacional por la discontinuidad evolutiva. Una solución.

Por todo lo dicho, el lenguaje se intenta reducir al mínimo, radicalizando la tendencia del programa minimista y desvirtuándola, en la medida en que se dejan de capturar y explicar propiedades básicas del lenguaje. El Minimismo hizo aportaciones útiles en sus comienzos como fomentar el enfoque derivacional, enfatizar la relación con otros sistemas y proponer mecanismos y principios generales, etc. con los que explicar las estructuras sintácticas. Cuando la simplificación se fue de las manos, la teoría de fases rescató propiedades que se estaban perdiendo de vista (v. § 10). A pesar de que se intenta que el lenguaje sea mínimo, lo cierto es que entraña cierta complejidad. Esta complejidad es un problema cuando se aborda la cuestión de la evolución del lenguaje tal como se hace en la teoría chomskyana. Como no se establecen homólogos entre la sintaxis y el resto de especies, la única opción forzosa para que haya un mínimo de coherencia con la teoría evolutiva es reducir, no sin recelo, la sintaxis al mínimo: *ensamble* y recursividad. Esta simplificación excesiva se refleja en una desatención por lo formal: simplificando, la teoría estándar podía relacionarse con las reglas y las transformaciones; PyP, con la teoría X', los módulos, etc.; el Minimismo, con la estructura de frase escueta y las fases. En cambio, no existe una asociación clara entre esta etapa de la (bio)lingüística y cierto aparato formal.

La simplificación excesiva del lenguaje y de la teoría con que explicarlo es a lo que obliga la afirmación de que el lenguaje es, en lo fundamental, algo totalmente

novedoso desde un punto de vista evolutivo. Por el contrario, si se defiende que tiene homólogos, que descansa en otras estructuras y mecanismos generales de la mente, como se defiende en la presente tesis, no es necesario sacar, si se me permite la metáfora, un conejo gigante de la chistera para explicar su evolución. Un lenguaje evolucionable debe depender, a mi juicio, de otros sistemas generales, que se encuentran igualmente en otras especies emparentadas. En este sentido, afirmar, por ejemplo, que la memoria del hombre tenga mayor capacidad que la de un ratón no implica que haya un salto evolutivo, que los ratones no sean un modelo válido, ni que podamos encontrar homólogos en las estructuras cerebrales y los mecanismos básicos (v. Balari y Lorenzo 2013)²⁵. Preferimos, por lo tanto, dar más crédito a la teoría evolutiva más clásica, si quiere considerarse así, y buscar explicaciones del surgimiento del lenguaje de forma gradual, con homólogos, mediante mecanismos como la selección natural, etc. considerando que seguir esta lógica es tanto o más explicativo, e igualmente legítimo al amparo de una visión consolidada de la teoría evolutiva y de una concepción del lenguaje razonada en el presente capítulo (y el resto de la tesis).

2.5.5 Avances y desafíos.

De esta etapa podemos quedarnos con el requisito de que el lenguaje debe haber sido evolucionable, pero no parece necesario quedarse con la respuesta chomskyana. Frente a la falta de homólogos o su restricción a comunicación animal, el saltacionismo, etc. puede responderse con la alternativa de que el lenguaje cuenta en realidad con homólogos, no necesita del surgimiento de una nueva especie, puede ser fruto de múltiples cambios genéticos, evolucionar por un proceso gradual que parte de modificaciones pequeñas de otras estructuras y dominios cognitivos, con cuyos mecanismos hay continuidad, etc. Cada una de estas posturas se aferra a versiones diversas de la teoría evolutiva, pero la segunda parece más afín a la más consolidada en el campo de la biología. Asimismo, cada una de las posturas enfrentadas depende de una concepción particular del lenguaje, visto como algo especial en la naturaleza en el primer caso, o como algo mucho más terrenal e integrado con el resto de la mente en el segundo. De ser cierto esto último, como se defiende en la tesis, la evolución del lenguaje aquí

²⁵ Aunque se diga que la FLA cumple esos criterios, lo cierto es que el interés general se centra en la FLE, que para ella se propone un proceso evolutivo un tanto excepcional, y que el estudio de la FLA se centra en trabajo comparativo con sistemas de comunicación animales con los que, según la misma teoría chomskyana, el lenguaje apenas tiene relación.

esbozada no es sólo conceptualmente válida, sino más adecuada y elegante (aparte de facilitar el trabajo comparativo). Evidentemente, en la arquitectura del lenguaje hay mucho más de lo que puede explicarse en términos evolutivos, y su investigación, desde el punto de vista del cerebro y la mente, se desarrolla en el resto de la tesis, pero la inclusión de ciertos debates filosóficos o físicos aquí se considera poco fructífera.

Además, la visión aquí defendida no obliga a reducir en exceso la complejidad del lenguaje, porque le concedemos el espacio suficiente para que encaje en un marco evolutivo amplísimo y complejísimo (cognición humana y de otras especies, propiedades más primitivas aun, v. § 5.4.8, etc.). En cambio, cuando el generativismo postuló que la facultad del lenguaje debía ser posible en un contexto evolutivo, se pensó que cuanto menos fuera lo que hubiera que evolucionar, mejor. A pesar de los intentos por mantenerla en su mínima expresión, se ha ocultado (mal) la complejidad innegable de la facultad del lenguaje, ofreciéndose una caracterización formal excesivamente pobre. También se ha confundido la (discutible) falta de asociación con la comunicación animal con la independencia del proceso evolutivo de la selección natural y el gradualismo; todo se ha mostrado, de soslayo, como frutos de unas razones o causas profundas que, en relación con la idea de finalidad, son inexistentes en un proceso de accidentes, errores; etc (y, desde un nivel de análisis profundo del llamado tercer factor, no estamos en disposición de responder). La teoría se ha apresurado en especular con reconstrucciones históricas y a pesar de la retórica, se han reciclado términos de la teoría evolutiva para describir una vez más la arquitectura del lenguaje minimista (y anterior), haciendo que los sistemas externos (o la actuación) sean la FLA, y la sintaxis/sistema computacional (o la vieja competencia) sea la FLE. El interés, generalizando, sigue centrado completamente en la FLE, que es, de nuevo, algo especial y poco manejable para ofrecer una explicación a la implementación del lenguaje.

2.6 La implementación. El futuro

La pregunta 5), la implementación del lenguaje en el cerebro, me parece la peor respondida desde el generativismo. A pesar de que las menciones al cerebro vayan asomando en los escritos, los esfuerzos por entender cómo funciona han sido casi nulos. En Chomsky (1986) encontramos párrafos como los siguientes:

“knowing the language L is a property of the person H; one task of the brain sciences is to determine what it is about H’s brain by virtue of which this property holds”(Chomsky 1986: 22)

“linguistics, conceived as the study of I-Language and S0, becomes part of psychology, ultimately biology” [...] “its [the study of language structure] concern is a particular faculty of the mind, ultimately the brain” (Chomsky 1986: 36-37)

La respuesta que se da en el reciente trabajo de Berwick y Chomsky (2016) se reduce a una simplificación de lo que dicen trabajos como los de Friederici en neurolingüística (v. § 8.1). Asimismo, en la colaboración de Chomsky con Friederici *et al.* (2017), la única diferencia con respecto a publicaciones anteriores es que se hace referencia a las oscilaciones cerebrales en relación al lenguaje como si fuera algo novedoso, cuando hay investigaciones al respecto que se remontan a mediados de los 90 (v. § 8.1.3). Además, la cuestión de la implementación del lenguaje en el cerebro no ha alterado la concepción que se tiene del mismo, como sí hicieron otras preguntas en otras etapas del generativismo. La pregunta de qué es el conocimiento lingüístico llevó a postular un sistema de reglas y transformaciones que rompía con la tradición; la pregunta de cómo se adquiriría llevó a postular un sistema de principios y parámetros; la pregunta del uso o el por qué del lenguaje llevó a principios generales que pudieran ser compatibles con sistemas considerados externos al propio lenguaje; y la pregunta sobre su evolución llevó a reducir la concepción del lenguaje básicamente a *ensamble*. Sin embargo, no veo qué cambios en la concepción del lenguaje ha conllevado la pregunta 5.

2.6.1 Tres componentes a implementar.

Según Berwick y Chomsky (2016), para implementar el lenguaje necesitamos tres componentes: la operación combinatoria, *ensamble*, los elementos que se combinan (palabras o estructuras ya formadas) y un *workspace* en el que esto tenga lugar. Así las cosas, localizan vagamente estos tres componentes en las regiones y conexiones que desde hace más de un siglo se creen implicadas en el procesamiento lingüístico: *Ensamble* estaría por el área Broca (especialmente la parte opercular, área de Brodmann (BA) 44); el lexicón, por la de Wernicke; y las conexiones entre ambas se producirían a través de vías dorsales y ventrales formando el “anillo completo”, el *workspace*, donde *Ensamble* puede trabajar con elementos del lexicón. Las conexiones que conforman el “anillo” serían exclusivas de la especie, aunque similares a las observadas en los primates (por eso sólo nosotros tendríamos *Ensamble*), madurarían y se volverían funcionales con la mielinización, hacia los tres años (cuando se supone que se controla la sintaxis), y serían

resultado de una pequeña modificación genética en un factor de crecimiento que guiaría las fibras hacia una región con la que hasta los humanos modernos no se establecía una conexión (Berwick y Chomsky 2016). En fin, tendríamos una nueva conexión que permitiría que las representaciones en regiones temporales fueran combinadas por una operación frontal, y esto cambiaría extraordinariamente nuestra forma de pensar. Como se discutió en la sección previa acerca de la novedad evolutiva de la recursividad, este es un salto enorme que no puede atribuirse a un cambio pequeño.

2.6.2 Una versión menor de la neurociencia y de la lingüística.

A mi juicio, una respuesta así a la implementación del lenguaje es una versión pobre de lo que se propone en neurolingüística, discutido por extenso en § 8.1 y que tampoco me parece satisfactorio. No se hace justicia al mínimo de complejidad admisible en el lenguaje ni al mínimo de complejidad admisible al funcionamiento del cerebro (v § 3 y parte II de la presente tesis). Usando un paralelismo, me parece que lo recogido en Berwick y Chomsky (2016) equivaldría a explicar la implementación de la visión en los siguientes términos: las regiones occipitales (BA 17, 18 y 19, por ejemplo) procesan la señal visual, conectan con la corteza parietal mediante la vía dorsal y con regiones temporales a través de la vía ventral, y este anillo permite la operación “ver”. Considerar que explicaciones así son suficientes, y que uno puede decir que al hablar de “*ensemble*” en abstracto está hablando asimismo del “cerebro”, me parece, en el mejor de los casos, un pecado de inocencia. Por razones como estas, no tiene sentido extendernos ahora en la explicación insatisfactoria que se ofrece desde la lingüística a la implementación del lenguaje en el cerebro: en la medida en que se trata de versiones menores de lo que se propone en neurociencia cognitiva, se reserva la discusión de los trabajos de esta disciplina a § 8.1. De igual forma, si la versión de un lenguaje implementable en el cerebro se reduce a unas cuantas piezas léxicas combinadas por una única operación sintáctica, *ensemble*, se tiran por la borda décadas de investigación sobre la facultad del lenguaje y los descubrimientos de propiedades importantes que se habían identificado.

2.6.3 Avances y desafíos.

Finalmente, nos hemos encontrado con la necesidad, de todas todas insatisfecha desde la corriente del generativismo y la biolingüística, de incorporar la pregunta 5 de la implementación del lenguaje (v. § 2.1.1). A pesar de que desde el ámbito de la neurociencia cognitiva (v. § 8.1) se hayan hecho propuestas desde hace muchísimo tiempo, estas no parecen haber calado ni remodelado significativamente en la concepción del lenguaje que se tiene en la (bio)lingüística, como sí ha ocurrido hasta cierto punto (insatisfactorio) con la cuestión de la evolución del lenguaje. Basta mirar las referencias de las obras recientes, así como de las pasadas, para ver la escasísima o nula presencia de literatura de esta disciplina. Aunque la implementación sea una cuestión recentísima para la lingüística teórica, es evidente que se plantea desde los orígenes de la neurociencia cognitiva con Broca, y para lo cual hay modelos más completos y explicativos (v. § 8.1). Así las cosas, ¿por qué los interesados en 5) no nos limitamos a la literatura de neurociencia cognitiva? Por desgracia, de la misma manera que los lingüistas hemos esquivado la neurociencia, la neurociencia parece haber esquivado la lingüística (v. Poeppel 2012). Hay propiedades del lenguaje indiscutibles que, sin embargo, no se contemplan en los modelos del lenguaje de la neurociencia cognitiva y que, para colmo, no se contemplan ni en la propia lingüística actual. Es imperioso, pues, poder conciliar lo que sabemos desde la lingüística con lo que se sabe desde la neurociencia, y ahí estriba la necesidad de la presente tesis, cuya génesis se remonta a Ramírez (2014 *et seq.*).

2.7 ... Y hacia una implementación verosímil del lenguaje

A modo de conclusión de este capítulo y como punto de partida para la propuesta de la tesis, el lenguaje sería una suma de, por un lado, mecanismos cerebrales que conciernen a su uso, tienen límites, se rigen por principios, son compartidos por otros dominios cognitivos y especies y están implementados de la misma forma, y, por otro lado, de memoria a largo plazo (representaciones), que es lo que se adquiere mediante procesos generales de aprendizaje y sobre un sustrato neuronal condicionado de forma innata. A pesar de la semejanza de esta dicotomía con la división entre lexicón y sistema computacional de Chomsky (1995), el conocimiento lingüístico no puede considerarse

una competencia totalmente específica e independiente del uso ni abarcar de forma estática (reglas, módulos, etc.) la actividad dinámica mediante la cual se genera e interpreta una estructura con determinadas propiedades universales.

Desarrollando brevemente esta visión, y siguiendo las cinco preguntas fundamentales para el estudio del lenguaje, puede decirse que el conocimiento lingüístico no equivale a la totalidad del procesamiento lingüístico. Existirían mecanismos generales, empleados también en otros dominios cognitivos, que dan lugar a las características universales de las expresiones lingüísticas. De este modo, se es competente en la facultad gracias al uso de la misma, que trasciende el formalismo de reglas, rasgos, etc. Si bien, en la medida en que son resultado natural de cómo funciona el cerebro tras un larguísimo proceso evolutivo, esos mecanismos no se adquieren, sí habría una dimensión del lenguaje adquirible: las representaciones. Las representaciones serían huellas de memoria codificadas por los mismos mecanismos de otros tipos de aprendizaje. En este sentido, el popular argumento de la pobreza del estímulo es una característica general de todo aprendizaje y no puede, por ende, esgrimirse para postular un proceso de adquisición del lenguaje cualitativamente distinto al de otras facultades. Las respuestas, por lo tanto, deben rastrearse en los sistemas de memoria, que se revisarán brevemente en la segunda parte de la tesis, y para los cuales se acepta, con mucho mayor consenso, un componente innato que no está tan sujeto a debate como en lingüística. Al mismo tiempo, la adquisición de reglas, cualquiera que sea su naturaleza, es un proceso poco comprendido en otros dominios cognitivos, como el sistema de control, y el desarrollo de módulos va contra la fuerte interrelación que se produce entre dominios de la cognición de mayor nivel (v § 8.6).

El uso de la facultad del lenguaje, por lo tanto, consiste en la sucesiva aplicación de mecanismos en el tiempo, con sus propios principios y límites. Es en el uso donde se intercomunican múltiples sistemas y es de esa interacción de donde surge la cognición compleja. Así pues, el enfoque derivacional minimista resulta más compatible con el funcionamiento de otros dominios de neurociencia cognitiva, y las respuestas a por qué el lenguaje es como es deben buscarse en dominios cognitivos bien conocidos, como la atención, la memoria, la consciencia, el control ejecutivo, etc. Estos dominios son prioritarios sobre sistemas que externos que “inventamos” los lingüistas, simplificando en demasía la mente y postulando, pese a buenas premisas, unos principios desconectados de todo y sin correlato en la neurociencia cognitiva (o sin una relación transparente con

la ciencia en general). En la misma línea, los rasgos pueden reflejar la interacción de esos múltiples sistemas desatendidos, pero en su concepción y uso actuales son sólo un recurso poco explicativo sin homólogos en la neurociencia cognitiva: como habíamos ejemplificado, en la memoria de trabajo no se explica el sostenimiento de una representación atribuyéndole un rasgo [+relevante], sino que se recurre a sistemas como el control y la atención. El planteamiento de estas cuestiones puede desembocar en problemas de difícil resolución, como en el caso de la consciencia (v. § 8.4), pero, si realmente queremos ofrecer una explicación mínimamente completa del objeto de estudio, eso no nos exime de la responsabilidad de buscar respuestas al comportamiento lingüístico,.

De hecho, la inclusión en nuestras explicaciones de mecanismos generales usados por otros dominios cognitivos, como se desarrollará en la tercera parte de la tesis, da lugar a una visión del lenguaje coherente con la propia teoría evolutiva (y el resto de la mente) en la línea de la Síntesis Moderna. Parece adecuado dar con homólogos de las operaciones lingüísticas en otros dominios cognitivos y en otras especies, lo cual contrasta lo evolutivamente específico, exclusivo y novedoso que se considera el lenguaje en la corriente generativista. Estos atributos están forzando a reducir tanto la complejidad del lenguaje que se es incongruente lo que había sido fundamental en la propia lingüística. Un lenguaje evolucionable, por el contrario, puede explicarse mediante un proceso gradual, de acumulación de pequeñas modificaciones, con una base común.

Los mismos errores y las mismas exigencias pueden extenderse respecto a la implementación del lenguaje. En la tercera parte de la tesis, se tratará de ser coherente con el funcionamiento del cerebro en general, abordado en la segunda parte; se buscarán respuestas en los mecanismos de otras especies y dominios cognitivos; y se respetará el mínimo de complejidad exigible en la parte neurocientífica de la explicación. Por consiguiente, no basta con identificar unas cuantas regiones, alguna conexión y un componente, como en las cuatro pinceladas de los modelos más estáticos y específicos de neurolingüística que se dan en los textos de nuestro campo (v. § 8.1), sino que es necesario ahondar en mecanismos, estructuras, interacciones, funciones generales, principios, etc. Para ello, puede ser revelador el análisis del cerebro a la escala espacio-temporal en que se muestra tan dinámico como parece ser el procesamiento lingüístico, desarrollando por lo tanto la conexión entre el lenguaje y las oscilaciones cerebrales. De esta forma, cabe seguir la estela, que no ha recibido la atención que merece, de estudios como

Lutzenberger *et al.* (1994) o Bastiaansen y Hagoort (2006). En definitiva, cabe adentrarse en la neurociencia cognitiva, para que así se nos revele de una vez la inocencia de la que pecamos: no hay “slight rewirings” en el cerebro con los que explicar ningún proceso cognitivo complejo como el lenguaje, que es más que formar asambleas o la activación de unas regiones.

La teoría chomskyana ha planteado preguntas relevantes que llevan a establecer vínculos con otras disciplinas y ha formalizado una serie de propiedades que hacen un mínimo de justicia a la complejidad del lenguaje: la endocentricidad de las estructuras sintácticas, su organización jerárquica, el establecimiento de relaciones locales y globales, la intercomunicación de sistemas, algunos principios, límites, y mecanismos fundamentales, etc. Estos fundamentos de la lingüística teórica servirán para estructurar la tercera parte de la tesis, donde se propondrá una implementación de las principales operaciones lingüísticas, se planteará cómo interactúan a través de oscilaciones cerebrales para dar lugar a estructuras que cumplen determinados principios y relaciones, y se buscará una explicación para uno de los principales límites del lenguaje, la localidad, en el mismo marco de las oscilaciones .

En síntesis, de todo lo anterior se deduce que el lenguaje no es más especial que el resto de la mente, el cerebro o la naturaleza. De hecho, si se mira con perspectiva, todas las respuestas a las cinco preguntas que ha dado el generativismo en distintas etapas adolecen de lo mismo: un exceso de especificidad, de modularidad, de “especialidad” del lenguaje. Mal que nos pese a los lingüistas, y al ser humano en general, en la naturaleza no parece haber nada especial y debemos aceptarlo para hacer ciencia con la lingüística. Simplificando, primero se dijo que sólo importaba la supuesta “competencia”; luego, que “la pobreza del estímulo” llevaba a un proceso de adquisición específico; después, que el lenguaje era un sistema “perfecto” a diferencia de los demás; más tarde, que la “recursividad” no tenía igual en el mundo animal; y, por último, que el fascículo arqueado creaba una suerte de “anillo” todopoderoso en el cerebro. A lo largo de este proceso difícil (por nuestro mismo sesgo de especificidad) e infructuoso de integración del lenguaje en la naturaleza, se ha ido produciendo un empobrecimiento explicativo en lo que concierne al propio lenguaje, reduciéndolo todo a *merge* y evidenciando un desinterés creciente por propiedades lingüísticas que en tiempos parecían cruciales. Así las cosas, si realmente queremos una teoría del lenguaje coherente con la naturaleza de que forma parte, debemos

rechazar el modularismo y la especificidad excesiva de la teoría chomskyana y respetar lo que se ha descubierto en disciplinas afines.

3 Premisas sobre la computación en el cerebro

En este capítulo se introducen las asunciones de partida sobre las propiedades del cerebro y sus mecanismos que marcarán el camino por el que se desarrollará el resto de la tesis. A pesar de que en el título figure la palabra “computación”, no debe adscribirse la visión aquí desarrollada a un posicionamiento estricto en el computacionalismo, ni deben cargarse algunas nociones aquí empleadas de forma operativa con todo el debate que hayan podido suscitar en la filosofía de la mente y otras disciplinas. De hecho, muchos conceptos se emplean en neurociencia cognitiva sin embarrarse uno en esos debates de los que, como ya aclaré en § 1.2, me mantengo al margen. Por consiguiente, hago un uso laxo y sin mayores pretensiones filosóficas de términos como implementación, entendida a grandes rasgos como la realización física en el tejido cerebral de los mecanismos de computación, consistentes en la organización y estructuración en tiempo real de representaciones, las cuales son conjuntos de información coherente y de carácter general subyacentes a las unidades lingüísticas, etc. En la tercera parte de la tesis, se discuten más pormenorizadamente estas cuestiones cuando se estima necesario, pero para ello se consideran suficientes las disciplinas de neurociencia cognitiva y de lingüística teórica, sin la intermediación de otras teorías más abstractas sobre la mente.

De igual forma, se prioriza (como en otros puntos, v. § 2.5), la bibliografía de neurociencia (cognitiva) y lingüística teórica, con objeto de establecer nexos de unión más directos y sólidos, por encima de la biolingüística. Como se discute en § 8.1.3, aunque la asociación entre lenguaje y oscilaciones haya irrumpido recientemente en este último campo, existen interesantes investigaciones neurocientíficas desde finales del siglo pasado. Sin embargo, los orígenes de la presente tesis se remontan a la tesina de máster (Ramírez 2014) (y desarrollos posteriores, como Ramírez *et al.* 2015 y Ramírez 2015a, Ramírez 2015b), que a su vez toma como referencia del asunto en biolingüística a Boeckx (2013, 2014) y Boeckx y Burraco 2014). Así, Boeckx (2013) apunta a la relación entre la ritmicidad de la sintaxis (en la alternancia del ensamble y la transferencia) y la ritmicidad

de la actividad neuronal; señala el potencial de implementar la estructura sintáctica en la estructura de ritmos cerebrales, organizados conforme a una sintaxis neuronal en la línea de Buzsáki (2010) (v. § 3.4); sugiere la relación entre la frecuencia de los elementos lingüísticos y la frecuencia de los ritmos (v. § 7.2.3), y que la condición de *distinctness* de Richards (2010) podría explicarse por límites en el acoplamiento de ritmos en el cerebro (v. § 12). La importancia del análisis del dinoma (v. § 3.2), en relación con otros niveles como el conectoma (v. § 3.1) del que Boeckx (2013) crítica el típico corticocentrismo, entre otros, se reivindica asimismo en Boeckx y Theofanopoulou (2014). Asimismo, en Boeckx y Burraco (2014) se establece una asociación más explícita entre una operación lingüística del generativismo, *merge*, y un ritmo *alpha* talamocortical incrustando otros *gamma* (v. § 9.2) distribuidos en el contexto de la globularidad cerebral que defienden como clave. Asimismo, en Boeckx (2014) se esboza que unas mismas oscilaciones podrían estar detrás de operaciones lingüísticas y de otros dominios, concretamente, en el caso de la memoria de trabajo discutida en Dipoppa y Gutkin (2013), postulándose que una red fronto-parietal, con especial implicación del tálamo, y de carácter general (de forma análoga al modelo de Balari y Lorenzo 2013 en relación con los ganglios basales, v. § 9.3) podría subyacer al sistema lingüístico y donde podría ser central el espacio global de modelos de la consciencia (v. §§ 8.4.8 y 9.2).

Estas fueron las referencias, en lo referente a la biolingüística, con que arranqué el presente trabajo en Ramírez (2014), cuyas hipótesis he seguido desarrollando posteriormente (v. para etapas tempranas Ramírez *et al.* 2015, Ramírez 2015a, 2015b, Ramírez y Boeckx 2015, Theofanopoulou *et al.* 2015), profundizando progresivamente en la bibliografía de neurociencia y relegando a un segundo plano la biolingüística, hasta alcanzar un conocimiento suficientemente profundo de aquella con que conectarla directamente a la lingüística teórica (v. §§ 2 y 10)²⁶. Además, como se discute y revisa ampliamente en § 8.1.3, y se introduce en las secciones siguientes (v. §§ 3.2, 3.3 y 3.6), ideas como las citadas pueden encontrar un fundamento más sólido en trabajos neurociencia que no han recibido suficiente atención como, por ejemplo en lo referente a

²⁶ Puede encontrarse un desarrollo paralelo en biolingüística sobre la relación entre lenguaje y oscilaciones en Murphy (2015, 2016a, 2016b). Ni el modelo de Murphy (2015), ni desarrollos posteriores (Murphy 2016a, 2016b) que bajo mi punto de vista son incoherentes con estadios previos, ni Theofanopoulou y Boeckx (2018) en que se basa en parte el primero contribuyen al modelo de la presente tesis (v. Ramírez 2014, Ramírez *et al.* 2015, Ramírez 2015a, Ramírez 2015b), el cual es coherente desde sus orígenes, apuntados antes, hasta su final, como se apreciará en el resto del trabajo y las referencias encontradas.

la implementación del lenguaje, Lutzenberger *et al.* (1994), Pulvermüller *et al.* (1996), Weiss y Mueller (2003), Bastiaansen y Hagoort (2006), Bastiaansen *et al.* (2008), Weiss y Mueller (2012), Giraud y Poeppel (2012), entre otros, cuya discusión se realizará a su debido tiempo.

Centrándonos ahora en una de las disciplinas que definitivamente han sido la base, de acuerdo con la metodología de la presente tesis, cabe señalar que puede que el versado en neurociencia cognitiva encuentre las premisas del capítulo una perogrullada, o bien que no las comparta. Tal pudiera ser el caso, por ejemplo, de la importancia concedida a las oscilaciones cerebrales, aquí capital para la implementación de mecanismos a pesar de que para algunos sean epifenómenos o supongan un nivel de análisis demasiado alejado de donde se producirían realmente las computaciones, si tuvieran lugar a nivel neuronal, de columnas corticales, etc.

De lo que no cabe duda es que el presente capítulo no puede condensar en unas pocas páginas cómo se produce la computación en el cerebro (si es que se conociera suficiente y yo fuera capaz). Tampoco se pretende (v. § 3.5). El objetivo es mucho más modesto: introducir una serie de hipótesis de partida que, a ojos no iniciados, tienen visos de plausibilidad, están aceptadas por algunos autores, pueden integrarse en un todo más o menos coherente y parecen apuntar a líneas futuras de investigación.

En este sentido, las oscilaciones cerebrales fueron ampliamente ignoradas hasta finales del siglo pasado (aunque se descubrieran a comienzos), pero actualmente hay fundadas esperanzas de que reflejen mecanismos sobre los que se construye la cognición. Además, las premisas aquí presentadas delimitan una escala espacial y temporal concreta con la que trabajaré en la parte de neurociencia cognitiva, una escala que no se encuentra demasiado alejada ni de la computación del cerebro ni de la cognición. Así, se define como nivel conveniente de análisis el que se corresponde con meso/macroestructuras cerebrales, reclutadas ampliamente en la cognición de alto nivel. En ellas, se analizará su actividad a una escala temporal fina, pero espacialmente proporcional, al observar las oscilaciones cerebrales. Se asume que estas proporcionan mecanismos de computación generales, facilitándose así su conciliación con diversos dominios cognitivos (sobre la necesidad de múltiples niveles de análisis, v. Marr 1982, Bear *et al.* 2016, Bechtel 1994).

Usando un paralelismo con la informática (v. Neisser 1967), sin que ello implique que conciba la mente como una máquina a lo computacionalista, es como si mi objetivo en la presente tesis fuera entender la relación entre un programa que manejamos los

usuarios, como el Word (equivalente al lenguaje), y las señales eléctricas que lo generan y realmente se producen por determinado diseño del *hardware* (equivalente al cerebro) (v. Smith 2002). Si me acerco demasiado a la máquina (usando una escala espacial demasiado reducida), quedará fuera de mi alcance lograr ninguna asociación comprensible entre la sucesión 0 y 1 o bits y el *software* (la actividad espacio-temporal). Por el contrario, si me limito a analizar lo visual que aparece en pantalla o mi experiencia de usuario, las conjeturas sobre la realidad subyacente serán excesivamente especulativas (trabajando a un alto nivel de abstracción). Por ende, siguiendo con el símil, mi objetivo es dar con un nivel intermedio, entre el *software* y *el hardware*. En el caso de la informática, ese nivel a medio camino puede ser un lenguaje de programación, con una sintaxis sencilla de operaciones como *if, then, while ...* como por ejemplo C++.

En lo que respecta a la relación entre el cerebro y el lenguaje, esa suerte de lenguaje de programación, que estaría a medio camino entre los disparos de las neuronas y las producciones lingüísticas, puede estribar en las oscilaciones cerebrales, que ocurrirían en grandes estructuras y proporcionarían mecanismos neutrales. Por consiguiente, la sintaxis humana se construiría sobre esa sintaxis cerebral de forma parecida a cuando construimos un programa sobre un lenguaje de programación (que a su vez es compilado y traducido a lenguaje máquina). Mal que nos pese, ni leyendo un código fuente en C++ ni leyendo las oscilaciones cerebrales obtenemos nuestra experiencia de usuario, ni se nos revela en todo su esplendor la actividad de la máquina o el cerebro, pero sí seremos testigos más cercanos de que existe una relación directa entre los fenómenos observados en la superficie y las causas profundas que los originan.

En síntesis, en el presente capítulo se ve que la estructura y las conexiones cerebrales determinan, a un nivel de análisis superior, su función, y a un nivel inferior, las dinámicas de la actividad cerebral. Para llegar al nivel superior de la función de la estructura, se puede pasar por toda una serie de estadios intermedios en los que la dimensión espacial de las estructuras cerebrales se pone en relación con la dimensión temporal de su actividad. Obtendremos así una idea más completa de cómo emerge la cognición y veremos que las estructuras cerebrales determinan la actividad cerebral y las interacciones entre las estructuras. A cierto nivel de análisis, estas se manifestarían en forma de oscilaciones cerebrales, que constituirían bloques sobre los que se construye la cognición y consisten en mecanismos neutrales, organizados entre sí y formando una suerte de sintaxis neuronal, con sus propios principios y jerarquías, y donde el poder

computacional es mayor. Sobre esa sintaxis se construirían los dominios cognitivos que observamos con mayor abstracción, como el lenguaje. En síntesis, para llegar del cerebro a la cognición, haremos un recorrido como el que sigue, en que el elemento arriba a la izquierda determina el elemento de abajo a la derecha:

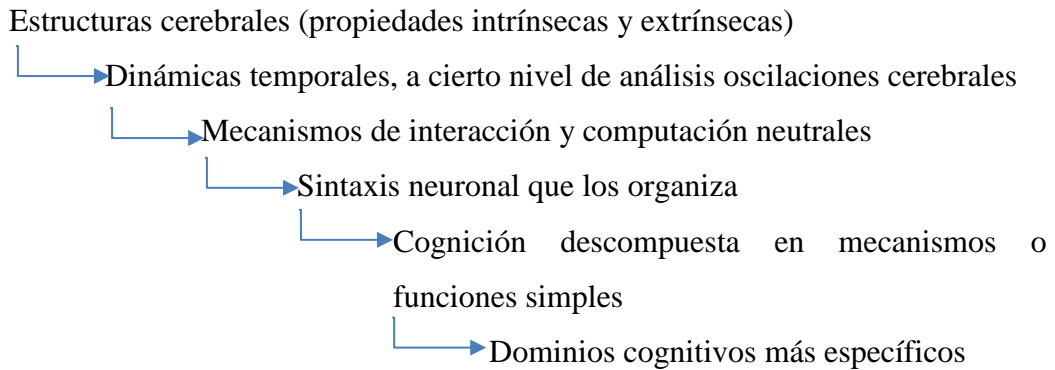


Figura 3-1 Algunos niveles de análisis entre el cerebro y la cognición.

3.1 Estructura y función. La dimensión espacial

El sistema nervioso central está organizado de acuerdo con unos principios generales, que conforme a Kandel *et al.* (2013), son: (i) la información se transforma en cada relevo sináptico, adquiriendo complejidad, por lo que existe computación relevante con cada transmisión de señal; (ii) las neuronas de los relevos sinápticos están organizadas topológicamente en mapas neuronales del cuerpo, de manera que los grupos de células vecinas en sistemas periféricos proyectan a grupos vecinos de células en sistemas centrales; (iii) existen regiones funcionalmente distintas que forman sistemas y se agrupan entre sí y cuya función depende básicamente de las propiedades intrínsecas de las estructuras, así como de las conexiones que establecen; (iv) estos sistemas funcionales están organizados jerárquicamente; y (v) en general, los sistemas funcionales de un lado del cerebro procesan lo percibido en el otro lado del cuerpo o controlan los movimientos realizados por el mismo.

De estos principios generales, nos centraremos en que determinadas áreas realizan determinadas funciones. Sin embargo, para comprender el paso de la estructura a la función es conveniente pasar por estadios intermedios, donde se analizan las dinámicas de las estructuras, los mecanismos que pueden proporcionar, etc. en la macroescala en que trabajaremos. De esta forma, podemos hacer un mapeo de regiones generales del

cerebro con sus funciones, ver de qué operaciones son capaces, y mirar cómo podrían estar implementadas. Sobre este sustrato neutral, podemos buscar correspondencias con las computaciones aparentemente lingüísticas sin partir de demasiadas influencias de modelos previos o tendencias apriorísticas.

3.1.1 Hipótesis de la localización funcional. Función emergiendo de propiedades intrínsecas y conexiones extrínsecas.

Un principio general del cerebro, que ya había apuntado Gall a principios del XIX con su desacertada frenología, es que determinadas regiones cerebrales realizan determinada función. Se trata de la hipótesis de la localización funcional (Bear *et al.* 2016). Conforme a esta idea, podemos entender el cerebro como un sistema que puede descomponerse en órganos (como, por ejemplo, el sistema respiratorio) donde cada uno cumple determinado papel. Aunque hubo mucho debate en torno a ella, esta hipótesis fue apoyada por múltiples estudios, como los de Broca (1861) o como los de Brodmann (1909) sobre la arquitectura histológica del tejido cerebral (v. § 4.1.1). Brodmann identificaría regiones diferentes en función de su citoarquitectura, esto es, de su composición y organización celular. La lógica subyacente era que debido a la diversidad de las propiedades intrínsecas las estructuras realizarían funciones diversas. De hecho, se puede afirmar, en términos generales, que la función de algo depende de su estructura. Por ejemplo, los pulmones son capaces de intercambiar gases con la sangre porque cuentan con alvéolos que conectan con los capilares, lo cual permite la difusión pasiva del oxígeno y el dióxido de carbono según su diferente concentración.

Sin embargo, las diferentes regiones cerebrales no computan de forma aislada, sino que interactúan. Para ello, se requiere de un entretejido de conexiones, que también influyen en la función de la región. Aunque Brodmann no les diera tanta importancia, autores como Alfred Campbell si empezaría a reparar en la relevancia de la conectividad para la descripción funcional (Sporns 2010). En este sentido, hay regiones que parecen homogéneas en sus propiedades intrínsecas, como el BA 18, pero que tienen diferente conectividad y por lo tanto diferentes funciones. Asimismo, hay quien opina que las neuronas son bastante similares en todo el sistema nervioso central, mientras que es de las conexiones entre ellas de donde emerge la especificidad y la riqueza (Kandel *et al.*

2013). Siguiendo con el ejemplo de los pulmones, estos son capaces de realizar su función de intercambio de gases entre el aire y la sangre porque conectan con el resto del aparato respiratorio, con vías que permiten el flujo del aire, porque cuentan con las contracciones y distensiones del diafragma, etc.

Si una región se ocupa básicamente de procesar información, no estará definida sólo por los mecanismos de procesamiento propios de su estructura, sino también por qué información le llega a través de determinadas conexiones. La idea básica es que las regiones cerebrales funcionalmente coherentes deben compartir conexiones extrínsecas, mientras que las regiones cerebrales incoherentes deben tener una proyección diferente (Sporns 2010). Todo esto lleva a la conclusión de que la función de las regiones cerebrales depende principalmente de dos factores: las propiedades intrínsecas de la región, como su composición y organización celular, y las conexiones extrínsecas que esta establece con otras. La actividad y dinámicas de estas regiones estarán constreñidas por ese sustrato. Aun así, será igualmente importante entender cómo se transmite la información entre estas regiones (lo cual se discutirá en § 3.2.1), puesto que una cosa es tener la vía física para hacerlo, y otra cómo se utiliza esa vía.

Por todo ello, en los siguientes capítulos se exponen las divisiones estructurales y conexiones que pueden establecerse en el cerebro, creando una red a escala cerebral. Hablaremos así de la corteza cerebral, el tálamo, la formación hipocámpica, los ganglios basales y de cómo conectan entre sí. Justamente la descripción estructural de las conexiones del sistema nervioso de un organismo es lo que se ha llamado conectoma (*connectome*) (Sporns *et al.* 2005, Sporns 2010, Hangmann 2005). Más tarde, se relacionará con las oscilaciones que tienen lugar sobre ese sustrato neuronal, y que pueden ser claves en los mecanismos de procesamiento de información (v. § 3.3) al proporcionar una sintaxis neuronal (v. § 3.4).

3.1.2 La escala adecuada.

El conectoma puede analizarse a varias escalas, esto es, con diferente resolución espacial (v. Sporns 2010). En este sentido, se puede trabajar a microescala, tratando de dar cuenta de las aproximadamente 10^{14} sinapsis de las células del cerebro humano. Esto es algo que, por ahora, está fuera de nuestro conocimiento, y, en particular, lejos de nuestro interés. Asimismo, puede investigarse el conectoma a mesoescala, en el nivel de columnas corticales, que algunos consideran la unidad funcional mínima del cerebro. A

pesar de que ocasionalmente entremos en ese nivel de detalle (por ejemplo, en las conexiones de la corteza canónica granular, v. § 4.1.3), el enfoque adoptado aquí será a macroescala, ya que es en estructuras bastante grandes donde parecen tener lugar procesos complejos como los del lenguaje. Como explican Kandel *et al.* (2013), conforme a la hipótesis del procesamiento distribuido, en que se combina la localización funcional con el conexionismo, las funciones simples estarían localizadas en regiones concretas, pero las funciones complejas requerirían de la cooperación de varias de esas regiones más simples. Así pues, nos ocuparemos de parcelar el cerebro en grandes regiones, módulos anatómicamente diferenciados conectados por vías interregionales. Además, enfocar el cerebro a macroescala facilita establecer relaciones entre estructuras cerebrales y oscilaciones (v. § 6), puesto que la resolución espacial a la que se investigan las oscilaciones, a las que atribuiremos los mecanismos computacionales, es bastante pobre (tal vez, se requiera de un sustrato de gran tamaño para que tengan lugar algunos mecanismos oscilatorios computacionalmente útiles).

3.1.3 Tipos de conexiones.

Además de distinguirse entre múltiples escalas para las conexiones, se han diferenciado tres tipos de conexiones (Sporns 2007). En primer lugar, pueden analizarse conexiones anatómicas, en que las estructuras están físicamente conectadas (como en las sinapsis, pese al *synaptic cleft*). Se forman así redes relativamente estables a pesar de la plasticidad neuronal. En segundo lugar, nos encontramos con las llamadas conexiones funcionales, en que la actividad de una población está estadísticamente correlacionada con la de otra. Así pues, se considera que la conexión es funcional porque se entiende que la coactivación es significativa e indica que las dos regiones participan conjuntamente en cierto proceso. Estas conexiones pueden no presentar conexiones anatómicas tan evidentes, y fluctuar más en el tiempo (Sporns 2010). En tercer y último lugar, podemos referirnos a ciertas conexiones como efectivas. Estas vienen a ser la combinación de las conexiones anatómicas y las funcionales (Sporns 2010). Para las conexiones efectivas, se asume que existe una relación causal en la actividad entre regiones (la actividad de una región tiene un efecto en la actividad de otra).

A pesar de estos tres tipos, asumiremos que las principales conexiones establecidas en las secciones siguientes, a la escala generosa en que se analizan, son siempre efectivas en cierto proceso, es decir, reúnen los tres tipos. En otras palabras,

considero que existen conexiones anatómicas entre las regiones, que la actividad de las regiones conectadas está más correlacionada que con la de otras regiones con las que no conectan directamente y que en cierto procesamiento la actividad de las regiones tiene una influencia recíproca. Si las hipótesis sobre el papel de las oscilaciones cerebrales a este respecto son correctas (v. § 5.4.3), estas pueden ser claves para volver efectivas las conexiones anatómicas. Asumo, en definitiva, que las conexiones aquí esbozadas son computacionalmente útiles.

3.2 Dinámicas y función. La dimensión temporal

Pese a la importancia de las estructuras y conexiones cerebrales, para entender las funciones que ejecutan puede ser igualmente necesario conocer cómo fluye la información a través de ellas. Recurriendo a un paralelismo, no basta con mapear el tendido eléctrico de un circuito si nuestro objetivo incluye comprender cómo fluye la electricidad. En este sentido, Kopell *et al.* (2014) defienden la necesidad de complementar ese conocimiento espacial con las dinámicas que esas estructuras mantienen, esto es, con los patrones temporales de la actividad neuronal. Las dinámicas habilitarían el flujo de información entre las estructuras cerebrales, así como algunos mecanismos computacionales (v. § 5.4).

3.2.1 Limitaciones del conectoma.

Para intentar derivar las funciones de determinada región, existe la tendencia a mirar el cerebro como algo estático, como en el conectoma, o a una escala temporal lenta, como en los estudios de fMRI (*functional Magnetic Resonance Image*). Sin embargo, para entender de qué son capaces los nodos y aristas de las redes, es preciso analizar la actividad cerebral que tiene lugar en los mismos, a una escala temporal rápida, como permiten las técnicas de electroencefalografía (EEG) o magnetoencefalografía (MEG) (Kopell *et al.* 2014). Sólo de esta forma nos estamos aproximando al procesamiento real de las estructuras, a las señales que se transmiten y cómo se procesan, a los neuromoduladores que pueden intervenir, etc. y no a efectos “secundarios” del procesamiento, como serían las diferencias en los niveles de oxígeno en BOLD (*blood oxygen level dependent*) fMRI. En el caso del lenguaje en concreto, autores como Bastiaansen y Hagoort (2006) notan que la mayoría de modelos neurolingüísticos

identifican áreas cerebrales, pero no se pronuncian sobre sus dinámicas (v. § 6), ofreciendo así una imagen estática y puramente estructural, cuando un sistema como el lenguaje requiere de una visión en que el factor tiempo tenga una mayor relevancia, siendo los ERP insuficientes en este sentido (Weiss y Mueller 2003, v. Bastiaansen *et al.* 2011 sobre la relación entre los ERP y las oscilaciones).

Así pues, las asociaciones estadísticas del conectoma no arrojan luz sobre los mecanismos de las regiones relacionadas ni sobre cómo interactúan (Kopell *et al.* 2014). Aunque son capaces de identificar redes que se correlacionan con estados cognitivos y que cambian en el tiempo, no evidencian cómo está correlacionada esta actividad ni qué están haciendo las células. Para entender cómo produce el cerebro la cognición puede ser necesario estudiar cómo y en qué direcciones fluye la información a través de esas estructuras interconectadas (Kopell *et al.* 2014). Sin mirar más de cerca las dinámicas de las redes, no sabremos qué señales se transmiten, cómo se combinan y coordinan.

A este respecto, volvemos a enfrentarnos a un problema de escala. Puede contraargumentarse que para ver qué actividad generan realmente las neuronas es necesario trabajar a microescala, como en *single unit recordings*. De hecho, a ese nivel existe toda una serie de mecanismos de codificación neuronal (v. § 3.5). No obstante, la presente tesis se centra en el análisis a macroescala porque facilita establecer relaciones entre la actividad cerebral, las estructuras donde se genera, y los procesos cognitivos complejos que reclutan gran parte del cerebro. Así como no descendemos al nivel celular para definir las conexiones, tampoco descenderemos a nivel celular para definir la actividad de las estructuras (salvando la explicación, con fines expositivos, de cómo se generan las oscilaciones a nivel celular, en § 5.1). Hacer lo contrario supondría crear incoherencias entre las estructuras que esbozamos para nuestra red y las dinámicas y mecanismos que les atribuimos. Si, en cambio, trabajamos coherentemente a macroescala, las oscilaciones cerebrales nos permitirán aproximarnos a la dimensión temporal de la actividad neuronal.

3.2.2 Las oscilaciones como mecanismos de interacción.

Como apuntábamos (v. Siegel *et al.* 2012), hasta ahora la neurociencia se ha centrado más en caracterizar la función de regiones específicas y de sus neuronas que en las interacciones entre las mismas. Sin embargo, entender estas interacciones es imprescindible si la cognición resulta de interacciones entre regiones especializadas

funcionalmente, pero ampliamente distribuidas por el cerebro (Siegel *et al.* 2012). Para conocer los intercambios de señales en que se fundamentan los procesos cognitivos, y no sólo las zonas donde ocurren, es crucial reparar en la estructura temporal que genera la actividad cerebral (Kopell *et al.* 2014). Los ritmos cerebrales y sus interacciones son una muestra sólida de las señales o dinámicas transmitidas por las vías físicas que estudia el conectoma, y son, tal vez, el mejor representante de la estructura temporal de la actividad cerebral a la escala que se estudiará (v. Buzsáki 2006). En neurolingüística, Bastiaansen y Hagoort (2006) usan la metáfora de que entender el lenguaje sólo a partir de las estructuras es equivalente a intentar entender una canción sólo a partir de los instrumentos. Su melodía e interacciones, siguiendo con el paralelismo, serían las oscilaciones cerebrales, que constituyen la actividad que se observa en las estructuras a cierto nivel de análisis espacio-temporal.

Se ha propuesto que las oscilaciones neuronales pueden servir para correlacionar la actividad (a determinadas frecuencias) de las estructuras y para hacer más efectiva la conectividad entre ellas (Siegel *et al.* 2012, Bastiaansen y Hagoort 2006). La idea fundamental es que las oscilaciones permiten establecer la interacción entre regiones creando coherencia en su actividad, como si acompañaran sus voces, y les permiten realizar ciertas operaciones. En concreto, se pueden dar diferentes tipos de relaciones entre las dinámicas de una y otra región: coherencia de fase, de amplitud, o de ambas.

3.2.3 Ritmos y funciones.

Cuando se simultanea la actividad de las neuronas de diferentes regiones cerebrales y estas interaccionan, van formándose grandes asambleas neuronales transitorias (Siegel *et al.* 2012). En ellas, las señales se transmiten de una forma específica y compiten entre sí. Estas asambleas van sucediéndose en el tiempo, de modo que la que gobierna en determinado momento es la que representa el percepto, pensamiento o acción presente. Por lo tanto, para entender la cognición necesitamos saber cómo se forman, compiten y disuelven esas asambleas. De nuevo, para comprender la formación de estas asambleas son importantes las oscilaciones, puesto que constituyen un mecanismo para regular su formación, separación y disolución. De hecho, los procesos cognitivos parecen construirse sobre complejas estructuras temporales. Una idea esencial a este respecto es que existe una relación directa entre los patrones temporales de la actividad cerebral y la naturaleza o temporalidad de los procesos cognitivos (v. § 5.4.8).

Además, parecen existir correlaciones consistentes entre determinada función cognitiva y determinados ritmos (Kopell *et al.* 2014). Por lo tanto, no sólo las estructuras pueden asociarse a funciones, sino que puede hacerse lo mismo con determinadas dinámicas. Así las cosas, para ahondar en la comprensión de cómo se genera la cognición, es preciso establecer hipótesis de enlace entre el conectoma funcional y las dinámicas que tienen lugar en él. Si, una vez relacionadas determinadas estructuras con determinadas dinámicas, somos capaces de asociarlas de forma coherente a determinadas funciones, las explicaciones serán mucho más completas. De este modo, la función de una estructura cerebral descansará a un mismo tiempo sobre las propiedades anatómicas de la población y sobre las propiedades temporales de su actividad (v. Kopell *et al.* 2014).

Lo conveniente en esta asociación entre estructura, actividad y función es ir más allá de la correlación. Normalmente, al estudiar ritmos se mira o bien cómo se generan, o bien cómo se asocian a determinada actividad cognitiva. Es menos común, como notan Kopell *et al.* (2014), ver cómo determinada actividad cognitiva emerge de ciertas propiedades fisiológicas de las neuronas que generan el ritmo. En § 5, se propondrá una explicación de cómo podrían estar implementados mecanismos oscilatorios (locales y globales) a un nivel de análisis relativamente bajo.

Esta expansión en la descripción de la actividad neuronal, de las dinámicas que se imponen sobre las conexiones estructurales que describe el conectoma, es lo que autores como Kopell *et al.* (2014) llaman *dinoma* (*dynome*). En esta suerte de marco teórico se engloban las estructuras y las dinámicas del cerebro, su implementación fisiológica, y su relación con la cognición. En consecuencia, el *dinoma* es más una ampliación del conectoma que el rechazo del mismo. Al complementarlo con la dimensión temporal, estaremos más cerca de comprender los mecanismos de procesamiento y transmisión de información que llevan a cabo las estructuras.

3.3 Operaciones neutrales

De acuerdo con Siegel *et al.* (2012), las propiedades biofísicas de los circuitos determinan las propiedades de sus dinámicas: las oscilaciones cerebrales en el caso que nos ocupa. En este sentido, propiedades como los retrasos de conducción axonal, la composición celular de las redes y los neurotransmisores usados, determinan la frecuencia de las oscilaciones (por ejemplo, en redes E-I se generan ritmos a frecuencia *gamma*

debido al periodo de decaimiento de la inhibición por el neurotransmisor GABA (*Gamma-Aminobutyric Acid*)... v. § 5.2). Esta frecuencia determina la capacidad que se tiene mecánicamente de intercomunicar regiones: son necesarias oscilaciones lentas para conectar regiones distantes, mientras que las rápidas bastan para conectar regiones próximas (v. § 5.3). Esto es un principio neutral y que se respetará en cualquier dominio cognitivo que ponga en comunicación estructuras distantes o cercanas.

Puesto que diferentes estructuras cerebrales están compuestas por diferentes propiedades biofísicas, encontraremos diferentes ritmos. De cada uno de estos ritmos distintos, así como de su interacción, emergería de una forma más o menos neutra la función que pueden desempeñar. Es decir, en un orden de causalidad, lo primero sería la estructura cerebral con sus propiedades; luego vendrían las dinámicas de las que son capaces; después, los mecanismos que se construyen sobre las mismas; y, en último lugar, qué dominio cognitivo se valiera de ellos, donde se realizaría determinada función. La especificidad funcional de las oscilaciones, pues, es un subproducto de otras causas más profundas (Siegel *et al.* 2012). Los autores hablan, por ende, de operaciones “canónicas”, que serían los bloques sobre los que se construye la cognición, la cual suele analizarse a un nivel más abstracto y complejo.

La concepción neutral de los mecanismos oscilatorios implica además que estos pueden ser reclutados por diferentes procesos cognitivos complejos. Por lo tanto, cabe la posibilidad de que cierta combinación de mecanismos pueda dar lugar a, por ejemplo, la atención *top-down*, mientras que otra combinación pueda dar lugar a la toma de decisiones, que formaría parte de otro dominio cognitivo como es el control ejecutivo (v. § 8.5).

El hecho de que múltiples dominios cognitivos puedan compartir estructuras y mecanismos explicaría las observaciones de que existen solapamientos de regiones y actividad temporal al compararlos. Esto, pues, permitirá interrelacionar el lenguaje con otros dominios cognitivos de la cognición de alto nivel, y justificar todos los puntos en común que se tienen y que a la neurolingüística y a la lingüística teórica les cuesta identificar. No obstante, se preservarán etiquetas como “mecanismos atencionales” o “de memoria” por razones expositivas, puesto que se tratará de mecanismos que son más visibles en ese dominio cognitivo o que tienen una importancia mayor en el mismo.

Esta forma de entender las operaciones desligadas de funciones complejas o específicas tiene consecuencias metodológicas: en lugar de presuponer que determinada

función se produce en determinada región, y buscar un mecanismo que pueda implementarla, se mira primero de qué es capaz mecánicamente esa estructura, y, a partir de ahí, se intenta relacionar el mecanismo neutral con la función que puede proporcionar en determinada actividad cognitiva que recluta la región. En esta línea, y contrariamente a la visión popular de la neurolingüística (v. Friederici 2002 *et seq.*), se ha argumentado que el procesamiento lingüístico está distribuido por regiones más bien inespecíficas (Weiss y Mueller 2003), alegándose que las diferentes estructuras que participan en el lenguaje pueden hacerlo asimismo en otros dominios cognitivos (Bastiaansen y Hagoort 2006). Esta filosofía es coherente con la metodología adoptada en la presente tesis, conforme a la cual las deducciones y la formulación de hipótesis toma como punto de partida el cerebro, para ir de ahí a la cognición y al lenguaje (en contraposición a la práctica común en lingüística de ir del lenguaje a la cognición, y de ahí al cerebro). Como defienden Bastiaansen y Hagoort (2006), en lo que denominan *upward adequacy*, el estudio de los procesos neuronales subyacentes al lenguaje, que pueden ser generales, debe contribuir al diseño de modelos funcionales del mismo.

3.3.1 Interrelacionando dominios cognitivos a partir de mecanismos.

A fin de ilustrar la neutralidad de algunos mecanismos, Siegel et al (2012) comparan distintos procesos cognitivos, como el comportamiento guiado por objetivos, la toma de decisiones, y la atención *top-down*. Al hacerlo, se topan con solapamientos significativos: interacciones entre regiones anteriores (de control) y posteriores (sensorias) con direccionalidad *top-down* (para el control) y *bottom-up* (para lo sensorio), solapamientos a diferentes bandas (*beta* y *gamma*), y que además pueden localizarse en diferentes láminas corticales. Ante todo esto, los procesos se pueden tratar, a un nivel de abstracción alto, como diferentes, pero seguramente profundicemos más en la comprensión de los fenómenos si miramos lo que tienen en común, qué los rige. Por lo tanto, Siegel *et al.* (2012) ofrecen una imagen más coherente en la que habría unos mecanismos neutrales utilizados en diferentes dominios cognitivos, menores en número y que interrelacionan procesos aparentemente distintos. Por un lado, el ritmo *beta* podría entenderse como un mecanismo neutral que implementa la influencia *top-down*, trabajando a una escala temporal más lenta y contribuyendo al mantenimiento de información en láminas corticales profundas; y, por otro lado, *gamma* se podría asociar

al procesamiento más breve y local, en que la información fluiría a lo *bottom-up* por láminas corticales superficiales. Con este método, pasamos de tener tres procesos, cada uno con sus mecanismos (un total de como mínimo 6), a simplemente dos mecanismos neutrales utilizados en varios procesos.

Así las cosas, al centrarnos en oscilaciones y en las interacciones entre estructuras, hay procesos que parecen diferentes desde cierto nivel de análisis del comportamiento y que tradicionalmente se han considerado entidades distintas en neurociencia cognitiva, pero que comparten mecanismos (lo cual pasaría desapercibido si nos centráramos sólo en la actividad local de regiones). De igual forma, cuando en la presente tesis se comparen el lenguaje y otros dominios de la cognición de mayor nivel, se seguirá la estrategia de Siegel *et al.* (2012). Aplicaremos, pues, la navaja de Occam: ante dos teorías igualmente compatibles con los datos, la más explicativa, probable y preferible será la más simple. La mente, en vez de concebirse como módulos estancos y bastante inconexos, pasará a concebirse como procesos mucho más interconectados, que es justamente lo que sugieren los solapamientos en las observaciones de la actividad cerebral. Entonces, que el lenguaje sea una excepción, como solemos suponer en lingüística, es una incoherencia difícil de justificar.

3.3.2 Un nuevo nivel de análisis transversal de los dominios cognitivos.

Al enfocar las oscilaciones como mecanismos neutrales, que serían bloques constitutivos de la cognición, pasamos a hablar de un nivel de descripción por debajo de lo habitual (Siegel *et al.* 2012). Este paso nos conviene para nuestro objetivo de aproximar la cognición al cerebro. De esta forma, es más fácil conectar los diferentes dominios cognitivos, definiéndolos más por los mecanismos básicos que los constituyen y pueden compartir, que por funciones más abstractas. Es más, este método contribuye a situarnos en ese nivel de descripción intermedio que perseguíamos entre los procesos definidos por la psicología cognitiva (o la lingüística teórica) y las interacciones que subyacen a los circuitos neuronales que los originan (v. Siegel *et al.* 2012).

Un procedimiento así puede dar lugar a una nueva taxonomía de procesos cognitivos (Siegel *et al.* 2012). De hecho, en § 8 se descompondrán procesos cognitivos diversos, que parecen monolíticos desde arriba, y se relacionarán transversalmente a partir de los mecanismos que los constituyen. Después, se reflexionará sobre qué pueden

compartir con el lenguaje. De este modo, los mecanismos, propiedades y constricciones básicas del cerebro, revisadas en la segunda parte de la tesis, servirán para proponer una implementación de mecanismos transversales con respecto a múltiples dominios cognitivos (como la atención, la memoria, el control ejecutivo o la consciencia). Esto será coherente, además, con lo discutido acerca de la evolución y el lugar que ocupa el lenguaje en la cognición en § 2.

3.4 Sintaxis neuronal

Los mecanismos esbozados arriba, en que determinada estructura parece generar determinada oscilación que implementa determinada computación (neutral) no son independientes entre ellos. Por el contrario, las oscilaciones y mecanismos interactúan y están regidos por una suerte de principios sintácticos (Buzsáki 2010). Es esta interacción la que les proporciona el mayor poder computacional. Volviendo al paralelismo con el lenguaje de programación, existe una sintaxis que gobierna la combinación de operaciones *if, then, while ...* Es decir, las operaciones no pueden introducirse de cualquier manera en el código fuente, ya que se necesita de una estructura y de cierto formato. En el código, las operaciones pueden incrustarse una en la otra, jerarquizándose, pero sólo cuando se combinan adecuadamente puede programarse y conseguirse el grado de complejidad necesario para que el *software* cumpla sus funciones.

De igual forma, los mecanismos oscilatorios no tienen lugar de forma independiente en el cerebro. Se acoplan y se desacoplan, se influyen mutuamente, establecen relaciones temporales precisas entre ellos (v. abajo y § 9.4.4). Al interactuar, se crea una jerarquía o estructura, donde los ritmos rápidos se incrustan en los lentos y se generan los mecanismos computacionales más poderosos. Existe, en palabras de Buzsáki (2010), una *sintaxis neuronal*, con sus principios y sus limitaciones. En consecuencia, para desarrollar un modelo en que la sintaxis del lenguaje emerja de la sintaxis neuronal, no basta con identificar ritmos en estructuras y atribuirles una operación. Estos ritmos, por el contrario, deben interactuar adecuadamente y formar un todo coherente, de manera que las interacciones sean computacionalmente útiles y expliquen algunos límites cognitivos (v. §§ 11-12).

Pasando a esbozar la teoría de la sintaxis neuronal (Buzsáki 2010, Buzsáki y Watson 2012), apuntamos ya que cuando las estructuras cerebrales interactúan se forman

asambleas neuronales, que serían unidades cognitivas significativas. Actualmente, estas se definen como conjuntos de neuronas (*upstream*) cuya actividad es integrada funcionalmente en una ventana temporal crítica por un mecanismo de lectura. Este lector juzga la actividad como sincrónica mediante un efecto discreto, como puede ser la integración postsináptica y el disparo de la neurona *downstream*. En otras palabras, una asamblea neuronal es una población de neuronas cuyo disparo en sincronía (dentro de una ventana temporal, v. § 5.2.1) provoca un efecto unitario o causal sobre otras neuronas.

Las asambleas neuronales vienen a constituir, a cierto nivel de análisis, una unidad cognitiva, asociada a cierta representación. Una de las ideas clave de Buzsáki (2010) es que estas unidades cognitivas deben organizarse para que la cognición emerja, al igual que los hablantes deben organizar los sonidos del habla para formar palabras, y con ellas frases, para que el discurso tenga sentido. Una segunda idea crucial de Buzsáki (2010) es que esta organización debe respetar los principios del cerebro, que constituyen una sintaxis neuronal de la misma forma que la sintaxis gobierna la organización y combinatoria de palabras. En opinión del autor, estos principios están gobernados por oscilaciones a media escala. Estas proporcionan efectivamente mecanismos para la formación de asambleas neuronales a una escala media y para su comunicación a través de estructuras distantes. Es más, las oscilaciones son mecanismos de lectura para las asambleas neuronales (Buzsáki 2010), puesto que constan de fases para recibir (leer) y para enviar información (v. § 5.2).

Si la implementación de las asambleas depende de las oscilaciones, aquellas pueden considerarse los grupos de neuronas que descargan y se silencian en sincronía en los ciclos secuenciales que forman una oscilación. Por lo tanto, volviendo a la idea de la sintaxis, podemos considerar que las asambleas son letras neuronales (Buzsáki 2010, Buzsáki y Watson 2012) constituidas en ciclos de un ritmo rápido, como *gamma*. Estas oscilaciones suelen incrustarse en ritmos lentos. Así, Buzsáki (2010) argumenta que los ciclos de letras neuronales englobados en un ritmo más lento constituyen una suerte de palabras neuronales (en ellas, las asambleas forman relaciones de primer orden con ciclos adyacentes, mientras que forman relaciones de mayor orden con compañeras distantes). Un caso de palabra neuronal son ciclos *gamma* incrustados en uno *theta*. Por último, estas palabras neuronales conseguidas mediante el acoplamiento *inter-frecuencia* pueden organizarse secuencialmente, formando en conjunto el equivalente a una frase neuronal, en la cual los ritmos estarían jerarquizados, posiblemente con *theta* incrustado a su vez

en un ritmo todavía más lento (Buzsáki y Watson 2012), como podría ser *delta* o *slow 1*, y que serían, en última instancia, la base sobre la que se construyen algunos procesos cognitivos.

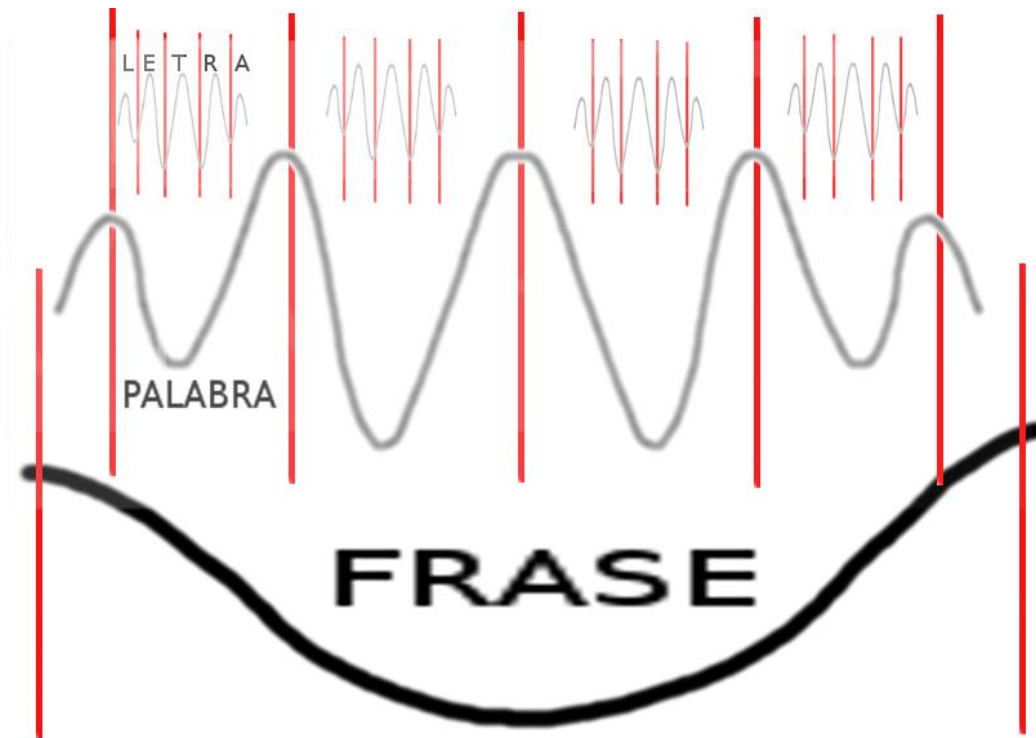


Figura 3-2 Letras, palabras y frases neuronales, basadas en los textos y figuras de Buzsáki (2010), Buzsáki y Watson (2012), y Buzsáki y Moser (2013).

El acoplamiento de oscilaciones que acabamos de ver puede ser representado por su fase mostrando una relación íntegra $n:m$ (acoplamiento fase-fase); por una correlación en la amplitud (acoplamiento poder-poder) o ambas (acoplamiento fase-amplitud) (v. Buzsáki 2010 y referencias ahí). Sea como fuere, el acoplamiento está sometido a un principio general que emana de los retrasos de conducción: los ritmos lentos tienen suficiente tiempo para reclutar poblaciones amplias o globales, mientras que los rápidos quedan constreñidos a regiones locales. Por lo tanto, los ritmos a diferente frecuencia se acoplan de forma que los lentos dominan el poder de los rápidos (fase-amplitud) (Buzsáki 2010).

De no ser por esta interacción de ritmos, se podría decir, de forma intuitiva, que podríamos tener un tipo de unidad en asambleas a diferente frecuencia (aunque la frecuencia puede ser también un factor determinante en el tipo de representación que se forma). En cambio, cuando los ritmos interactúan, podemos formar más clases de

elementos, más complejos, e interconectarlos. En consecuencia, la interacción de ritmos trae consigo un aumento del poder computacional de los mismos. Por ejemplo, se pueden establecer relaciones temporales más ricas entre los diferentes ritmos y los mecanismos que implementan, determinándose la temporalidad de algunos procesos cognitivos a partir de la temporalidad de los mecanismos subyacentes (v. § 5.4.8). Todo esto se desarrollará en los capítulos correspondientes (v. § 11), donde la sintaxis neuronal se visualizará más fácilmente tras haber introducido las oscilaciones y haber propuesto una implementación para mecanismos usados en el lenguaje.

3.5 No todo se reduce a oscilaciones. El *neural coding* como ejemplo

De acuerdo con Kandel *et al.* (2013, § 21), existen otros muchos mecanismos de menor nivel de procesamiento de información. De hecho, las señales se transforman con cada relevo sináptico, por lo que existe muchísima computación a un nivel de análisis mucho menor al de las oscilaciones. Puede que los mecanismos no oscilatorios de procesamiento de información mejor conocidos sean los que se engloban bajo la codificación neuronal (*neural coding*). Mediante ellos, somos capaces de interpretar neuronalmente las propiedades físicas de los estímulos. En este sentido, se habla de “interpretación” porque el cerebro, con sus propiedades y constricciones intrínsecas, y a partir de la experiencia previa, hace extraordinarias transformaciones de los fenómenos físicos en información. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas de diferente longitud que alcanzan el ojo se acaban reinterpretando como colores. A continuación, se hará una síntesis de algunas formas de codificación neuronal con fines meramente ilustrativos. De esta forma, se apunta toda una dimensión de procesamiento que en la presente tesis se ignora por ser difícilmente trasladable a la escala con la que trabajamos, con las operaciones cognitivas de alto nivel, etc. A pesar de ello, tener presente la existencia de otros mecanismos de procesamiento evita caer en el malentendido de que todo se reduce a las oscilaciones a las que se da preeminencia en la presente tesis .

Ya en la vanguardia de los procesos perceptivos, contamos con receptores muy específicos, que responden a cierto tipo de energía (con determinado patrón temporal) en cierta parte del cuerpo. Cuando llega a los receptores (como por ejemplo las células de tipo cono y bastón en el ojo), la energía (luminosa, mecánica, química...) se transforma

en energía eléctrica. Se establece así un mecanismo de señalamiento común para todos los sistemas, en lo que se conoce como “transducción del estímulo” (Kandel *et al.* 2013).

La amplitud y la duración de la señal eléctrica (potencial del receptor) es ya capaz de codificar la intensidad y el tiempo de estimulación del receptor. Por ejemplo, en el ámbito de la intensidad, una mayor intensidad del estímulo se traduce en un mayor potencial del receptor, que a su vez se transforma en un código pulsátil donde la tasa de disparos de la neurona es mayor (y proporcional al potencial del receptor). En cambio, frente a estímulos menos intensos, las neuronas responden con una tasa de disparo menor (Kandel *et al.* 2013).

Además, se puede codificar la temporalidad de los estímulos o su duración en los patrones de actividad neuronal. Así, las propiedades cambiantes de los estímulos se traducen en ajustes en la tasa de disparo de las neuronas sensorias. Por ejemplo, en respuesta a un estímulo táctil cambiante, los mecanorreceptores descargan inicialmente (en función de la intensidad), ralentizan su tasa de disparo (a un nivel proporcional a la presión) mientras el estímulo se mantiene, y dejan de disparar cuando desaparece el estímulo táctil. Por lo tanto, la tasa de disparos de la neurona ha sido capaz de señalar la temporalidad del proceso, con su inicio, duración y fin (Kandel *et al.* 2013).

Otro caso de codificación neuronal se encuentra en los patrones (rítmicos) de disparos que sostengan en determinado periodo. Por ejemplo, los disparos rítmicos codifican las vibraciones o presiones constantes en la piel; los *bursting* indican el movimiento en la estimulación, etc. (v. Kandel *et al.* 2013). Aparte, existen receptores que se adaptan rápido a la estimulación, amortiguando su respuesta neuronal, y receptores que responden mejor a cambios de los estímulos, esto es, su principio y final. Unos, por lo tanto, están mejor adaptados a reaccionar lo constante, y otros en cambio a reaccionar a los contrastes en la estimulación (Kandel *et al.* 2013).

La intensidad de los estímulos está representada por el número total de neuronas activas en la población del receptor (lo que se conoce como *population code*) (Kandel *et al.* 2013). A mayor intensidad de estimulación le correspondería normalmente un mayor número de receptores disparando. Además, existen receptores que responden preferentemente a intensidades débiles, y otros a intensidades fuertes.

Por otro lado, tenemos la codificación espacial. Si los sistemas sensorios están organizados topológicamente, la neurona de la que procede la señal aporta información de la ubicación del espacio en que se encuentra el estímulo (cada neurona tiene su campo

receptivo, con su propia dimensión). El número de campos receptivos activos puede informar, por ejemplo, del tamaño del estímulo: cuanto mayor sea el estímulo, mayor cantidad de campos receptivos activará normalmente.

Por todo lo dicho, las oscilaciones en que se centrará el modelo de la presente tesis son sólo una parte mecánica (mínima) del cerebro, ocurriendo muchísimas más cosas a nivel neuronal y a otros niveles. El recurso a las oscilaciones no pretende ser reduccionista, pero uno debe acotar el objeto de estudio, y centrarnos en ellas cuadra con la fijación de un nivel de análisis a cierta escala, se apoya sobre las correlaciones interesantes entre ritmos y funciones cognitivas, etc. En definitiva, en la presente tesis se pretende construir un modelo teórico explicativo de la implementación del lenguaje, y no recoger toda la actividad cerebral posible durante el procesamiento.

3.6 Conclusiones

Las propiedades intrínsecas y extrínsecas de las estructuras cerebrales determinan su función. Esto es, la organización, el tipo de neuronas, sus conexiones, neurotransmisores, etc. acaban determinando el tipo de actividad que producen y la información que computan. Las estructuras cerebrales generan, pues, funciones que constituyen la cognición, por lo que es necesario hacer un análisis espacial del cerebro, si queremos conocer qué estructuras cerebrales dan lugar a qué funciones (lingüísticas). Pero este análisis puede hacerse a diversas escalas. Con el propósito de situarnos en un nivel intermedio entre la cognición y el cerebro, y teniendo en cuenta factores como que la cognición de alto nivel parece valerse de las interacciones de grandes áreas cerebrales, fijamos la macroescala como nivel relevante.

Dado que, como diversos autores han señalado, el análisis de la dimensión espacial es insuficiente para conocer cómo interactúan realmente las regiones, qué mecanismos proporcionan, etc. se hace imperioso contemplar también las dinámicas de las redes, esto es, de la dimensión temporal de su actividad. A la escala que trabajamos, aunque con una resolución temporal fina, se ha visto que las oscilaciones cerebrales pueden habilitar la interacción entre regiones, la formación de ensamblajes neuronales y los mecanismos por los cuales estas se manipulan, y, de igual forma que ciertas estructuras se correlacionan con cierta función, ciertos ritmos se correlacionan con funciones. Cabe,

pues, establecer hipótesis de enlace entre todas estas correlaciones, ganando así en coherencia y profundidad en nuestras explicaciones.

Las oscilaciones pueden contribuir a una explicación de la función de la estructura cerebral, proporcionando un nivel intermedio entre lo espacial y la cognición. A este respecto, se ha defendido que las propiedades de ciertas estructuras, los neurotransmisores, etc. determinarían las dinámicas, la actividad cerebral, y que a partir de estas se podrían construir mecanismos empleados en la cognición. Es interesante ver cómo estos mecanismos oscilatorios emanan de las propiedades fisiológicas del tejido cerebral, de modo que sus potencialidades y limitaciones expliquen las operaciones y los límites de la cognición. En esta línea, se ha propuesto una concepción de los mecanismos oscilatorios como neutrales, entendiéndose que pueden ser reclutados por diversos dominios cognitivos. Esta manera de proceder permite una descripción de menor nivel y más transversal con respecto a tales dominios. Así pues, los solapamientos estructurales, de la actividad registrada, y las similitudes en los procesos cognitivos cuando se analizan diferentes tipos de procesamiento quedan justificados si se entiende que los bloques constitutivos de la cognición, sus mecanismos oscilatorios, son neutrales y pueden ser compartidos. La mente, pues, pasa a concebirse de forma menos modular y más interrelacionada, justamente como se defendía que debía ser el lenguaje en atención a criterios evolutivos en § 2.5.

Los mecanismos oscilatorios neutrales no actúan de forma aislada, reclutándose simplemente uno tras otro. Se ha defendido asimismo que los mecanismos interactúan entre sí, respetándose una suerte de sintaxis interna y unos principios que la gobiernan y constriñen. Además, parece ser que es cuando interactúan que surge su mayor poder computacional (v. § 7.2). Por todo lo dicho, es adecuado adoptar el método de proceder del cerebro a la cognición (y las funciones en ella), pasando por los estadios intermedios que proporcionan los mecanismos oscilatorios. El análisis de los mismos a ese nivel proporciona una taxonomía más neutra de la caracterización de los dominios cognitivos, más transversal, y un método que reduce tendencias apriorísticas.

Si la presente tesis va bien encaminada, cierta combinación de mecanismos neutrales dará lugar al lenguaje. Haciendo un anticipo, se contemplan los proporcionados por los principales ritmos en que se basan las operaciones de la neurociencia cognitiva, que se asocian de forma más característica a estructuras concretas (v. § 6), tienen una función cognitiva mejor comprendida y, por lo tanto, en las que se centra la presente tesis:

theta, *alpha*, *beta* y *gamma*. Desde un punto de vista un tanto más específico, Weiss y Mueller (2003) destacaron la importancia de estos ritmos en el procesamiento lingüístico, relacionando *theta*, producto de un diálogo cortico-hipocámpico, con procesos de memoria usados en el lenguaje; *alpha*, de origen tálamo-cortical, con el procesamiento más sensorio y, en el rango alto de la frecuencia quizás, con lo semántico; y las oscilaciones *beta* y *gamma* con subprocesos más complejos como la sintaxis y la semántica. Con mayor vaguedad, la mejor comprensión del habla estaría relacionada a una mayor coherencia en las oscilaciones, y las representaciones con mayor contenido semántico irían acompañadas de una mayor sincronía. Finalmente, el procesamiento en frecuencias en paralelo puede estar detrás del procesamiento simultáneo de distintos tipos de información lingüística (Weiss y Mueller 2003) (v. § 8.1.3.3), lo cual se explotará en la presente tesis, al utilizar el mecanismo de multiplexación por división de frecuencia para discriminar diferentes tipos de elementos en la estructura sintáctica (v. § 11.1)²⁷.

El razonamiento y la integración de las premisas expuestas en esta sección sirve para desarrollar la segunda parte del trabajo, centrada en el cerebro y la mente. La importancia de la dimensión espacial lleva a § 4, en que se analizan las grandes estructuras cerebrales y cómo conectan. A continuación, en § 5, se revisarán las oscilaciones cerebrales, cómo se generan, etc. puesto que constituyen las dinámicas que hemos considerado relevantes. En § 6, se delinearán cómo de las estructuras de § 4 emergen las oscilaciones de § 5, que se asocian a determinados mecanismos. Luego, en § 7, se verá cómo interactúan los mecanismos oscilatorios, esbozándose una sintaxis neuronal sobre la que se construirá la sintaxis lingüística conforme al modelo de la presente tesis, desarrollado en la parte III. Por último, en § 8, se analizarán los diversos dominios cognitivos, cuáles son sus mecanismos básicos y qué implementación (oscilatoria) se ha propuesto para los mismos. En este último capítulo, en coherencia con todo lo apuntado antes, se tratará de ver qué comparten los diversos dominios cognitivos y cómo se relacionan con el lenguaje.

²⁷ Con todo, en la presente tesis la implementación postulada dista en propuestas concretas de trabajos como Weiss y Mueller (2003) o Bastiaansen y Hagoort (2006), como en que el uso de ritmos rápidos se relacione a lo más local y simple, y el peso del procesamiento más complejo se atribuya a los ritmos lentos (y su interacción con los rápidos); se complementen lagunas, como las constricciones lingüísticas explicadas a partir de límites en los patrones oscilatorios (v. § 12); los mecanismos se integran de forma más completa con las funciones de esas mismas bandas en otros dominios cognitivos, etc. (v. § 8). Para una discusión, v. §§ 8.1.4 y 9.5.

*Parte II: Del cerebro
a la cognición.*

*Estructura,
dinámicas,
mecanismos, y
cognición*

4 Estructura y conexiones del cerebro

En § 3.1.1, se expuso la premisa de la localización funcional. Puesto que las propiedades intrínsecas y extrínsecas (conexiones) de las estructuras cerebrales determinan su función en la cognición, los conocimientos anatómicos del cerebro resultan necesarios. Este análisis espacial es el objetivo del estudio del conectoma (Sporns *et al.* 2005). Como se discutió en § 3.1.2, la descripción del cerebro puede realizarse a diversas escalas espaciales, entre las cuales se eligió como la más adecuada a nuestros propósitos la macroescala en general. En lo que respecta a las conexiones, se asumiría que las principales conexiones a esa escala eran anatómicas, funcionales y efectivas. Al mismo tiempo, concebir las estructuras como generadoras de mecanismos neutrales (v. §3.3) obliga a realizar un análisis global de las estructuras y conexiones del cerebro. Se contemplarán, por consiguiente, tanto la corteza como buena parte de las principales estructuras subcorticales, a las cuales se les dedica generalmente una menor atención cuando se explica la cognición de alto nivel²⁸.

4.1 La corteza

En términos generales, la evolución del cerebro puede resumirse en la adición de estructuras nuevas sobre las antiguas, creándose así una suerte de jerarquía (Ward 2015). En la cúspide de esa jerarquía, nos encontramos con la corteza cerebral. En síntesis, la corteza cerebral consiste en dos capas de materia gris plegadas sobre sí mismas y organizadas en dos hemisferios (Ward 2015). Al menos en los mamíferos, la corteza se ha ido desarrollando y plegando más con la evolución, dando lugar a giros (como montes apretados en la geografía del cerebro) y surcos (como valles). En el caso del humano en particular, la corteza es la parte del sistema nervioso central más desarrollada desde un

²⁸ Hay algunas exclusiones, como la del cerebelo, pues en el conjunto del modelo no resultaba evidente ninguna asociación clara con dinámicas o mecanismos ni su función en la cognición de mayor nivel. El desarrollo de esta cuestión se aplaza a futuras investigaciones.

punto de vista filogenético y presenta el mayor número de surcos y giros (Kandel *et al.* 2013).

Evolutivamente, la expansión cortical se ha centrado, especialmente en los primates, en lo que se conoce como cortezas de asociación (llamadas así porque integran información de múltiples modalidades y su procesamiento no es ni puramente motor ni sensorial) que se sitúan, a grandes rasgos, en la parte rostral del lóbulo frontal, la parte posterior del parietal y la parte inferior del temporal. Su expansión ha llevado al aumento de las capacidades sensorias, motoras y cognitivas (Kandel *et al.* 2013).

En línea con la idea de la novedad evolutiva, se asume que la corteza es la responsable de las computaciones más complejas, que estarían vedadas a otras especies (como suele pensarse del lenguaje). Sería la estructura responsable de la mayor parte de planes y acciones durante el día (Kandel *et al.* 2013) y, según Bear *et al.* (2016:205), es “the seat of uniquely human reasoning and cognition”. Sin embargo, la corteza es también responsable de un procesamiento de menor nivel que nos permite procesos tan aparentemente básicos como decodificar señales visuales, auditivas, etc.

En contraste con esta visión corticocéntrica, que autores como Parvizi (2009) tachan de miope, es posible que las estructuras subcorticales sean computacionalmente más complejas de lo que tradicionalmente se ha creído y que participen en funciones de alto nivel, en colaboración con estructuras corticales con las que tienen vastas conexiones (v. Koziol y Budding 2009). Por este motivo, tratamos aquí el tálamo, el complejo hipocámpico y los ganglios basales en secciones aparte.

En cualquier caso, es posible parcelar la corteza y localizar funciones distintas en las diversas áreas. En este sentido, son múltiples las parcelaciones que se hacen de la corteza, en atención a varios criterios y a diferentes escalas (v. Ward 2015). Como grandes divisiones, que sirven más de referencia espacial que para la localización funcional, encontramos los hemisferios derecho e izquierdo, separados por la fisura longitudinal. Cada hemisferio consta de cuatro lóbulos (algunos visiblemente separados por cisuras, otros no) que heredan el nombre del hueso craneal que los cubre: occipital, temporal, parietal y frontal. Aunque hay menos consenso al respecto, hay quien ha defendido la existencia de un quinto lóbulo: el límbico.

Con algo más de detalle, podemos dividir la corteza en giros y surcos. A pesar de que existe cierta correspondencia entre las zonas delimitadas por ellos y las funciones corticales, no parece la parcelación cortical más adecuada, por no tener suficientemente

en cuenta la composición de cada área ni sus conexiones. Sin embargo, los giros y surcos, y referencias espaciales similares, gozan de cierta popularidad en la literatura, por lo que se ofrecerán aquí un par de figuras que pueden ser útiles para localizar algunas regiones mencionadas en el resto de la tesis.

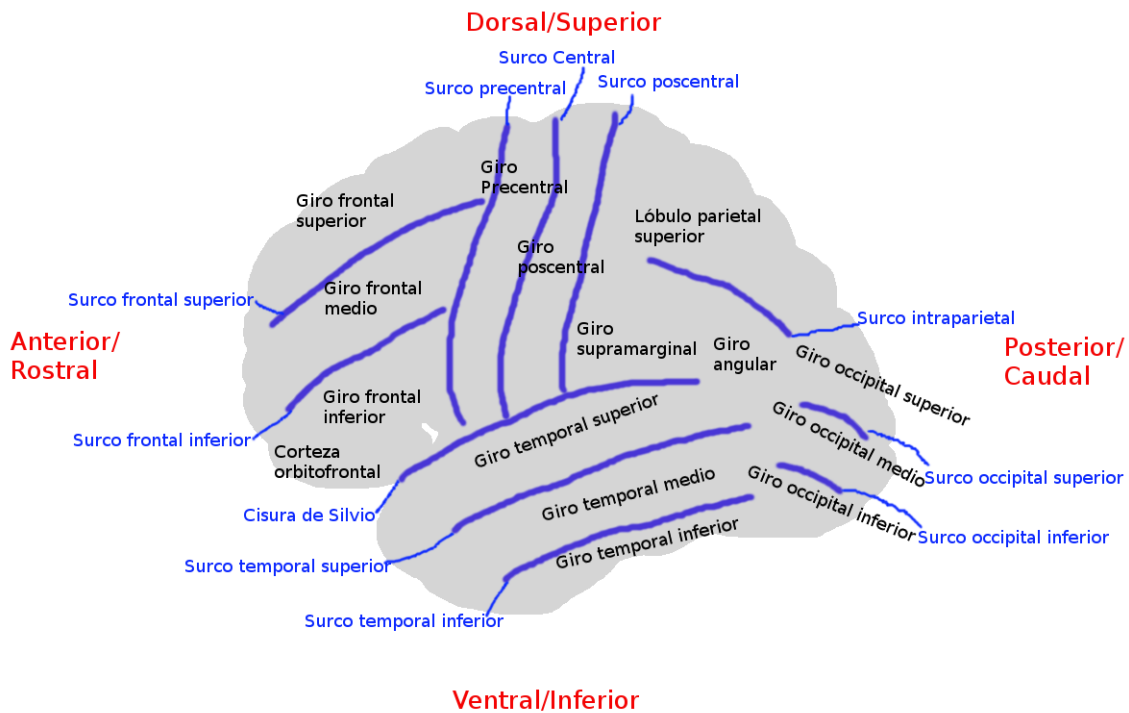


Figura 4-1 Algunos giros y surcos corticales, visión lateral. Figura adaptada de Fisch (2012:275).

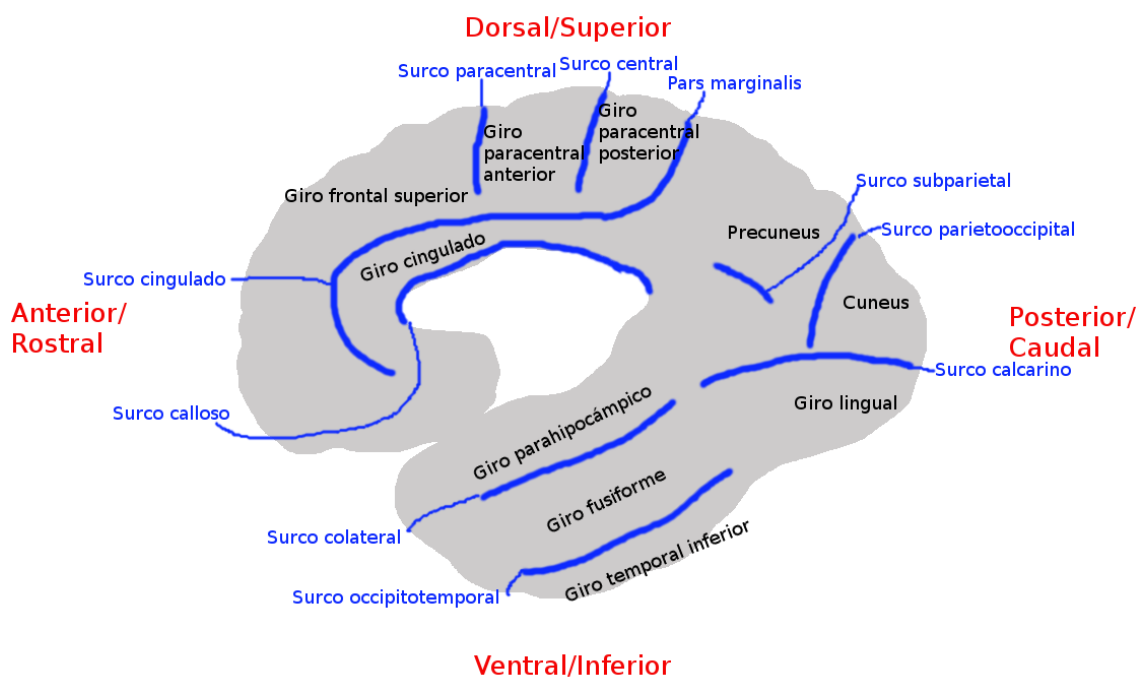
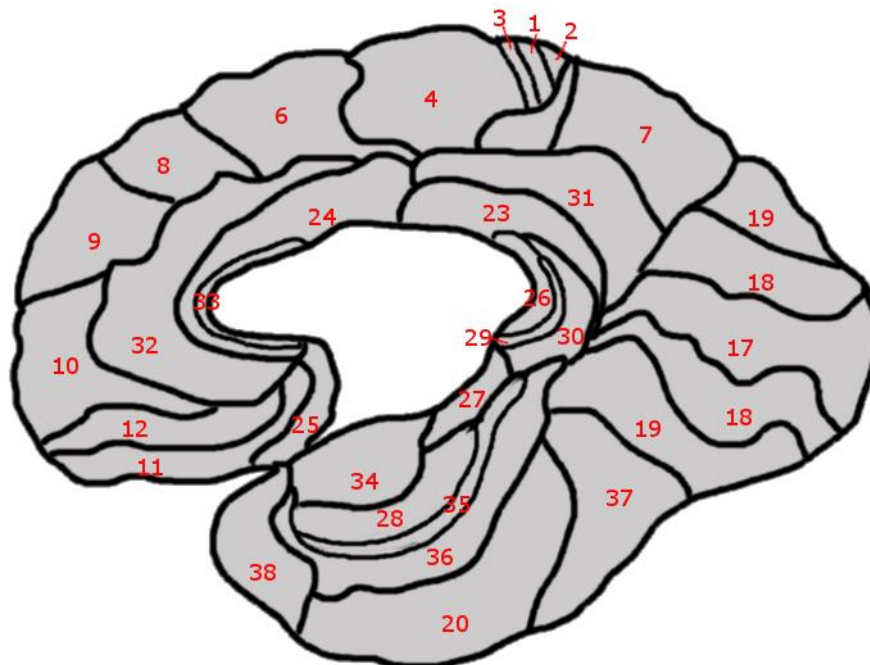


Figura 4-2 Algunos giros y surcos corticales, visión medial. Figura adaptada de Fisch (2012:277).

Las divisiones según la citoarquitectura del cerebro, por el contrario, diferencian áreas según su composición celular. La división citoarquitónica más popular es la de Brodmann (v. § 4.1.1), que muestra una correspondencia más precisa entre áreas y funciones y ha resistido bastante bien el paso del tiempo. De hecho, gracias a estas correspondencias, es posible parcelar la corteza de acuerdo a un criterio funcional, hablando de corteza visual, motora, etc. Así las cosas, puesto que la función dependerá de las propiedades citoarquitónicas de un área y de las conexiones que establezca más que del patrón de giros y circunvoluciones (con el que lógicamente habrá correspondencias), sería preferible una parcelación citoarquitónica. Hechas estas grandes divisiones en función de las cualidades de la materia gris, esbozaremos también la materia blanca, que a gran escala puede analizarse en forma de vías (v. § 4.1.2)²⁹.

4.1.1 Áreas (de Brodmann) y funciones.

A pesar de que en la actualidad se ha realizado una parcelación más fina, las áreas de Brodmann siguen estando entre las principales referencias para localizar funciones en neurociencia cognitiva. Brodmann dividió la corteza en áreas según su citoarquitectura,



²⁹ Hay algunos principios generales de la corteza que trascienden las divisiones aquí esbozadas: la organización en láminas y columnas de la corteza (v. § 4.1.3); la organización jerárquica en las áreas funcionales, su vecindad y la direccionalidad del procesamiento; y el procesamiento en paralelo o las asimetrías interhemisféricas (Kandel *et al.* 2013). En la presente tesis se tienen presentes, sobre todo, los atributos relativos a la organización jerárquica.

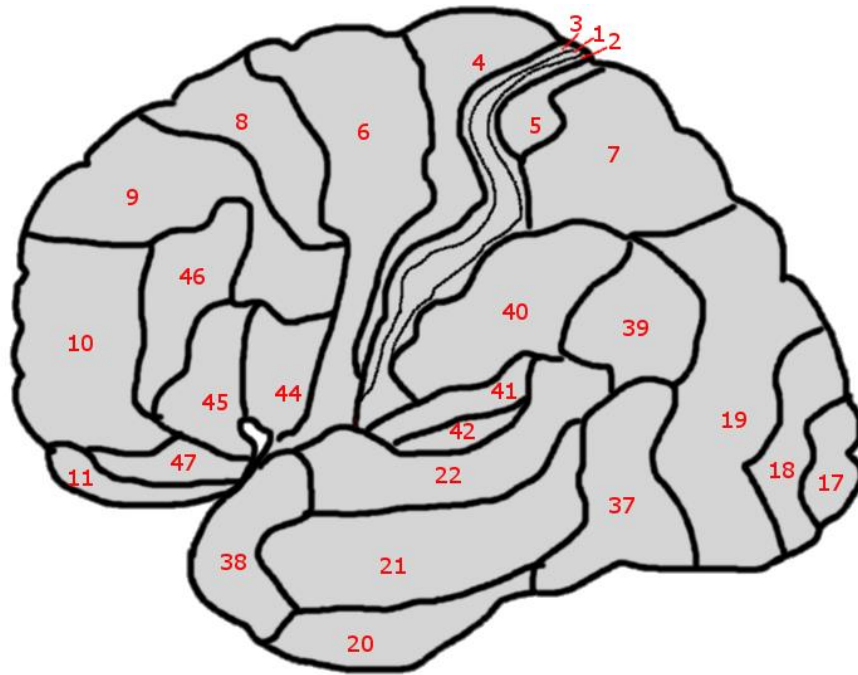


Figura 4-3 Áreas de Brodman en superficie medial y lateral, realizadas a partir de Fisch (2012:272).

esto es, según la composición celular, y las numeró de la 1 a la 52 (ciertas áreas sólo se encuentran en determinadas especies, y pueden estar ausentes en humanos).

Esta parcelación seguía la intuición de que cada una de estas áreas desempeñaría una función específica. De las regiones de arriba, pueden seguirse tres categorías funcionales generales para la corteza: la sensoria, que procesa la información de los sentidos; la motora, que se ocupa de la ejecución de movimientos; y la asociativa, que es responsable del procesamiento más interno. Puesto que aquí vinculamos el sustrato neuronal del lenguaje a las áreas de asociación relacionadas con la cognición de mayor nivel, omitimos la discusión de las cortezas sensoria y motoras. Nos centraremos, por lo tanto, en la corteza asociativa.

4.1.1.1 Corteza asociativa.

De acuerdo con Purves *et al.* (2004), la corteza asociativa abarca la mayor parte de la superficie cerebral y es la responsable del procesamiento complejo que media entre los procesos de *input* (sensorios) y de *output* (motores). Las regiones motoras y sensorias primarias sólo componen una quinta parte de la corteza y son las responsables de codificar información sensorial y ordenar movimientos. El resto de la corteza está dedicado a atender a estímulos complejos, identificar los rasgos relevantes, reconocer objetos relacionados, y planear respuestas adecuadas.

La cortezas de asociación reciben e integran más información que las cortezas sensoria y motora, y están interconectadas por una red más densa (Kandel *et al.* 2013). Esta red, sin embargo, es difícil de trazar, puesto que las observaciones más directas sólo pueden hacerse sobre cerebros de primates, donde su desarrollo e interconexión es menor. El *input* es profuso y procede de muchas estructuras, como regiones sensorias y motoras primarias y secundarias donde la información de menor nivel ya ha sido bastante procesada, el tálamo y el tallo cerebral. A diferencia de las áreas primarias y secundarias, las áreas de asociación corticales reciben *input* talámico de núcleos de mayor orden (v. § 4.2.1), como los núcleos pulvinar, mediodorsal y reuniens que tienen fuertes conexiones con, respectivamente, las áreas de asociación parietal, frontal y temporal (v. Purves *et al.* 2004). Las áreas de asociación también reciben mayor *input* de estructuras moduladoras subcorticales. El output de las áreas de asociación se dirige a otras muchas estructuras, tanto corticales como subcorticales, como el hipocampo, los ganglios basales, el cerebelo, el tálamo y otras áreas de asociación (Purves *et al.* 2004). Son tantas, y tan poco estudiadas, las conexiones, que queda fuera del alcance de la presente tesis poder ofrecer una imagen detallada.

Nos encontramos con básicamente 3 o 4 grupos de áreas de asociación, una por lóbulo (excluyendo el occipital): parietal, temporal y frontal, y, como cuarta opción, la límbica (v. Kandel *et al.* 2013, Purves *et al.* 2004). A continuación, exponemos, a grandes rasgos, las funciones que se les atribuyen distintamente a cada uno de estos grupos (v. § 8 para un análisis más detallado de la función de diversas áreas de Brodmann en la cognición de mayor nivel).

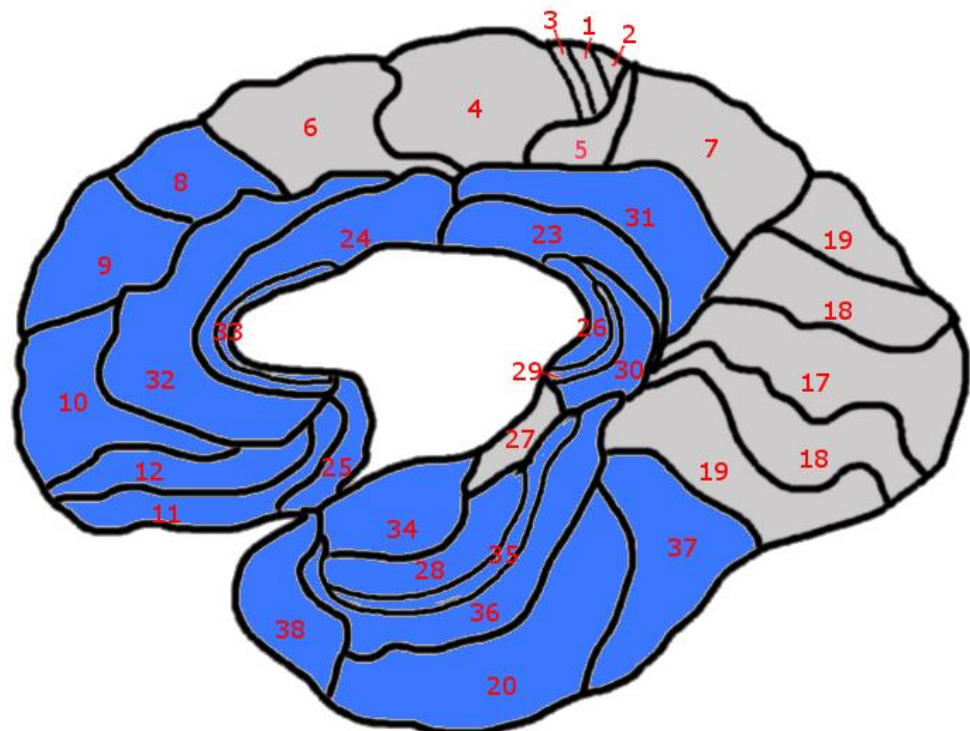
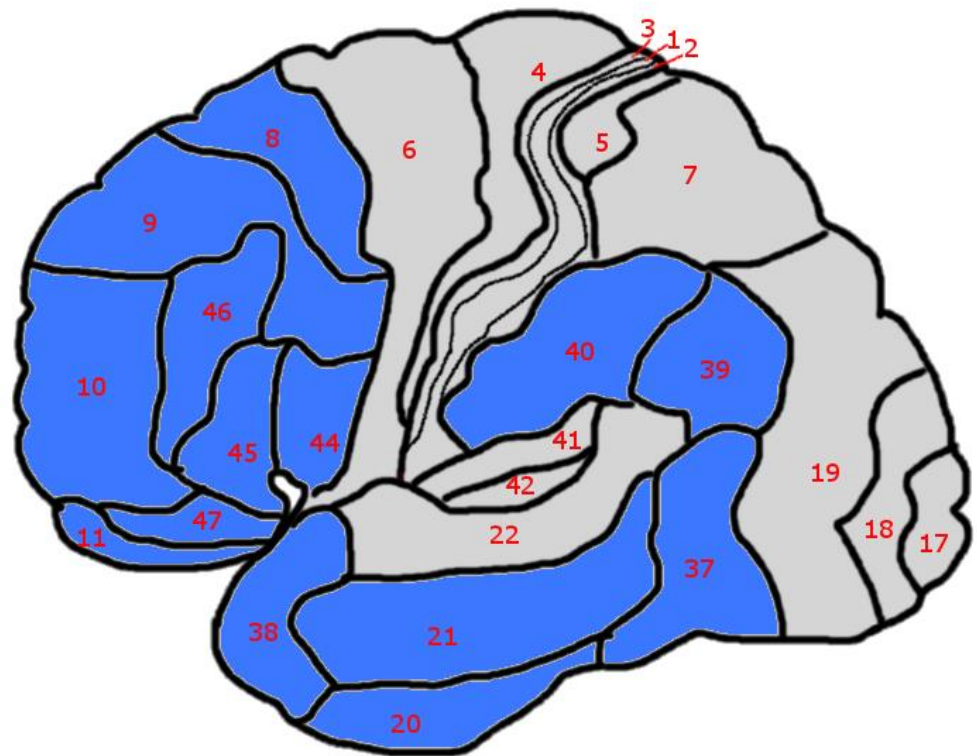


Figura 4-Áreas de asociación temporales, parietales, frontales y límbicas.

Las áreas de asociación parietales están implicadas en la atención (con un predominio del hemisferio derecho), la guía del comportamiento motor a partir de lo sensorio (desde las áreas parietales dorsales) y el procesamiento del espacio (desde áreas parietales ventrales). En las áreas de asociación temporales, se reconocen, identifican y nombran los objetos o estímulos complejos, los cuales integran información procedente de diversas modalidades y se almacenan en forma de memoria semántica (Kandel *et al.* 2013). Las áreas de asociación límbicas están más relacionadas con las emociones, la memoria episódica y la motivación (Kandel *et al.* 2013). Las funciones de las áreas de asociación frontales son más complejas, variadas y suelen ser descritas muy en abstracto, integrando la información más elaborada del resto de áreas, considerándose el asiento de la personalidad, etc. Se le suele atribuir cómo se planea y ejecuta el comportamiento complejo en respuesta a la información procesada por el resto de sistemas. Se trata, básicamente, del sistema de control ejecutivo (v. § 8.5).

4.1.2 Vías principales.

Como nos interesa un análisis del conectoma a gran escala, nos centraremos en las conexiones a larga distancia, que son las menos, pues las redes cerebrales se caracterizan por ser de tipo *small-world*: muchas conexiones locales y unas pocas a larga distancia (Buzsáki 2006). De acuerdo con Crossman y Neary (2015), las fibras que conectan la corteza se clasifican en tres tipos: vías de asociación (interconectan regiones corticales dentro de un mismo hemisferio), vías comisurales (interconectan estructuras funcionalmente relacionadas de un hemisferio y otro) y vías de proyección (conectan la corteza con estructuras subcorticales). Puesto que las conexiones corticales con estructuras subcorticales se analizan en las secciones dedicadas a estas últimas y como las fibras comisurales conectan regiones que básicamente cumplen la misma función, nuestro principal interés aquí se centra en las vías de asociación, ya que conectan las diversas áreas funcionales que hemos delineado en los hemisferios y, por lo tanto, reflejan las interacciones que pueden tener lugar.

4.1.2.1 Vías de asociación.

Las principales conexiones largas y que conectan regiones distantes (en contraste con las más locales, llamadas fibras en “U”) son (Crossman y Neary 2015, Fisch 2012 y Redolar 2013):

- el fascículo longitudinal superior, que interconecta los lóbulos occipital y frontal;
- el fascículo arqueado, subsidiario de del fascículo longitudinal superior, que conecta lóbulos frontal y temporal;
- el fascículo longitudinal inferior, que conecta lo occipital con lo temporal (y contribuye a la función de reconocimiento visual);
- el fascículo uncinado, que conecta partes anteriores e inferiores frontales con el giro temporal (intervienen en la regulación del comportamiento);
- el cingulum, que, dentro del fascículo uncinado, cruza el cuerpo calloso y conecta los lóbulos parietal y frontal con áreas parahipocámpicas adyacentes y giros temporales;
- el fascículo occipitofrontal superior, cuya existencia en humanos está sujeta a debate;
- *extreme capsule* (o cápsula extrema), que conecta área temporal media con la corteza prefrontal ventral, implicado en el lenguaje

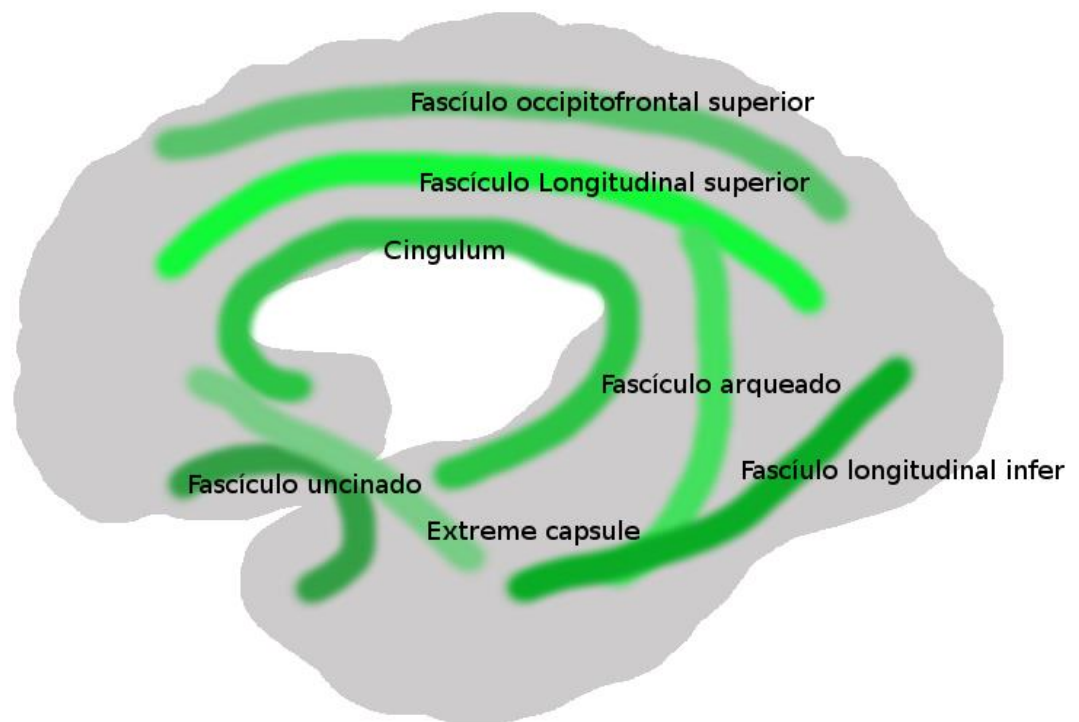


Figura 4-5 Vías corticales de asociación, basada en Crossman y Neary (2015:143), Fisch (2012:295) y Redolar (2013:102). El dibujo es sólo una aproximación.

4.1.3 La corteza canónica granular³⁰.

. La corteza está compuesta, mayormente, por seis capas o láminas celulares numeradas desde la más superficial a la más profunda, con la primera recibiendo el nombre de L1 (lámina 1) y la última de L6. La L4, llamada *granular*, actúa como frontera entre las capas L1, L2 y L3 superficiales o supragranulares (SG) y las capas L5 y L6 profundas o infragranulares (IG) (Bastos *et al.* 2012).

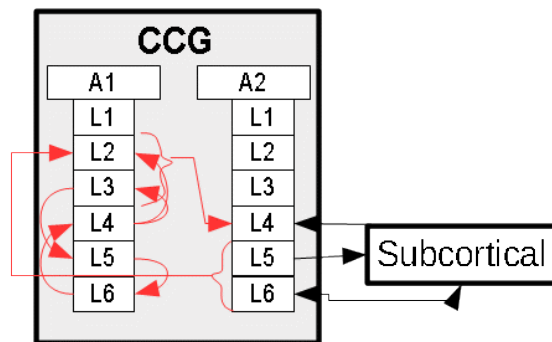


Figura 4-6Corteza canónica granular, basada en Douglas y Martin (2004), Bastos *et al.* (2012). Abreviaturas: área 1 (A1); área 2 (A2); corteza canónica granular (CCG); lámina (L).

Por lo que respecta a la conectividad fuera de la propia lámina (un porcentaje pequeño del total), la mayoría de conexiones son *feed-forward* desde L4 a L3/L2, y de L3 a L5. También encontramos algo de *feed-back* excitatorio desde la L5 a la L3. En lo referente a las conexiones inhibitorias que van de una capa a otra, las capas IG tienen proyecciones inhibitorias hacia L4, que, a su vez, inhibe las capas SG.

Las conexiones en la corteza no quedan circunscritas a circuitos locales como columnas corticales, sino que pueden trascenderlos y proyectar más arriba o más abajo en la jerarquía del procesamiento. En este sentido, las conexiones *feed-forward* se originan en las capas SG y proyectan a la L4 de áreas mayores. Las conexiones de *feed-back* se originan en las capas IG y terminan fuera de la L4 (Bastos *et al.* 2012). Asimismo, L1 puede jugar un papel en las conexiones de *feed-back* debido a la inhibición que proporciona, principalmente a las dendritas de las células de L2 y L3, que componen L1.

³⁰ Toda la descripción del circuito canónico cortical descrita aquí se basa en Bastos *et al.* (2012) y Douglas y Martin (2004).

La organización fundamental que se desprende en este resumen y que nos será de utilidad más adelante, es que parecen existir dos vías paralelas de procesamiento: una a través de las capas SG y otra a través de las capas IG. Cuando establezcamos el dinoma, veremos que esta dualidad se refuerza con las oscilaciones que sostienen prototípicamente las diferentes capas. Esta dualidad, además, puede relacionarse con proyecciones *feed-forward* y *feedback*, que parecen específicas de las capas (y de frecuencias, v.§ 6.1).

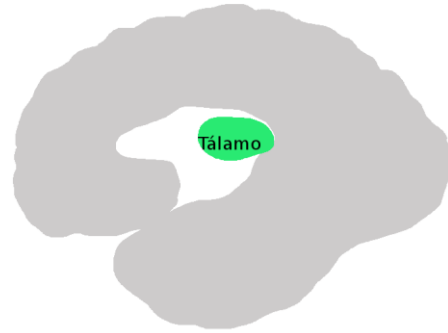


Figura 4-7 Tálamo.

4.2 El tálamo

De acuerdo con Kandel *et al.* (2013), el tálamo es una estructura oval en la porción dorsal del diencéfalo. Suele dividirse entre tálamo dorsal y tálamo ventral. El dorsal está compuesto por múltiples núcleos, mientras que el ventral está compuesto mayormente por el núcleo reticular talámico (TRN), que es como un escudo o capa que envuelve el tálamo dorsal. Dada esta correspondencia, en adelante, con el término “tálamo” haré referencia al tálamo dorsal y me referiré al tálamo ventral como “TRN”.

Las células talámicas son mayormente glutamatérgicas, y proyectan a la corteza (a través de la capsula interna). Al tálamo suele atribuírsele la función de transmitir la información sensoria desde la periferia a las áreas sensorias primarias. No obstante, es más que una estación de relevo pasiva hacia la corteza (Kandel *et al.* 2013). Si la información se transforma con cada relevo sináptico, el tálamo, con sus vastísimas conexiones, debe jugar un papel activo en la cognición. Puede que, de forma más general, el tálamo actúe como controlador del flujo de información a lo largo y ancho de la corteza cerebral, impidiéndolo o favoreciéndolo (en colaboración con el TRN)³¹.

³¹ De hecho, la gran cantidad de conexiones de *feedback* al tálamo (incluso a núcleos de primer orden) va contra la idea de que sea un mero retransmisor de información periférica. De hecho, Saalman y Kastner (2009, 2011) muestran que la atención tiene efectos similares sobre el procesamiento visual en la corteza y en determinados núcleos talámicos: se puede cambiar la magnitud o tasa de los disparos de las neuronas (a través de la influencia de regiones fronto-parietales), el modo de disparo (a lo *burst* o tónico) y el grado de sincronía mediante oscilaciones, favoreciéndose así la comunicación talamo-cortical.

El tálamo está constituido por múltiples núcleos (se han identificado hasta 50) que están implicados en procesamientos diferentes (Kandel *et al.* 2013). Unos reciben información de una modalidad sensoria específica y proyectan a una región específica de la corteza (por ejemplo, el núcleo ventral posterior manda información de los estímulos a la corteza somatosensorial); otros participan en funciones motoras, transmitiendo información desde el cerebelo y los ganglios basales hacia regiones motoras frontales; otros, en cambio, pueden jugar un papel en la cognición de mayor nivel, como la memoria y la atención (v. §§ 8.2-8.3).

En atención a un criterio anatómico, pueden diferenciarse cuatro grupos de núcleos talámicos a partir de su posición respecto al conjunto de fibras que atraviesan rostrocaudalmente el tálamo: anteriores, mediales, ventrolaterales, y posteriores (Kandel *et al.* 2013). La mayoría de estos núcleos cuentan con conexiones específicas y selectivas con áreas concretas de la corteza. Sin embargo, hay otros, considerados “no específicos”, que se ubican en la línea media del tálamo o dentro de la lámina medular interna y proyectan a múltiples regiones corticales y subcorticales (Kandel *et al.* 2013).

Las conexiones y funciones de todos y cada uno de los núcleos talámicos superan el nivel de análisis requerido para la presente tesis. Por lo tanto, nos centraremos en una división rudimentaria entre núcleos de primer orden y núcleos de mayor orden, que se distinguen fácilmente por las conexiones que mantienen con la corteza granular canónica descrita en § 4.1.3. Se seleccionarán así algunos de los núcleos de mayor orden mejor comprendidos y conectados con las regiones corticales de asociación y las estructuras subcorticales analizadas en este capítulo, por ser los que más pueden influir en el tráfico de información entre ellas.

4.2.1 Conexiones talámicas con el circuito cortical canónico. Núcleos de primer orden y núcleos de mayor orden.

De acuerdo con Douglas y Martin (2004), el tálamo conecta con L4 a lo *feed-forward*. La capa L6, a su vez, conecta de vuelta al tálamo a lo *feed-back*; y L5 conecta con el tálamo (y sistemas motores) a lo *feed-forward*. Sin embargo, como ya habíamos apuntado, entre la corteza y el tálamo se interpone el TRN. El TRN recibe aferentes excitatorios desde la corteza y el tálamo, y a su vez envía proyecciones inhibitorias al

tálamo. Por lo tanto, además de las conexiones cortico-corticales apuntadas en §§ 4.1.2-4.1.3, la corteza granular canónica cuenta con conexiones transtalámicas (Sherman y Guillery 2011).

Las conexiones transtalámicas pueden dividirse entre, por un lado, las de tipo *driver/class1*, que son escasas pero poderosas, transmisoras de información (v. Sherman y Guillery 1998, 2006 para detalles), y, por otro lado, conexiones moduladoras o de clase 2, que envían *feedback*, se originan en la L6 y van a parar al tálamo. Esta distinción es de utilidad para distinguir entre núcleos de primer orden y núcleos de mayor orden (*first-order vs higher-order*)³².

En este sentido, todos los núcleos (primer y mayor orden) reciben *input* de tipo *feed-back* o clase 2 desde L6, pero sólo los de mayor orden, que ocupan la mayor parte del volumen del tálamo, reciben *input* de tipo *feed-forward* o clase 1 desde L5 (Sherman y Guillery 1998, 2006). Así como los núcleos de mayor orden tienen la exclusiva del *input* de L5, los de primer orden son los únicos que conectan con la periferia (Sherman y Guillery 2011). De este modo, se diferencia, por ejemplo en la visión, entre el núcleo lateral geniculado (núcleo de primer orden) y el núcleo pulvinar (núcleo de mayor orden).

La distinción entre núcleos de primer y de mayor orden es importante, porque son básicamente los segundos los que están implicados en la cognición de mayor nivel (y en la comunicación de su sustrato), esto es, la más desvinculada del procesamiento sensorial (y motor). Por consiguiente, nuestro interés se centrará en los núcleos de mayor orden, revisando a continuación los que, a mi juicio, se asocian más a los dominios cognitivos y estructuras relevantes analizadas en la presente tesis (así como a ciertas oscilaciones, discutidas en § 6.3.3; v. Saalman 2014 para una revisión en que se enfatiza la función de las oscilaciones).

4.2.1.1 Algunos núcleos de mayor orden: pulvinar, MDN y reuniens.

Los núcleos de mayor orden pulvinar, MDN y reuniens parecen importantes para el modelo del lenguaje desarrollado en la presente tesis. Estos núcleos se asocian a dominios cognitivos de mayor nivel: el pulvinar, a la atención y la consciencia; el MDN, al sistema ejecutivo y la memoria; y el reuniens, a la memoria. Asimismo, son núcleos

³² Otra distinción, con potenciales repercusiones para la definición de conexiones talamo-corticales y las oscilaciones que las caracterizan sería la que hace Jones (1998) entre las células talámicas nucleares (*core*) y matrices (*matrix*).

que conectan con estructuras relevantes: el pulvinar con las cortezas de asociación parietales, frontales y temporales; el MDN con la corteza prefrontal y los ganglios basales; y el reuniens con el hipocampo y la corteza prefrontal medial. Por último, su actividad puede tener lugar en forma de oscilaciones que serán claves para la implementación de mecanismos más adelante: el pulvinar podría oscilar a *alpha*; el MDN, a *beta*; y el reuniens, a *theta* (v. § 6.3.3).

Con más detalle, el núcleo pulvinar puede subdividirse en dos partes: la dorsal, que conecta con las cortezas frontal, parietal y temporal superior, y la ventral, que conecta con la corteza occipital y la temporal inferior (Saalman y Kastner 2009). La parte ventral se ocupa básicamente de la información sensorial, mientras que el pulvinar dorsal se ocupa de la cognición de mayor nivel. El núcleo pulvinar se ha asociado funcionalmente a la atención (visual), a la capacidad para enlazar rasgos de los perceptos, filtrar información distractora y guiar el comportamiento a partir de información visual (Saalman y Kastner 2001).

Por su parte, el MDN recibe *input* de la corteza prefrontal (desde L5), especialmente de las áreas dorsales y mediales y del lóbulo temporal (Mitchell 2015). También forma parte de los *loops* fronto-estriatales, por lo que presenta fuertes conexiones con los ganglios basales (v. § 4.4, y Mitchell 2015 para subdivisiones del MDN). Funcionalmente, el MDN se ha asociado a las funciones ejecutivas y a la memoria de trabajo (Parnadeau *et al.* 2013).

Por último, el núcleo reuniens es el principal *input* talámico al hipocampo, especialmente a la región CA1 (*cornu ammonis*) y al subículo. Es importante su conexión con la corteza prefrontal medial (mPFC). Mientras que el hipocampo proyecta directamente a la mPFC, esta última debe proyectar de vuelta al hipocampo a través núcleo reuniens del tálamo. El reuniens actuaría como un relevo de información del mPFC (implicado, por ejemplo, en la memoria de trabajo) hacia el hipocampo. El reuniens se asocia así a la memoria, el aprendizaje, y a la flexibilidad del comportamiento (Cassel *et al.* 2013)

4.2.2 El TRN.

En síntesis de Crick (1984:4587), “if the thalamus is the gateway to the cortex, the reticular complex might be described as the guardian of the gateway”. Recordemos que el TRN es una estructura del tálamo ventral que envuelve el tálamo dorsal. Por lo

tanto, el TRN hace de estructura intermedia entre la corteza y el tálamo. Mientras que el TRN recibe *input* de la corteza y del tálamo, sólo proyecta *output* hacia el tálamo. Así, las señales corticales que llegan al tálamo cruzan el TRN, y las señales enviadas desde el TRN sólo llegan al tálamo (antes de volver a alcanzar, transformadas, la corteza).

La mayoría de las neuronas del TRN usan el neurotransmisor inhibitorio GABA, de modo que se cree que su función es modular la actividad de los núcleos talámicos y el flujo de información entre la corteza y el tálamo. En este sentido, se dice que el TRN hace las veces de filtro: la actividad inhibitoria del TRN puede inhibir el flujo de información desde la corteza al tálamo, o, inhibiendo el tálamo, impedir que este tenga actividad que transmitir a la corteza. Aunque el TRN se caracteriza por una actividad espontánea de carácter inhibitorio alta, la posibilidad de inhibir las propias neuronas reticulares puede llevar a la desinhibición del tálamo y la corteza, abriendo de nuevo el paso al flujo de información tálamo-cortical (Saalman y Kastner 2011).

4.3 La formación hipocámpica

El hipocampo y las estructuras corticales asociadas se ubican bajo el asta temporal del ventrículo lateral (v. Kandel *et al.* 2013). Podemos imaginarlas envueltas por la neocorteza cerebral, o bien situarlas en la zona media del lóbulo temporal. Funcionalmente, el hipocampo se asocia típicamente a la formación de memorias a largo plazo de tipo declarativo (especialmente episódicas) (v. § 8.2.2) y a la navegación espacial (v. Buzsáki 2006 para la posible interrelación entre ambos).

En esta sección, asumo la definición de O'Mara (2005) de la formación hipocámpica (o complejo hipocámpico), según la cual la formación hipocámpica abarca: la corteza entorrinal (EC), el giro dentado, las regiones CA3 y C1 del hipocampo (aunque podrían sumarse CA2 y CA4, cuyas conexiones no

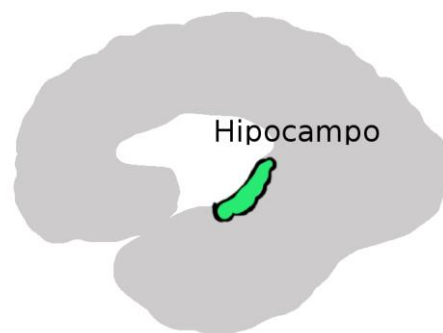


Figura 4-8 Hipocampo. Dibujo aproximado.

están tan claras), y el subículo. A pesar de que el hipocampo recibirá el papel central en la implementación de operaciones posterior (v. §§ 9.1 y 9.4), hablar del complejo hipocámpico más que del hipocampo de forma aislada hace mayor justicia a la

complejidad del sistema. Además, de esta forma comprendemos las principales estructuras para la entrada y salida de información del hipocampo: la corteza entorrinal y el subículo, respectivamente. Aunque suele asumirse que el complejo hipocámpico se comunica principalmente con la corteza, también cuenta con conexiones con estructuras subcorticales como el tálamo y los ganglios basales (Buzsáki 2006). Sin embargo, la comunicación entre el hipocampo y todas estas estructuras dista de ser directa.

4.3.1 De la neocorteza al hipocampo.

El *hub* principal para la comunicación entre la corteza y el hipocampo es la EC (Witter 2011), a la cual proyectan prácticamente todas las regiones neocorticales. La EC puede dividirse en dos dominios, en función del tipo de neuronas y las conexiones: la EC lateral conecta con la corteza frontal y la EC medial conecta con la cortezas parietal y la corteza parahipocámpica (PHC) (Witter 2011). A pesar de su cercanía al hipocampo, la EC presenta una estructura cortical de seis capas ausente en aquel. Las capas SG de la EC (L2 y L3) retransmiten el *output* neocortical al hipocampo (a través del llamado *perforant path*), mientras que las capas IG (L5 y L6) (que conectan a su vez con el septum, la amígdala, el tálamo, etc.) de la EC sirven para recibir el *output* hipocámpico de CA1 (Somogyi 2010) y el subículo (Witter 2011).

No obstante, como nota O'Mara (2005), la conexión entre las regiones asociativas (frontales y parietales) y la EC no es directa, sino que median la corteza PHC y la corteza perirrinal (PRC). La PHC proporciona el principal *input* a la EC, aunque también cuenta con conexiones directas a la región CA1 del hipocampo y el subículo (Aminoff *et al.* 2013). En relación a la PRC, Suzuki y Naya (2014) notan que la mayoría de sus conexiones proyectan a las capas SG de la EC y a la EC L5, mientras que la EC proyecta de vuelta a la PRC como *feed-back* (desde la L5 de la EC a la L2 de la PRC).

4.3.2 Dentro del propio hipocampo y hacia afuera.

Vayamos ahora al centro del sistema, el hipocampo. Las células granulosas del giro dentado son la principal entrada, y proyectan a las células piramidales de CA3, que parece tener dos capas continuas: una de células piramidales que conectando con CA1 y y otras que crean con CA2 una red recursiva local que alcanza también CA1 y las células granulosas.

Si el giro dentado es el principal *input*, el principal *output* hipocámpico es la región CA1, que conecta con la L5 de la EC y el subículo (Buzsáki 2006). Entre estas dos estructuras, prevalece el subículo como vía de salida del hipocampo. En lo que respecta a las conexiones subcorticales, el subículo conecta con los cuerpos mamilares, y los núcleos talámicos anteroventrales y anteromediales (O'Mara 2005, O'Mara *et al.* 2009).

4.3.3 Comunicación hipocámpica con estructuras subcorticales.

En cuanto a las conexiones entre el hipocampo y el tálamo, parece que el subículo conecta el hipocampo con el TRN y con el núcleo reuniens de la línea media del tálamo, que, a su vez, conecta con la corteza prefrontal (Çavdar *et al.* 2008). Estos autores notan un paralelismo en la manera como la formación hipocámpica y el tálamo conectan con la corteza. Tanto en la conexión cortico-talámica como en la conexión hipocampo-talámica, se interpone el TRN. En esta red, el TRN recibe *input* excitatorio de la corteza y del hipocampo, y su actividad lleva a inhibir los núcleos talámicos (en concreto, inhibiría el reuniens en la comunicación con el hipocampo)³³.

4.4 Los ganglios basales

Según Koziol y Budding (2009), los ganglios basales son agrupaciones de núcleos de materia gris, bilaterales, y situados en el núcleo del cerebro, bajo la materia blanca. Los núcleos que pueden distinguirse a grandes rasgos son el cuerpo estriado, el núcleo subtalámico, el *pallidum* (que consiste básicamente en el globo pálido y una

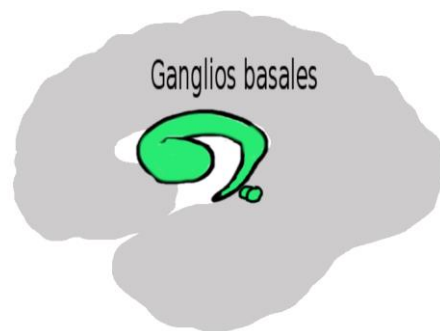


Figura 4-9 Ganglios basales. Dibujo aproximado.

³³ Los cuerpos mamilares son también una estructura importante en la conexión entre la formación hipocámpica y los núcleos talámicos anteriores (aunque el hipocampo parece proyectar también directamente a algunos núcleos talámicos; Vann 2010). Una asunción común es que los cuerpos mamilares son como una extensión del sistema hipocámpico que actúa como una estación de relevo de los *outputs* del hipocampo hacia los núcleos talámicos anteriores, que luego proyectarán a la PFC. Además, como se discutirá en § 6.5.3, el hipocampo establece conexiones con los ganglios basales en lo que podría considerarse el *loop* límbico, en el que median ciertos núcleos talámicos.

extensión ventral) y la sustancia negra. Sin embargo, la mayoría de estas estructuras puede dividirse en dos: el cuerpo estriado, en caudado y putamen; el globo pálido, en un segmento interno y otro externo; la sustancia negra, en parte compacta y parte reticulada (Kandel *et al.* 2013).

Para arrojar luz sobre todas estas subdivisiones, seguiremos, por razones expositivas, a Koziol y Budding (2009). Su manera de explicar los ganglios basales, diferenciando estructuras de *input*, intermedias, y de *output* hace más evidentes algunas de las características principales de los circuitos implicados, como la formación de *loops* (v. § 4.4.4) y de diferentes vías con diferentes funciones.

La principal función que se le atribuye a los ganglios basales es de tipo *gating*, esto es, los ganglios basales controlan o seleccionan qué proceso cortical (típicamente motor, aunque también de tipo cognitivo), de los múltiples posibles, es ejecutado mientras el resto es inhibido. En este sentido, se trata de una operación de selección de naturaleza más o menos atencional y asociada al control ejecutivo (Koziol y Budding 2009). Esta selección puede visualizarse como que los ganglios basales ponen freno espontáneamente a los procesos corticales cortando el flujo de información necesaria a través del tálamo (que inhiben tónicamente). Para controlar ese freno, los ganglios basales cuentan con diferentes vías (directa, indirecta e hiperdirecta). La actividad de la vía directa puede entenderse como la liberación de ese freno sobre el tálamo (lo cual libera la actividad cortical que estaba a la espera); la actividad de la vía indirecta, en cambio, aumentaría esa inhibición sobre el tálamo (hundiendo más el pedal de freno); por su parte, la actividad de la vía hiperdirecta equivaldría a dar un pisotón rápido y fuerte al freno sobre el tálamo. Puesto que la relevancia de las diferentes vías es menor en la implementación de la tercera parte de la tesis, y por razones de espacio, se omite aquí su revisión (v. Koziol y Budding 2009).

Cuando entremos en detalle acerca de qué clase de conexiones se establecen entre los múltiples núcleos de los ganglios basales y que tipo de actividad caracteriza a cada uno, veremos que los ganglios basales no cuentan con un freno sobre un único tipo general de proceso, sino que segregan los procesos de distinta naturaleza de forma paralela. En este sentido, los ganglios basales forman *loops* (bucles o circuitos) paralelos en función de las conexiones que establecen con diferentes regiones. Estos circuitos van desde la corteza al estriado, de ahí al globo pálido, de ahí al tálamo, y de ahí de vuelta a la corteza (Koziol y Budding. 2009).

4.4.1 Estructuras de *input*.

La principal estructura de *input* más implicada en la cognición de mayor nivel es el estriado; el *subthalamic nucleus* (STN), por el contrario, está muy relacionado con lo motor (v. Nelson y Kreitzer 2014). Según Koziol y Budding (2009), el estriado es una estructura no-laminar compuesta mayormente de células espinosas mediales y unas pocas interneuronas. El estriado puede dividirse en una parte dorsal y otra ventral. La parte dorsal contiene el núcleo caudado y el putamen, mientras que la parte ventral consiste en el núcleo accumbens, el septum y el tubérculo olfatorio.

El estriado recibe *input* excitatorio de toda la neocorteza de una forma comprimida desde las capas profundas, L6 y, sobre todo, L5. El putamen parece más relacionado con los circuitos motores y el caudado con regiones de mayor nivel como la corteza prefrontal dorsolateral (dIPFC), la corteza cingulada anterior (ACC) rostral, y el giro frontal inferior. De hecho, ya en el estriado el *input* de diferentes regiones corticales tiene como diana diferentes porciones de la estructura, formándose canales paralelos por donde viaja información distinta.

4.4.2 GPi y SNpr como estructuras de *output*.

Por lo que respecta a la estructura de *output* de los ganglios basales, tenemos el globo pálido interno (GPi) y la sustancia negra parte reticulada (SNpr). Ambas estructuras están compuestas por neuronas inhibitorias, y se caracterizan porque siempre proyectan al tálamo para enviar su *output* (como el MDN). Desde el tálamo, el *output* vuelve a la corteza, mayormente frontal (Kandel *et al.* 2013). La función por defecto del GPi y la SNpr parece ser la inhibición tónica de sus estructuras diana, como el MDN (Koziol y Budding 2009).

4.4.3 Estructuras intermedias: GPE, SNpc.

Una estructura intermedia de los ganglios basales es el globo pálido externo (GPe). Este recibe *input* excitatorio del STN e inhibitorio del estriado, mientras que envía axones a los ganglios basales al completo (Nelson y Kreitzer 2014). Su actividad resulta en la inhibición del STN en la vía indirecta. La sustancia negra parte compacta (SNpc) puede considerarse también una estructura intermedia que proyecta tanto al estriado como a la corteza prefrontal (PFC) (Nelson y Kreitzer 2014).

4.4.4 Canales paralelos.

Contrariamente a la impresión que uno pudiera obtener de la descripción realizada hasta ahora, la información no se agrupa en los ganglios basales con una única vía de entrada y de salida. Por el contrario, la información a través de los mismos viaja en paralelo, formándose múltiples *loops* en función de las regiones de donde procede la información (y a las que regresa). Más pormenorizadamente, en el *input* del estriado se pueden identificar canales paralelos: el putamen posterior conecta con áreas sensoriomotoras corticales; el caudado y el putamen anterior conectan con áreas de mayor orden o asociativas; y el estriado ventral conecta con regiones límbicas, como el hipocampo y la mPFC (Haber y Calzavara 2009).

De forma similar a lo que ocurre con el *input* neocortical, el estriado forma canales paralelos con varios núcleos talámicos en la salida de información (v. Nelson y Kreitzer 2014 para detalles): unos, con lo límbico (estriado ventral); otros, relacionados a la corteza de asociación (y el caudado y putamen anterior); y otros, relacionados con lo motor (y el putamen posterior). Por lo tanto, podemos considerar que existen diferentes vías paralelas por las que discurre la información a través de los ganglios basales: una más relacionada a lo motor, otra a lo oculomotor, otra más asociativa (asociado a lo prefrontal) y otra más límbica (Kandel *et al.* 2013).

Entre las mismas, cabe destacar el *loop* asociativo que Kandel *et al.* (2013) llaman prefrontal dorsolateral. Este consistiría en un circuito que hace el siguiente recorrido: BA 9 y 10, núcleo caudado, porción dorsomedial del GPi, parte rostral de la SNpr, núcleos mediodorsal y ventral anterior del tálamo, y dlPFC. De este *loop* se ha señalado su implicación en la organización de comportamiento complejo y la resolución de problemas mediante habilidades verbales (Kandel *et al.* 2013). Esto se tendrá en cuenta cuando se implemente la operación de *proyección* en § 9.3. Además, es de señalar la importancia del MDN en este circuito, que media en el *input* y *output* entre los ganglios basales y la PFC (v. Haber y Calzavara 2009 para detalles).

4.5 Conclusiones

En § 3.1 se defendió que la estructura y las conexiones del tejido cerebral determinan su función. Por lo tanto, era necesario hacer un análisis espacial del cerebro, o, dicho en otras palabras, trazar el conectoma. Esto se ha llevado a cabo a macroescala,

porque tanto la cognición de alto nivel como las oscilaciones parecen reclutar estructuras amplias y distribuidas. Con esta revisión, se ha dado el primer paso en el análisis, pasando por una serie de estadios intermedios entre el cerebro y la cognición. Estimamos conveniente poner ahora en común todas las estructuras y conexiones para facilitar la visualización de la red o el sustrato sobre el que se integrará más tarde el lenguaje. Dibujando una figura, el resultado podría ser como el que se encuentra más abajo.

En el diagrama se usan diferentes colores para distintos tipos de conexiones, representadas por flechas: rojo para las corticales, verde para las talámicas, azul para las de los ganglios basales, y amarillo para las hipocámpicas³⁴. Los cuadros se corresponden con las estructuras revisadas y la incrustación de unos en otros representa que la estructura del cuadro menor es parte de la estructura del cuadro mayor. Aunque constituye la mayor parte de las regiones corticales incluidas, la corteza canónica granular, abreviada como CCG, se sitúa en un cuadro independiente para favorecer su visualización. Se ha intentado respetar o aproximarse, en la medida de lo posible, a la distribución de las estructuras en el cerebro, teniendo en cuenta las limitaciones de un plano de dos dimensiones y el diferente nivel de detalle con que se ha abordado cada estructura. Asimismo, se ha simplificado el esquema con el fin de evitar un exceso de complejidad que lo hiciera ilegible. Aparte, se ha omitido la corteza de asociación límbica, que cuenta con menos consenso en la literatura.

Se emplean las siguientes abreviaturas (algunas comunes en la literatura, otras más *ad hoc*, todas ordenadas aquí alfabéticamente en función de la propia abreviatura): área 1 -entendiéndose como tal inferior en la jerarquía del procesamiento cortical- (A1); área 2 -entendiéndose como tal superior en la jerarquía del procesamiento cortical- (A2); *cornu ammonis* (CA); corteza de asociación frontal (CAF); corteza de asociación parietal (CAP); corteza de asociación temporal (CAT); corteza canónica granular (CCG); giro dentado (DG); corteza prefrontal dorsolateral (dlPFC); corteza entorrinal (EC); núcleos de primer orden (FON); ganglios basales (GB); globo pálido externo (GPe); globo pálido interno (GPi); hipocampo (HIP); infragranular (IG); lámina (L); núcleo mediodorsal del tálamo (MDN); corteza prefrontal medial (mPFC); corteza parahipocámpica (PHC); corteza perirrinal (PRC); núcleo pulvinar del tálamo (PUL); núcleo reuniens del tálamo (REU); supragranular (SG); parte compacta de la sustancia negra (SNpc); parte reticulada

³⁴ La asociación de colores es puramente expositiva y es independiente de la que se realizará en figuras posteriores, donde cada ritmo se asocia con un color.

de la sustancia negra (SNpr); núcleo subtalámico (STN); estriado (STR); estriado “asociativo” -haciéndose referencia a la región del mismo que forma parte del bucle que conecta con regiones asociativas frontales- (StrAso); estriado “límbico” -haciéndose referencia a la porción del mismo que forma parte del que se considera el circuito paralelo límbico- (StrLím); subículo (SUB); tálamo (TAL); núcleo reticular talámico (TRN).

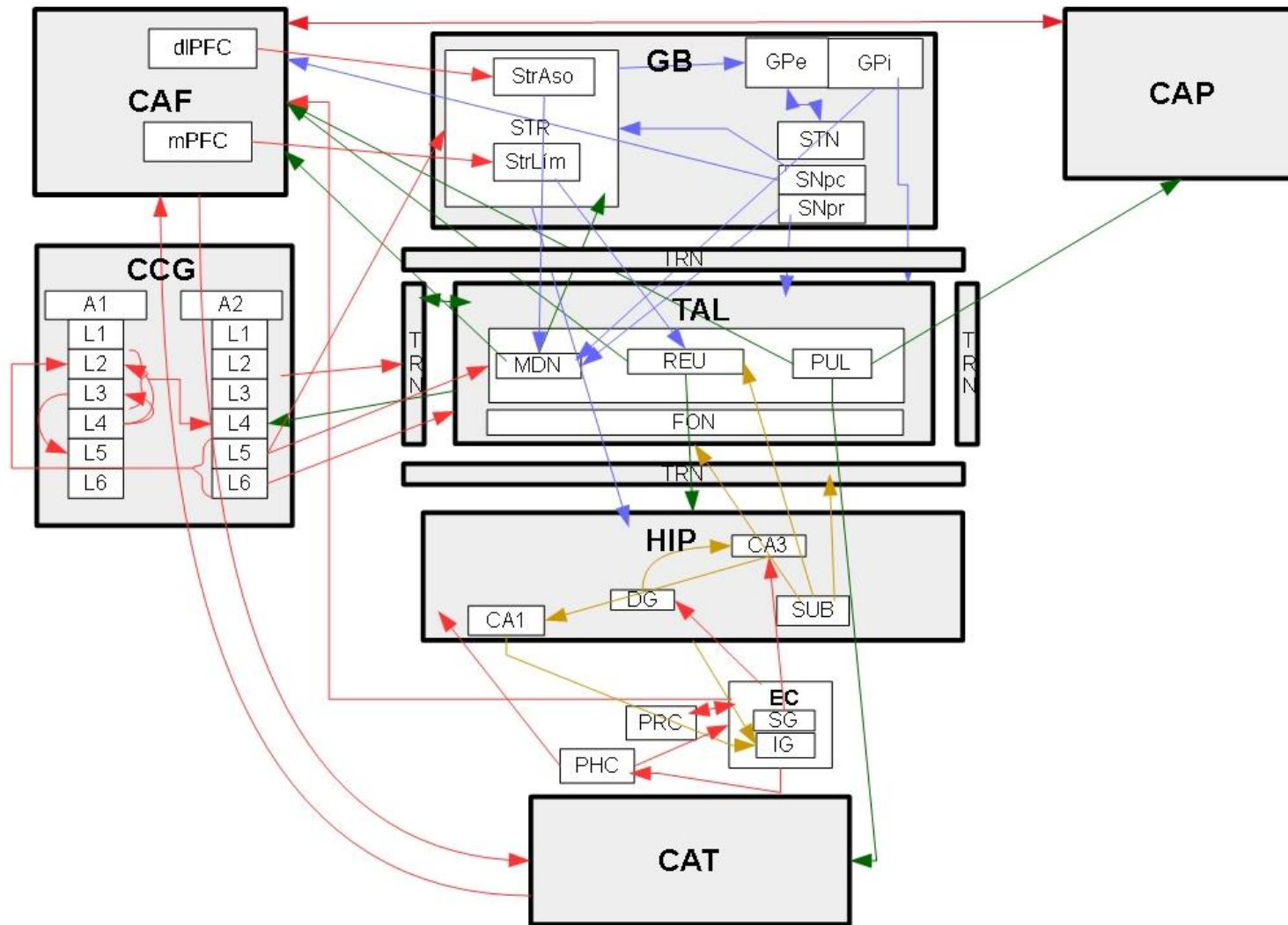


Figura 4-10 Estructuras y conexiones cerebrales (conectoma): sustrato potencial del lenguaje.

Este método puede resultar ventajoso con respecto a otras alternativas, como por ejemplo partir la red del lenguaje conforme al modelo clásico Broca-Wernicke-Lichteim-Geschwind (v. § 8.1.2). Aunque, se trate de la red más aceptada en la comunidad científica, creo que hasta la fecha ningún modelo ha explicado convincentemente el procesamiento lingüístico sobre ese sustrato. Si uno quiere resultados diferentes, debe actuar diferente, y por eso se apuesta por un abordaje más neutral del cerebro. De esta forma, al intentar encajar el lenguaje en una red a gran escala cerebral y neutral, será mucho más fácil encontrar su lugar en relación con toda la cognición que emana del resto de estructuras, excluidas en el modelo clásico. Con esta visión más integradora, se facilita también la resolución de problemas como las incoherencias evolutivas o cognitivas de una facultad excesivamente modular (v. § 2.7), cuando la neurociencia cognitiva parece apuntar a una mayor interrelación entre los múltiples dominios cognitivos (por lo menos a nivel mecanístico).

En § 3 se argumentó que el análisis espacial del cerebro es insuficiente para comprender la actividad, interacción y mecanismos de las estructuras. En consecuencia, tendremos que revisar (v. § 6) las dinámicas de las estructuras analizadas arriba, superponiendo sobre esa red las oscilaciones que la caracterizan. A este respecto, recuérdese la lógica de que las dinámicas dependen de las propiedades biofísicas de los circuitos que las generan, por lo que es de esperar que exista una coherencia entre la red espacial aquí esbozada y la red temporal que se le sobrepondrá. La transición del conectoma al dinoma será demasiado abrupta si no introducimos antes qué son las oscilaciones cerebrales, cómo se generan, qué mecanismos pueden implementar, etc. Así pues, abordaremos estas cuestiones en el próximo capítulo.

5 Oscilaciones cerebrales

Este capítulo versa sobre las oscilaciones cerebrales, desde cómo se generan hasta su significancia funcional. Por lo tanto, sirve de prólogo a las dinámicas que vamos a identificar sobre el conectoma delineado en § 4 cuando le superpongamos el análisis del dinamoma en § 6. Como se discutió en § 3, el conocimiento de las oscilaciones cerebrales es fundamental para proponer una implementación del lenguaje porque estas son una parte significativa de los mecanismos cerebrales mediante los cuales se procesa la información, lingüística o no (Buzsáki 2006). Para empezar, las oscilaciones pueden definirse a nivel unicelular o a nivel poblacional/de redes: una neurona individual oscila cuando *dispara* (*fires*) potenciales de acción (i.e. impulsos nerviosos) de manera *rítmica* (§ 5.1); una población neuronal oscila cuando la actividad (rítmica) de sus elementos constituyentes se *sincroniza* rítmicamente (§ 5.2). Así pues, un primer requisito para entender los fundamentos de las oscilaciones cerebrales es tener claro cómo disparan las neuronas, cómo surge un ritmo y qué significa que haya sincronía en términos de actividad cerebral.

De forma preliminar, podemos concebir los disparos de potenciales de acción de las neuronas como la transmisión de una señal eléctrica, generado por determinado cambio en el voltaje de la célula y que sirve para comunicarse con otras células. Respecto a los ritmos, podemos pensar que estos emergen cuando se alcanza algo como un equilibrio o balance entre fuerzas positivas y negativas (v. Buzsáki 2006). Imaginando que partimos de un estado de reposo, las primeras empujarían el sistema en un sentido, mientras que las segundas pugnarían por “moverlo” en el sentido opuesto. Para que se sostenga un ritmo, durante cierto tiempo no debe vencer ninguna fuerza: el dominio de cada una se alternará a intervalos regulares. Así pues, se dará una suerte de tira y afloja en que se cruza repetitivamente el estado que está a medio camino entre las fuerzas opuestas. Como veremos, a nivel celular estas fuerzas son la despolarización y la hiperpolarización, pero a nivel poblacional son la excitación y la inhibición. Unas y otras están, sin embargo, íntimamente relacionadas.

Para entender qué se considera sincrónico en la actividad cerebral, es esencial la idea de la ventana temporal. Dicha ventana consistiría en un intervalo de tiempo, durante el cual los eventos que ocurran serán juzgados como sincrónicos. Ahora bien, ¿cuánto

dura dicho intervalo? A grandes rasgos, depende del tiempo que dura el efecto de la actividad de una neurona sobre otra (Buzsáki 2006, 2010). Los disparos de las neuronas tienen efectos transitorios, de modo que perturban a sus compañeras durante unos pocos milisegundos, antes de que estas vuelvan al estado de reposo. Simplificando, desde el punto de vista de la neurona que recibe la señal, si múltiples impulsos consiguen perturbarla, ser integrados y provocar que ella misma dispare, serán juzgados como sincrónicos; en cambio, si cuando llega un segundo impulso no queda rastro del primero, las señales se considerarán independientes. La sincronía en términos cerebrales depende, pues, de la causalidad (Buzsáki 2006).

5.1 A nivel unicelular

Como describen los libros de biología y los manuales de neurociencia (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016), en los cuales se basará toda la discusión, la distribución de los iones es desigual (*no homogénea*) dentro y fuera de las células. En consecuencia, se generan un *potencial químico* debido, entre otros factores, a la diferente concentración de las partículas y un *potencial eléctrico* que responde a las diferencias en los campos eléctricos. A grandes rasgos, podemos entender que el potencial es la energía interna que tiene un cuerpo por encontrarse en determinado estado o posición, y que puede invertirse en generar cierto trabajo (mover los iones en nuestro caso). El movimiento de los iones es básicamente la búsqueda de reducir esos potenciales.

5.1.1 Movimiento iónico.

En primer lugar, describiremos cómo se produciría el movimiento de iones si la membrana celular no se interpusiera en el tráfico de los mismos. El potencial químico hace que los iones fluyan a través de la membrana siguiendo el *gradiente de concentración*, esto es, buscan el equilibrio *difundiéndose* de regiones con mayor concentración (i.e. cantidad de partículas en proporción al espacio o sustancia que ocupan) a regiones con menor concentración (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016). Además, los iones intentan reducir su potencial eléctrico, fluyendo de zonas donde sea mayor a donde sea menor, como si intentaran neutralizar las cargas del campo eléctrico. Visto de otra forma, el movimiento de iones obedecería también la consabida ley de que las cargas opuestas se atraen, mientras que las iguales se repelen. Por ejemplo, un ion con

carga positiva será atraído por un campo eléctrico negativo y repelido por uno positivo con independencia del gradiente de concentración.

Estos dos factores dirigen el movimiento de iones en sentidos opuestos. Así, el movimiento de los iones se detendrá o devendrá mínimo cuando se establezca un equilibrio entre la difusión y la electricidad. Entonces, podremos decir que los iones se encuentran en *equilibrio electroquímico* y la célula, en el *potencial de equilibrio* (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

5.1.2 Permeabilidad selectiva de la membrana celular.

Sin embargo, para moverse según lo descrito, los iones deben ser capaces de cruzar la membrana celular. Esto es posible gracias a los *canales* iónicos, que son proteínas capaces de formar poros que conectan el interior y el exterior de la célula. Crucialmente, los canales iónicos son *selectivos* o permeables sólo a cierto tipo de iones y, además, tienen la propiedad que en inglés se conoce como *gating*, es decir: pueden abrirse o cerrarse, permitiendo u obstruyendo el flujo de iones (Bear *et al.* 2016).

De manera muy informal, podemos visualizar la selectividad iónica de los canales como un puzle químico tridimensional: las partículas son como piezas que sólo encajan con ciertas formas de cierto tamaño (v. Bear *et al.* 2016). Por consiguiente, cualquier ion no puede encajar con cualquier proteína. Por lo que respecta al *gating*, los canales iónicos pueden abrirse o cerrarse mediante múltiples mecanismos: cambio en el voltaje de la membrana (v. abajo); enlace de alguna molécula (procedente del interior o del exterior de la célula) con una región llamada receptor (una suerte de cerradura química); acción de la luz o una fuerza mecánica sobre el receptor, etc.

Debido a la distribución dispar de los iones y a que la membrana celular filtra selectivamente, la carga eléctrica es desigual a través de la membrana. Dicho de otro modo, el potencial de equilibrio descrito arriba, donde los iones habrían balanceado su gradiente electroquímico, no puede producirse. Por el contrario, las neuronas, en estado de reposo, acumulan un *potencial de membrana* que se encuentra en torno a -65mV. Veamos por qué.

5.1.2.1 Potencial de membrana.

La concentración de iones de sodio (Na^+) (y de calcio, Ca^{2+}) es mayor fuera de la célula que dentro. En cambio, la concentración de potasio (K^+) es mayor dentro de la

célula que fuera. En esta situación, los iones intentarán difundirse siguiendo su gradiente de concentración: Na^+ intentará entrar en la célula, mientras K^+ intentará salir. No obstante, las neuronas en reposo tienen muchos más canales abiertos para K^+ que para Na^+ .

En consecuencia, K^+ será capaz de fluir hacia afuera de la célula, tratando de equilibrar el potencial químico. Cuanto más K^+ se difunda hacia afuera, mayor será la carga negativa que este movimiento dejará tras de sí. Este campo eléctrico negativo en el interior de la célula atraerá K^+ debido a la carga positiva del ion, tratándose así de reducir el potencial eléctrico. Llegado cierto punto, la difusión de K^+ hacia el exterior será contrarrestada por dicha atracción eléctrica. Entonces, K^+ será atraído hacia adentro de la célula (a pesar del gradiente de concentración) con suficiente fuerza como para que la difusión se detenga. Cuando el movimiento se detenga, K^+ estará cerca de su *equilibrio potencial* (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

Como decíamos, Na^+ intentará moverse conforme a los mismos principios, aunque en el sentido opuesto. Así pues, Na^+ tratará de entrar en la célula siguiendo el gradiente de concentración (a pesar del campo más negativo que este movimiento vaya dejando atrás, en el exterior de la célula). Sin embargo, Na^+ se topa con un problema: los canales iónicos que lo seleccionan están mayormente cerrados en las neuronas en reposo. Teóricamente, K^+ tiene por sí sólo el potencial de llevar la membrana a un voltaje de unos -80mV ; Na^+ , a su vez, sería capaz de llevarla a $+62\text{mV}$ (Bear *et al.* 2016). Bajo condiciones iguales, el potencial de membrana sería la media entre estas dos fuerzas. Sin embargo, la permeabilidad de los iones es un árbitro parcial en las neuronas en reposo, y favorece significativamente el tráfico del K^+ . En consecuencia, la neurona acaba fuertemente cerca del potencial negativo de K^+ , de resultas de lo cual el potencial de membrana acaba en unos -65mV (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

5.1.3 La alteración del potencial de membrana y el potencial de acción.

Afortunadamente, el potencial de membrana no es inmutable, sino que los canales pueden abrirse y cerrarse para alterarlo. Que el potencial de membrana se reduzca (volviéndose más positivo) se conoce como *despolarización*. En cambio, que el potencial de membrana aumente (volviéndose más negativo) se conoce como *hiperpolarización*. Cuando la neurona se despolariza hasta cierto (potencial) *umbral*, genera una respuesta

de *todo-o-nada*, llamada *potencial de acción*. En otras palabras, la neurona se dispara, y la señal es conducida a lo largo del axón, permitiendo así la comunicación neural principalmente en la *sinapsis*, liberando neurotransmisores, etc. (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

Veamos cómo puede generarse un potencial de acción. Cierta *input* abre un canal de Na^+ . Como Na^+ se encuentra mucho más concentrado fuera de la célula, y como el interior de la célula presenta carga negativa, los iones de Na^+ (que tienen carga positiva) fluyen rápidamente al interior de la neurona. Entonces, el citoplasma de la célula se carga relativamente con carga más positiva (despolarización). De forma clave, si el potencial de membrana alcanza cierto umbral, otros canales de Na^+ sensibles a ese voltaje de la membrana pueden abrirse (mientras que los canales de K^+ pueden cerrarse). Esto causa un flujo de iones de Na^+ hacia el interior de la célula relativamente fuerte. La célula entonces cambia muy brevemente a una carga positiva, y un *potencial de acción* se genera, en que un impulso eléctrico viaja a través de la célula invirtiendo momentáneamente su carga (esto constituye la fase de elevación y parte de la fase de exceso u *overshoot* del proceso del impulso eléctrico) (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

Sin embargo, este cambio rápido a una carga positiva dura muy poco. En menos de un milisegundo, entramos en la fase de descenso del potencial de acción. Los canales de Na^+ se cierran nuevamente y los canales de K^+ se reabren. En consecuencia, el flujo de Na^+ al interior de la célula se bloquea, y K^+ fluye de nuevo hacia afuera. Dado que el K^+ se encuentra en un entorno hostil (es un catión en un campo positivo), abandona rápidamente la célula. Así, la célula deviene más y más negativa (hiperpolarización) durante la fase de caída. Entonces, se produce lo que se conoce como el periodo refractario o fase de repolarización exagerada (*undershoot*). Hay un espacio de tiempo muy breve en que el potencial de membrana es incluso más negativo que con la neurona en reposo. Los canales de Na^+ no se abrirán hasta que cierto lapso de tiempo haya transcurrido y la neurona vuelva a un estado de menor hiperpolarización. En ese intervalo, la neurona es incapaz de responder a *inputs* (como mínimo, en forma de potenciales de acción) (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016).

5.1.4 La neurona como oscilador natural y la resonancia.

Si uno piensa detenidamente en la descripción previa, se da cuenta de que las propiedades biofísicas de las neuronas las convierten en osciladores naturales (Buzsáki 2006). Según este autor, las neuronas pasan por los tres estados que caracterizan a los osciladores: uno excitable, otro activo, y otro refractario. Traducidos a actividad neuronal, estos estados corresponderían más o menos a la despolarización, cuando la información es recibida o integrada, al potencial de acción cuando es transmitida y al periodo refractario cuando es ignorada. Los osciladores, por lo tanto, van creando ventanas de oportunidad para integrar, transferir y fragmentar la información.

Por lo menos desde Hodgkin y Huxley (1952), se sabe que una neurona con un *input* constante es capaz de oscilar a una frecuencia proporcional a la amplitud de dicho *input* (lo cual depende de la naturaleza de todo o nada de los potenciales de acción). Si pensamos en el proceso como en un circuito eléctrico, podemos entender que cuanto más fuerte es el *input*, más rápido se llenaría una suerte de capacitador neuronal. La *capacitancia* es la habilidad que tiene un cuerpo de almacenar energía eléctrica. Cuando se sobrepasa esa capacidad, la energía se libera (esto es, el capacitador se descarga).

Como describíamos arriba, los potenciales de acción de las neuronas son respuestas de todo o nada, de modo que se toleran ciertos cambios en el potencial de la membrana, en el sentido de que no se genera una respuesta si estos no alcanzan cierto umbral. Sin embargo, una vez se llega al umbral, la neurona se dispara, como si su capacitador se hubiera colmado. Cuanto más intensa sea la señal de entrada, antes se llenará el capacitador, y antes responderá la neurona (Reece *et al.* 2014, Bear *et al.* 2016). El proceso en la neurona, paso a paso, sería así:

1. El *input* abre los canales de iones sódicos (Na^+). Los *inputs* más fuertes se integran en menos tiempo y conducen antes a la siguiente fase (sobrepasan antes la capacitancia de la célula).
2. La célula se despolariza por encima del umbral, y se abren más canales de Na^+ .
3. La célula cambia rápidamente a una carga positiva, disparando el potencial de acción.
4. Los canales de Na^+ se vuelve a cerrar, y los de K^+ se activan.
5. La célula se hiperpolariza gracias al flujo hacia el exterior de K^+ .
6. La célula deviene brevemente inmutable.
7. La célula vuelve a ser capaz de repetir el proceso desde el primer punto, siempre haya un *input* constante.

El número de impulsos eléctricos por segundo generados se conoce como *frecuencia*. La frecuencia del oscilador en este modelo simple sería determinada por la magnitud del *input* (cuánto tiempo toma el generar un efecto aditivo lo suficientemente fuerte) y por el tiempo que toma a la neurona recuperarse de la hiperpolarización (v. Buzsáki 2006).

5.1.4.1 La complejidad de las células y la resonancia.

Buzsáki (2006) reseña que la auténtica imagen de la actividad neuronal es mucho más compleja que este modelo de integrar-descargar a lo Hodgkin y Huxley (1952). En las últimas décadas nuestra concepción de las neuronas ha ganado mucho en complejidad. Las neuronas no sólo integran pasivamente *inputs* externos y se descargan cuando se alcanza cierto umbral. Llinás (1988) mostró que las propiedades biofísicas de las neuronas son mucho más complejas, lo cual las convertiría en unidades de procesamiento activo.

En este sentido, las neuronas cuentan con un vasto repertorio de canales a través de los cuales se produce un tráfico distinto de iones, y que están repartidos de forma desigual en la célula. Cada uno de estos canales tiene sus propios mecanismos de cierre y apertura y sus propias cinéticas temporales de activación (Buzsáki 2006). Esta complejidad hace que las neuronas respondan naturalmente a *inputs* a determinada frecuencia y no a otros. En otras palabras, las neuronas tienen propiedades resonadoras a frecuencias particulares (Hutcheon y Yarom 2000).

La frecuencia natural de la neurona es determinada por la combinación de *filtros paso bajo* y *filtros paso alto* (Buzsáki 2006, Hutcheon y Yarom 2000). Sin entrar en detalles que complicarían innecesariamente la sección indicamos que, como explica Buzsáki (2006), un filtro paso bajo es un mecanismo por el cual los *inputs* a baja frecuencia generan una respuesta fuerte, mientras que la respuesta a *inputs* de alta frecuencia es atenuada (totalmente). Los filtros paso alto, en cambio, se describen como mecanismos que favorecen la respuesta a *inputs* de alta frecuencia, y atenúan la respuesta a *inputs* de baja frecuencia. Los filtros de paso bajo y alto de las neuronas las convierten en resonadores biológicos (Buzsáki 2006) que actúan como *filtros paso banda*. Las respuestas de las neuronas serán máximas en la frecuencia intermedia que se encuentra entre las habilitadas por los filtros paso bajo y filtros paso alto. Es decir, se atenuarán frecuencias bajas (mediante filtros paso alto) y se atenuarán frecuencias altas (mediante filtros paso bajo), quedando así un rango de frecuencias entre medio sin filtrar. Será en

ese rango de frecuencias donde la neurona preferirá responder a los *inputs*, y por lo tanto a la frecuencia que la célula resonará. Debido a estas resonancias naturales de las neuronas, encontramos oscilaciones espontáneas en determinado ancho de banda en determinadas estructuras (Hutcheon y Yarom 2000). Sin embargo, para que estas oscilaciones a mayor escala emerjan, se necesita del interdiálogo de las neuronas, que es la materia de la siguiente sección.

5.2 A nivel poblacional

Hasta ahora, hemos descrito las oscilaciones a nivel unicelular. Sin intención de subestimar cómo las propiedades de células individuales pueden determinar la actividad de la red (v. Wang 2010), cabe notar que los patrones rítmicos que observamos en los encefalogramas (en que solemos basar nuestra interpretación funcional de los ritmos) son generados por coaliciones de neuronas, y no por una célula individual. Además, ya determinamos que analizaríamos las dinámicas cerebrales a una escala espacial generosa (v. § 3.1.2). Arriba, introdujimos las oscilaciones de redes como la actividad rítmica sincronizada sobre una población neuronal. Por lo tanto, es crucial entender primero lo que significa *sincronía* a nivel cerebral.

5.2.1 Sincronía y ventana temporal.

Como discute Buzsáki (2006, 2010), la sincronía es la relación entre dos eventos que ocurren simultáneamente. La simultaneidad debe ser juzgada por un observador particular con cierto marco de referencia temporal. Puesto que estamos tratando de actividad cerebral oscilatoria, el mejor candidato para emitir dicho juicio es una neurona o una población de neuronas.

Para juzgar algo como simultáneo o sincronizado, las neuronas necesitan una ventana temporal discreta. Esto es así porque si la sincronía fuera medida simplemente por coincidencia matemática absoluta (si fuera posible de medir), entonces no habría descargas sincrónicas en el cerebro (o, de haberlas, serían extremadamente raras y por ende imposibles de explotar). Por lo tanto, se necesita ignorar cierto retraso entre los eventos. Por ejemplo, cuando algo cae al suelo y hace ruido, consideramos que ambos eventos son sincrónicos, a pesar de los retrasos temporales y los desajustes entre las

señales físicas llegando a nuestros sistemas sensorios y su procesamiento. En caso de no permitirse ese retraso, sería muy difícil inferir ninguna relación de causalidad.

En relación a esta idea de causalidad, Buzsáki (2006) define la ventana para la sincronía en el cerebro como el tiempo en que permanece algún rastro de actividad de un *input* anterior, y este puede alterar la respuesta a un evento posterior. Esto es, dos eventos serán sincrónicos si puede establecerse una relación causal entre ellos, incluso si hay algún retraso temporal, o si ambos eventos forman una especie de causa unitaria con una única consecuencia.

A nivel unicelular, esta ventana la determina la integración de los potenciales postsinápticos (Buzsáki 2006). La despolarización de la neurona por un *input* es transitoria y el potencial de membrana decae en unos pocos o decenas de milisegundos hasta su estado de reposo. Si un evento despolariza la neurona y un evento subsiguiente tiene un efecto aditivo sobre esa despolarización, se juzga como sincrónico. En cambio, si la huella del evento previo se ha perdido, el nuevo evento será juzgado por la neurona como independiente. Por lo tanto, la ventana de sincronía estará determinada por la constante temporal de la neurona. Esta ventana de integración de las neuronas puede variar en función de múltiples factores, como el estado actual del sistema, su historia, etc., por lo que no se puede estipular un número para la constante temporal de la neurona pasiva (Buzsáki 2006).

5.2.1.1 Ampliación de la ventana temporal en poblaciones.

Cuando la sincronía es juzgada por una población de neuronas, la ventana temporal discreta puede ampliarse mucho (Buzsáki 2006). Como muestran Von Stein y Sarhnthein (2000), cuanto más lentas son las oscilaciones, mayor es el número de neuronas que pueden llegar a tiempo al periodo de sincronía. Los eventos que son capaces de acoplarse a la oscilación de la población serán juzgados como sincrónicos; en caso contrario, serán considerados independientes.

Para un grupo de neuronas, el tamaño de la ventana será determinado por el periodo de “readiness” de la oscilación en curso de la población (Buzsáki 2006). La duración de dicho estado de “readiness” del oscilador de la red, ahora a nivel de población, determinará la ventana de la sincronización, que puede ser mucho más amplia que lo que harían prever las propiedades de sus elementos constituyentes. Cuanto más lento es el ritmo, mayor es la ventana y más neuronas pueden ser reclutadas de áreas

cerebrales mayores. Esto es así porque los retrasos de conducción axonal y sinápticos son menos limitadores: por lo tanto, la extensión espacial de la sincronía es mucho más amplia en el caso de ritmos lentos (Buzsáki 2006).

5.2.2 La sincronía de inhibición y excitación en oscilaciones.

Una vez tenemos una noción apropiada de *sincronía*, necesitamos explicar el mecanismo que la regula: las oscilaciones cerebrales (Buzsáki 2006). Como veremos, las oscilaciones cerebrales dependen mucho de la inhibición. La excitación por sí sola generaría una avalancha de más excitación y todo el cerebro acabaría atrapado en un estado hipsincrónico. Esta sincronía carecería de sentido, porque la excitación sola no puede conseguir la función básica de segregar o fragmentar la información parando la reverberación de la actividad (Buzsáki 2006).

Para entender el fenómeno emergente de las oscilaciones, necesitamos conocer los fundamentos de sus constituyentes. Recordemos que los potenciales de acción generan una señal que viaja a lo largo del axón. El punto en que este axón se encuentra con las dendritas o soma de otra neurona, que es la mayoría de los casos, se llama *sinapsis*. Los potenciales de acción de las neuronas presinápticas liberan neurotransmisores en la sinapsis. Estos neurotransmisores son moléculas que se enlazan a receptores de la neurona postsináptica, abriendo o cerrando los canales iónicos. La diferencia entre la excitación y la inhibición depende básicamente del efecto que estos neurotransmisores ejerzan en la neurona postsináptica y su potencial de membrana. Más concretamente, la excitación y la inhibición se definen respecto del umbral de voltaje, que está alrededor de los -40mV.

5.2.2.1 Neuronas excitatorias e inhibitorias.

Las neuronas excitatorias incrementan la probabilidad de descargar un potencial postsináptico (Purves *et al.* 2004), esto es, despolarizan hacia el umbral la neurona con la que establecen la sinapsis. En cambio, las (inter)neuronas inhibitorias reducen la probabilidad de que la neurona postsináptica genere un potencial de acción (Purves *et al.* 2004), esto es, hiperpolarizan la neurona postsináptica con respecto del umbral.

Por lo tanto, los neurotransmisores específicos que se liberan y abren canales específicos son cruciales. Las neuronas excitatorias usan principalmente glutamato como neurotransmisor. El glutamato se enlaza a algunos receptores que abren canales iónicos

para cationes (Purves *et al.* 2004), con independencia de si son selectivos para Na^+ o K^+ . Recordemos que las neuronas en reposo están cerca del potencial de equilibrio negativo del K^+ . De resultados del tráfico libre de iones por efecto del susodicho neurotransmisor, la neurona se acercará a un potencial de membrana que sea la media, cerca de 0mV, lo cual es mucho más positivo que el umbral del potencial (Purves *et al.* 2004). Dicho simplemente, la neurona postsináptica será despolarizada más allá del umbral (a menos que otras fuerzas lo contrarresten). Dado que la despolarización favorece alcanzar el umbral de descarga, la neurona presináptica liberando glutamato se podrá considerar excitatoria.

Por otro lado, las neuronas inhibitorias son comúnmente conocidas por liberar el neurotransmisor GABA. GABA abre los canales selectivos a iones de cloro (Cl^-). Dado que el potencial de equilibrio de Cl^- está cerca de -70mV (Purves *et al.* 2004), el flujo de Cl^- hiperpolarizará la neurona con respecto al potencial de umbral. Por lo tanto, la neurona presináptica podrá considerarse inhibitoria.

5.2.2.2 La inhibición como silenciadora pulsátil.

La inhibición tiene el potencial de regular y fragmentar la actividad cerebral excitatoria, aumentando enormemente la selectividad, excitabilidad y complejidad del procesamiento (Buzsáki 2006). De hecho, Buzsáki (2006:74) argumenta que son las neuronas inhibitorias quienes proporcionan “rhythm-based timing to the principal cells at multiple time scales”. Esto es así porque la inhibición puede silenciar las neuronas transitoriamente (cuando la inhibición decae, las neuronas recuperan la oportunidad de descargar de nuevo en sincronía).

En este punto, es importante que el periodo de silencio pueda durar más o menos en función de los neurotransmisores y de los canales implicados. Si la inhibición tiene una vida media larga, la frecuencia de la oscilación será lenta. En cambio, si la inhibición dura poco, la frecuencia de la oscilación será rápida, porque la actividad de las células principales se suprimirá durante menos tiempo. Estos pueden ser los casos de inhibición en que media GABA_B y GABA_A, respectivamente (Wang 2010). Por un lado, la inhibición por GABA_B dura entre 100ms y 200ms, por lo que puede sincronizar la actividad neuronal a unos 5-10Hz (banda *theta* alta y banda *alpha* baja). Por otro lado, la inhibición por GABA_A dura entre 10 y 25 ms, por lo que puede regular oscilaciones más rápidas a 40-100Hz (entre ritmos *gamma* lentos y rápidos).

5.2.3 Contraponiendo oscilaciones unicelulares y poblacionales.

Así las cosas, podemos establecer un paralelismo (un tanto simplista) entre las oscilaciones a nivel unicelular y las oscilaciones a nivel poblacional. En una neurona individual que oscila se alternan periodos excitables, donde pueden integrarse *inputs*, periodos activos, en que los *inputs* despolarizan la neurona hasta el umbral desencadenando un potencial de acción, y periodos refractarios, en que la hiperpolarización es demasiado fuerte para que los *inputs* tengan un efecto significativo en la transmisión de la señal.

De forma semejante, cuando una población oscila, se alternan periodos excitables definidos por la ventana temporal en que las neuronas pueden integrar *inputs*, periodos activos en que las neuronas se disparan permitiendo que sus potenciales de acción sean considerados sincrónicos por las células postsinápticas y periodos inactivos en que la inhibición impide los disparos de los miembros y la comunicación entre ellos.

Tanto en oscilaciones unicelulares como poblacionales, podemos entender la oscilación como la alternancia de *escuchar-comunicar-callar*. En una neurona individual el tiempo de la escucha dependería de la intensidad del *input*, el de comunicación sería brevísimo (cuando se alcanza el potencial de acción) y el de silencio dependería de cuánto tardara la neurona en recuperarse de la hiperpolarización. Sin embargo, es importante reparar en que el efecto de la hiperpolarización constriñe el tiempo de *escuchar* y, por consiguiente, de *comunicar*.

No obstante, las neuronas no están aisladas. Por este motivo, cuando explicamos las oscilaciones de poblaciones, pasamos de hablar de despolarización/hiperpolarización (en neuronas individuales) a hacerlo de excitación/inhibición entre grupos de neuronas. Centrarnos en la hiperpolarización y en la excitación supone adoptar una perspectiva en que se aísla bastante la actividad neuronal de su entorno. Sin embargo, estos cambios individuales son producto, mayormente, de fuerzas externas a la propia neurona. Como decíamos arriba, una célula se despolariza en relación al umbral de disparo como resultado de la excitación externa (normalmente, de los neurotransmisores de otra neurona), y se hiperpolariza, también en relación al umbral, como resultado de la inhibición (típicamente impuesta por los neurotransmisores de otras neuronas).

Por lo tanto, cuando una población oscila, los disparos y los silencios de sus constituyentes se alinean temporalmente (dentro de una ventana temporal dependiente del tamaño de la población y de las propiedades de sus miembros) y se suceden de forma rítmica. Para que esta sincronía sea posible, se necesita que las fases de despolarización y de hiperpolarización de las neuronas individuales vayan a la par. Para ello, las neuronas deben comunicarse y compartir periodos excitables donde la despolarización hasta el umbral sea posible y periodos refractarios o inactivos donde la hiperpolarización imponga un silencio. Así, el periodo de escucha está constreñido por los tiempos de silencio que dicta la inhibición. En síntesis, la oscilación puede verse como el surgimiento de un patrón repetitivo (gracias a un *input* suficiente) de la manera natural que tienen de comportarse las neuronas (escuchando, hablando y callando) ellas mismas y en relación con las demás.

5.2.4 Oscilaciones en distintos tipos redes.

Un grupo formado sólo por neuronas inhibitorias es capaz de generar oscilaciones. A este respecto, citaré directamente a Buzsáki, pues su explicación es más que precisa y explicativa:

“In the initial state, interneurons discharge randomly. Due to chance, some of them may discharge together in a short time window. This group of neurons will impose stronger inhibition on their targets than other randomly discharging neurons. As a result of this stronger inhibitory seed, more neurons will be silenced simultaneously, after which their probability of discharging together upon recovery increases.[nota al pie omitida] Now, we have a larger group of synchronously discharging cells which, in turn, will silence an even larger portion of the population, increasing their probability to fire together once inhibition fades away.” (Buzsáki 2006:75)

Sin embargo, las redes no están conformadas sólo por interacciones inhibitorias-inhibitorias, sino también por interconexiones excitatorias-inhibitorias. En un modelo simple, la frecuencia del ritmo la determinará principalmente el tiempo que tarde la inhibición en generarse y cuánto dure la misma (v. Buzsáki 2006 sobre otros factores que pueden tener una influencia mínima). Como explica este autor, surge una competición entre la excitación y la inhibición. Habrá periodos en que la descarga sincrónica de interneuronas inhibitorias silencie durante unos milisegundos la población; cuando esta inhibición decaiga, las neuronas excitatorias podrán iniciar una nueva fase de la oscilación, excitando sincrónicamente a las neuronas de la población. Puesto que parte de estas neuronas son inhibitorias, su excitación conducirá nuevamente a un periodo de

silencio, después del cual volverán a tener el turno de palabra las células piramidales excitatorias, y así sucesivamente.

Finalmente, aunque no sea algo que ocurra bajo condiciones fisiológicas normales (Buzsáki 2006), las oscilaciones pueden emerger también de un grupo de células únicamente excitatorias (Wang 2010), por ejemplo, cuando los receptores GABA son bloqueados. Con independencia de los detalles sobre tipos específicos de neuronas (v. Wang 2010), la idea principal es que las descargas de las neuronas excitan a sus compañeras todavía más, adelantando su disparo y aproximándolo así a la fase de las primeras:

“Assume that initially cell 1 fires ahead of cell 2. Then, synaptic excitation from cell 1 advances the next spike in cell 2. When cell 2 fires, cell 1 is still in the recovery phase, so synaptic excitation from cell 2 actually delays the next spike in cell 1. Therefore, interactions in both directions tend to reduce the phase difference between the two cells, eventually leading to spike-to-spike synchrony.” (Wang, 2010:1202)

En suma, dejando de lado modelos experimentales en que se usa sólo cierto tipo de neurona, las oscilaciones emergen básicamente cuando las fuerzas excitatorias e inhibitorias encuentran el equilibrio. Periodos de actividad altamente sincrónica alternan con periodos de silencio sincrónico. Recordemos que para que las oscilaciones unicelulares duren, se precisa un *feedback* positivo o regenerador (Buzsáki 2006). Esto es, se necesita algún *input* para generar otro ciclo de despolarización una vez la inhibición ha decaído. Igualmente, para sostener las oscilaciones en poblaciones, es preciso un *input*, que puede ser generado por retroalimentación, que dure cierto tiempo.

5.2.5 La (aparente) necesidad de oscilaciones para la sincronía.

El lector puede haber notado que la sincronía y las oscilaciones están estrechamente relacionadas: ambas están reguladas crucialmente por el tiempo de silencio impuesto por la inhibición. De hecho, las oscilaciones necesitan la sincronía. Lo interesante es, ¿necesita la sincronía de las oscilaciones? Según Buzsáki (2006), es posible tener sincronía en ausencia de cualquier patrón periódico o regular. Además el requisito básico para que se dé la comunicación neuronal y el procesamiento podría ser únicamente la sincronía, y no tanto los patrones oscilatorios. Sin embargo, el mecanismo que parece explotar el cerebro para conseguir la sincronía, y tal vez el más económico de entre los posibles, son las oscilaciones (Buzsáki 2006). Así pues, puede que las

oscilaciones no sean conceptualmente imprescindibles, pero así es como parece funcionar el cerebro para obtener la sincronía.

Además, la manera como la relación temporal precisa entre ritmos es explotada mecánicamente convence de lo contrario: la sincronía no basta, y las oscilaciones son computacionalmente útiles. Esto será especialmente visible en § 5.4, dedicada a mecanismos oscilatorios, donde la temporalidad rítmica de la actividad neuronal puede servir para favorecer la comunicación neuronal, bloquearla, evitar interferencias, crear patrones en el comportamiento o incluso codificar, en la manera como interactúan los ritmos, información de otra naturaleza. Por ejemplo, explica Buzsáki (2006) que las oscilaciones lentas y rápidas que se dan en el hipocampo son capaces de traducir información espacial en información temporal (v. § 5.4.7). Por todo lo dicho, cuesta creer que el cerebro cuente con un mecanismo tan potente y aparentemente útil, pero que no lo explote y sea un mero epifenómeno.

5.3 Principios simples y acoplamiento de oscilaciones

Ahora se explicarán algunas características generales de las oscilaciones, sus interacciones y la significancia funcional que todo esto puede tener. Una oscilación a la escala poblacional que estamos analizando emerge de la cooperación de poblaciones neuronales, y, a su vez, constriñe el comportamiento de dichas poblaciones. De acuerdo con Buzsáki (2006), la contribución de las neuronas individuales a la oscilación, que necesita más bien de la cooperación de los miembros de la población, es minúscula. Sin embargo, una vez se instala determinado patrón oscilatorio en una población, las neuronas individuales se ven atrapadas por los periodos de inhibición, con sus disparos ajustándose a los ciclos excitables.

Otro principio es la proporción inversa entre la extensión y la frecuencia de la oscilación (v. Von Stein y Sarhnthein 2000, Kopell *et al.* 2010). En este sentido, los ritmos rápidos están constreñidos a reclutar poblaciones neuronales menores (es decir, son locales), mientras que los ritmos lentos son capaces de reclutar poblaciones neuronales mayores (y pueden ser globales). El motivo es la limitada conducción axonal y la amplitud de la ventana temporal de la sincronía en función de cuántas neuronas participan.

A partir de la idea básica de que dos neuronas se comunican cuando una genera una señal que perturba la otra, las oscilaciones son claves para regular esa comunicación y, en última instancia, el flujo de la información en el cerebro entre regiones distantes (v. § 5.4.3.2). En esta línea, Bastos *et al.* (2015a) argumentan que las conexiones estructurales entre las neuronas (sinapsis) no son suficientes, sino que estas se vuelven efectivas o inefectivas en función de si hay actividad sincrónica o no.

Además, las oscilaciones son generadas típicamente por ciertas estructuras, esto es, son producto de *pacemakers*. Esta característica puede emanar parcialmente de las propiedades resonadoras de las neuronas (v. § 5.1.4). Como veremos en § 6.4, en dos poblaciones que oscilan a determinada frecuencia, una puede estar generando el ritmo, mientras que la otra puede estar básicamente acoplándose a él. Este puede ser el caso, por ejemplo, de las oscilaciones *theta*, que son generadas en el hipocampo y estructuras adyacentes, pero heredadas por las capas profundas de la corteza.

En esta línea, las oscilaciones no ocurren de manera aislada, sino que acoplan poblaciones de neuronas. Esta interacción puede darse incluso entre ritmos a distinta frecuencia, en que el ritmo lento modula la amplitud y la fase del ritmo rápido (v. Buzsáki 2006, Buzsáki y Watson 2012). De esta forma, los ritmos se incrustan y forman jerarquías (v. § 7.2.1). Tal interacción implementa lo que se ha denominado sintaxis neuronal (Buzsáki 2010, Buzsáki y Watson 2012), conforme a la cual las oscilaciones cerebrales dan lugar a la organización de las asambleas neuronales (v. § 5.4.3). En este sentido, las asambleas (sincrónicas) serían el equivalente a las unidades discretas (como las que se combinan en el lenguaje), mientras que las oscilaciones serían las operaciones por las cuales esas unidades se estructuran, relacionan, etc. En resumidas cuentas, las oscilaciones pueden proporcionar algunos mecanismos por los cuales la información en el cerebro es agrupada, fragmentada, transmitida, organizada temporalmente e, incluso, codificada. Estos mecanismos, enfocados desde una perspectiva neutral, son la materia de la sección siguiente.

5.4 Mecanismos o funciones de bajo nivel

Inspirado por Bosman *et al.* (2014), creo que una descripción de las oscilaciones cerebrales a nivel del circuito puede ser la más adecuada para comprender sus funciones desde un punto de vista neutral, esto es, sin asociarlas a ciertos dominios cognitivos. Así

podemos apreciar mejor que las oscilaciones no son efectos secundarios de otros mecanismos cerebrales y ver que tampoco se correlacionan simplemente con ciertas funciones cognitivas, sino que pueden constituir mecanismos en sí mismas. Este enfoque no evita relacionar las oscilaciones con su manifestación en algunas computaciones cognitivas básicas, lo cual puede sernos útil por razones expositivas.

5.4.1 Detección de coincidencia.

Los dos primeros mecanismos que se discutirán son la “detección de coincidencia” (*coincidence detection*) y la “modulación de ganancia” (*gain modulation*) (v. Fries 2009). En relación al primero, Azouz y Gray (2000) notan que el umbral de las neuronas para generar el potencial de acción puede variar dinámicamente, dependiendo del tiempo en que ocurran los *inputs* presinápticos –aparte de en función de su magnitud–. Los autores muestran que los *inputs* sincrónicos que despolarizan rápidamente la neurona reducen el umbral de la célula para descargar. En otras palabras, las neuronas *detectan* o son sensibles a la *coincidencia* temporal de los *inputs* presinápticos. Esta sincronía se obtiene naturalmente por medio de oscilaciones (Buzsáki 2006), por lo que las oscilaciones favorecen la comunicación de las neuronas con sus compañeras. Enfocándolo desde la perspectiva de las neuronas presinápticas, el *output* sincrónico es más efectivo en su acción sobre la diana postsináptica (v. Azouz y Gray 2002 para detalles).

5.4.2 Modulación de ganancia.

De la discusión de arriba, se sigue que las neuronas postsinápticas o lectoras (Buzsáki 2010) prefieren responder a coaliciones de *inputs* presinápticos que descargan en sincronía. Sin embargo, el efecto en la neurona postsináptica no sólo depende de las dinámicas de los *inputs*, sino del estado en que se encuentra la misma neurona postsináptica. Esta última puede encontrarse en una oscilación intrínseca o bien inducida por otras regiones (de mayor orden) (Börgers *et al.* 2005). Por lo tanto, el diálogo entre la neurona presináptica y la postsináptica es bidireccional, más que simplemente *feed-forward*.

La neurona postsináptica tendrá periodos en que será sensible a la excitación, pero también periodos en que dominará la inhibición. El impacto variable del *input* presináptico en la neurona postsináptica, dependiendo de la fase oscilatoria, es en lo que

consiste el mecanismo de modulación de ganancia (Fries 2009). Cuando la sincronía de las neuronas presinápticas coincide con el periodo receptivo de la neurona diana, el *input* es integrado; por el contrario, cuando la inhibición domina en la neurona diana, el *input* se pierde. Esto es, la fase de la oscilación en curso *modula* si habrá una *ganancia* grande, mínima o nula en la señal que va a transmitirse. En esta situación, puede emerger una competición entre múltiples asambleas de neuronas haciendo sinapsis en la misma neurona lectora, en que el ganador lo toma todo (*winner-takes-all*). Únicamente el ensamble con el mayor alineamiento de fase en relación a la ventana crítica de la integración de la lectora será computado, mientras que el resto será descartado. Esta competición puede decidir qué rasgos componen las percepciones (Gray y Singer 1989) o qué objetos son atendidos (Fries *et al.* 2001).

5.4.3 Formación de asambleas locales y globales.

De hecho, una función cognitiva básica emerge de la combinación de las funciones de circuito de detección de coincidencia y modulación de ganancia: la formación de asambleas neuronales (Hebb 1949, Buzsáki 2010). Esta función puede darse a diferentes escalas espaciales y temporales. A una escala relativamente local, se pueden formar asambleas que representen objetos, lo cual se atribuye normalmente a la función de “ligamiento por sincronía” (*binding by synchrony, BBS*) (Gray y Singer 1989, Singer y Gray 1995, Engel y Konig 1991, Engel y Singer 2001). En cambio, a una escala más global, las asambleas pueden representar redes en ciertos procesos, lo cual se relaciona normalmente con la hipótesis de la “comunicación mediante coherencia” (*Communication Through Coherence, CTC*) (Fries 2005, Bastos *et al.* 2015b).

5.4.3.1 Binding by synchrony.

Las oscilaciones rápidas se han relacionado con la formación de objetos (BBS). Por ejemplo, a través de la jerarquía de la corteza visual, las diferentes regiones codifican diferentes campos receptivos y rasgos elementales y de alto orden de los estímulos. Como discuten Singer y Gray (1995), para formar la percepción de un objeto visual –y discriminarlo del resto de la escena–, una población específica de neuronas que codifiquen los diferentes rasgos tiene que ser ligada de forma no ambigua. Aunque al principio de la jerarquía de procesamiento los rasgos locales pueden codificarse en simples columnas, a mayor orden puede ser necesario establecer relaciones incluso entre

hemisferios (Engel y Konig 1991) y modalidades (Senkowski *et al.* 2008). Desde Gray y Singer (1989), se ha defendido que esto puede conseguirse por medio de sincronía en oscilaciones rápidas. De esta manera, es posible formar flexiblemente una sucesión de asambleas neuronales sobre un sustrato neuronal compartido, trascendiendo la rigidez de la anatomía. En última instancia, esta formación de asambleas puede ser un requisito para la experiencia consciente de percepciones (Engel y Singer 2001).

5.4.3.2 Communication through coherence.

Las oscilaciones lentas se han relacionado con la formación de redes. Fries (2005) defiende la hipótesis de que los grupos de neuronas tienden a oscilar cuando se activan. A fin de establecer la *comunicación* entre estas poblaciones, se necesita *coherencia* en las dinámicas de ambos grupos de neuronas, porque sus “windows for input and for output are open at the same time” (Fries 2005:474). Como nota el autor, la ausencia de este alineamiento de fase impide la comunicación. Esto último conecta directamente con la competición entre asambleas que apuntábamos al explicar de la modulación de ganancia: la asamblea con mayor alineamiento en fase o coherencia vence al resto. Por lo tanto, de la misma manera que las oscilaciones permiten el procesamiento y la comunicación, pueden impedir que las estructuras se comuniquen (Fries 2005), segregándolas, cuando diferentes grupos de neuronas están sujetos a diferentes dinámicas.

5.4.3.3 Similitudes cualitativas, diferencias cuantitativas.

Así, el resultado de tanto el ligamiento por sincronía como la comunicación mediante coherencia es el mismo: la formación de una asamblea neuronal (aunque tienden a considerarse distintos, v. Fries 2005). En mi opinión, cada vez que la comunicación a través de coherencia (CTC) tiene lugar, se forma una asamblea neuronal por ligamiento por sincronía, ya sea un percepto, ya sea una red, etc. A la inversa, para formar un objeto mediante el ligamiento por sincronía, la hipótesis de la CTC debe ser correcta. Por lo tanto, prefiero establecer una subdivisión en términos más mecánicos: el BBS consistiría en la formación de asambleas locales por medio de oscilaciones rápidas, mientras que la CTC consistiría en la formación de asambleas representando redes transitorias, implicadas en ciertos procesos, por medio de oscilaciones lentas (v. von Stein y Sarhthein 2000). La diferencia entre BBS y CTC es, por consiguiente, más cuantitativa que cualitativa.

5.4.4 (De)selección por acoplamiento de ritmos y reinicio de fase.

Como se apuntaba, en el contexto de la modulación de ganancia y la CTC puede surgir una competición entre neuronas, lo cual implica que algunas coaliciones, mejor sincronizadas, son integradas a expensas de otras, peor sincronizadas. Por lo tanto, las oscilaciones son capaces de *seleccionar* asambleas, las cuales pueden corresponderse con ciertos estímulos (v. Fries *et al.* 2002). Al mismo tiempo, el mismo mecanismo de selección por acoplamiento a *inputs* puede tener el efecto opuesto: “deseleccionarlos”: si los estímulos en fase en relación con la oscilación cerebral son seleccionados, los estímulos fuera de fase deberían ser, lógicamente, descartados.

Este mecanismo de selección puede ser habilitado por la habilidad de las oscilaciones para acoplarse (*entrain*) a determinados estímulos. De forma parecida a las oscilaciones, los estímulos (naturales o artificiales) pueden presentar patrones rítmicos. Esto es, en una corriente de información, algunos eventos (música, habla, ...) pueden sobresalir con cierta periodicidad. De acuerdo con Schroeder y Lakatos (2009:1), las oscilaciones cerebrales son capaces de hacer que “their high excitability phases coincide with events in the stream”, esto es, se sincroniza el patrón de actividad cerebral con el patrón temporal de los estímulos externos (por supuesto, para que esto sea posible, la frecuencia tanto del ritmo del estímulo como del ritmo de la oscilación cerebral natural deben estar muy cerca). De este modo, los *inputs* pueden alinearse con la fase receptiva de las oscilaciones, y ser así ampliados y seleccionados.

5.4.4.1 Reinicio de fase.

Un mecanismo crucial para este acoplamiento es el reinicio de fase (*phase-reset*) (v. Mazaheri y Jensen 2010). Si las dinámicas cerebrales se generasen intrínsecamente con total independencia de los eventos externos, el acoplamiento a los estímulos rítmicos sería sólo fruto de una improbable casualidad (y los ajustes mínimos entre los dos osciladores serían imposibles). En cambio, el mecanismo de reinicio de fase confiere flexibilidad a la capacidad de los osciladores cerebrales para acomodarse (*phase-lock*) a los osciladores externos. Básicamente, la fase excitable de un oscilador intrínseco es sensible a fuerzas externas, y puede realinearse con los patrones del *input* (v. Makeig *et al.* 2002, Sauseng *et al.* 2007).

5.4.5 Inhibición.

Las oscilaciones pueden determinar el grado de actividad cerebral y su temporalidad (*timing*). De la misma manera que los mecanismos discutidos arriba permiten la integración de ensamblajes y de regiones, las oscilaciones pueden ser capaces de segregarlas o de inhibir el procesamiento (v. Bosman *et al.* 2014 sobre *selective inhibition*).

Tradicionalmente, ha sido la sincronía en banda *alpha* a la que se le ha atribuido un “state of inhibition (comparatively low excitability)” (Klimesch *et al.* 2007:64). Algunas observaciones comunes en pro de la hipótesis inhibitoria de un ritmo (v. Klimesch *et al.* 2007 para una revisión más exhaustiva) son: el incremento de sincronía durante la tarea cuando una respuesta debe ser retenida –esto es, inhibida de su ejecución inmediata–; la sincronía sobre regiones cerebrales supuestamente irrelevantes para la tarea en curso; la dificultad para resincronizar la actividad cerebral a bandas presumiblemente inhibitorias tras periodos de alta actividad; asumiendo que los procesos internos requieren más inhibición sensorial o *bottom-up*, un incremento de ciertas bandas en regiones posteriores durante este tipo de procesamiento de mayor nivel; una correlación negativa entre el poder del ritmo y la “tarifa” metabólica (*metabolic rate*), como reflejarían las señales BOLD; una correlación negativa entre la amplitud del ritmo y las descargas de las neuronas, etc.

A nivel mecánico, podemos resumir la inhibición del procesamiento por parte de un ritmo de dos maneras. Primero, que las oscilaciones imponen “pulsos” de inhibición a su propia frecuencia, interrumpiéndose así periódicamente el procesamiento (que podría requerir de ritmos más rápidos y actividad más continua) (v. Jensen y Mazaheri 2010, Mathewson *et al.* 2009). Segundo, las oscilaciones, al sincronizar las neuronas en un ritmo lento, pueden reducir sus disparos (v. Haegens *et al.* 2011). Si es en esos disparos donde se codifica la información, la reducción de los mismos supondría una pérdida de información y de la capacidad normal de procesamiento de las neuronas. Puede que, en realidad, ciertas bandas introduzcan unos patrones de actividad que son “antinaturales” para el procesamiento por efecto de la población. De hecho, la inhibición rítmica, esos pulsos, puede proporcionarlos cualquier banda oscilatoria. En otras palabras, la fase de cualquier oscilación modula el nivel de excitabilidad de las neuronas. Por ende, la inhibición puede naturalmente proceder de los periodos inhibitorios de las dinámicas de cualquier ritmo. Pese a todo, la función inhibitoria de ritmos no está mecánicamente

clara, mucho menos en su adjudicación a la banda *alpha*, y se basa en unas premisas que pueden ser objeto de debate (v. Palva y Palva 2007, 2011, v. § 7.1.3).

5.4.6 Enrutamiento dinámico y multiplexación.

Otra función proporcionada por las oscilaciones es el enrutamiento dinámico (*dynamic routing*) (Bosman *et al.* 2014). Las oscilaciones proporcionan el andamiaje temporal para evitar interferencias entre múltiples ensamblajes y procesos, segregándolos, y controlando el flujo de la información sobre un sustrato neuronal en común. Akam y Kullmann (2010) discuten que tareas con diferentes requisitos necesitan activar diferentes vías (*pathways*) hecho que se consigue cambiando de un estado asincrónico a un estado sincrónico (enrutándose así la información)³⁵.

Sin embargo, el potencial de codificación dentro de los ritmos cerebrales es mucho mayor, especialmente cuando se tienen en cuenta múltiples frecuencias. Como indican Akam y Kullmann (2014:1), las oscilaciones proporcionan un mecanismo de multiplexación, “whereby multiple information streams share a common neural substrate”. El principal subtipo de multiplexación que nos ocupa en esta sección es la multiplexación por división de frecuencia, explotada en trabajos como Giraud y Poeppel (2012). La multiplexación por división temporal, representada por los modelos de Hasselmo *et al.* (2002) y Lisman e Idiart (1995) se discutirá en la siguiente sección.

El mecanismo de multiplexación por división de frecuencia consiste en segregar procesos y subredes en función de la frecuencia de la oscilación que los sostiene. Giraud y Poeppel (2012), por ejemplo, defienden que el habla se organiza en diferentes escalas temporales: los fonemas se discriminan a banda *gamma*; las sílabas, a *theta*; y los sintagmas, a *delta*. Por lo tanto, la capacidad de las estructuras cerebrales de oscilar a múltiples bandas simultáneamente permite (a las columnas corticales en el córtex auditivo) la decodificación de diferentes unidades al mismo tiempo, sin que haya interferencias.

³⁵ Para un modelo paralelo en que se da más importancia al mecanismo de multiplexación por división de tiempo, véase Murphy (2016b).

5.4.7 Codificación por fase y multiplexación por división de tiempo.

Las oscilaciones permiten evitar interferencias entre asambleas, lo cual incrementa el potencial de codificación de poblaciones de neuronas. Aparte de la multiplexación por división de frecuencia, el cerebro podría explotar la relación entre la fase de un oscilador en común y la actividad (oscilatoria) de un subconjunto de la población para discriminar asambleas. Este mecanismo se conoce más neutralmente como multiplexación por división de tiempo (*time-division multiplexing*) (Akam y Kullmann 2014).

El ejemplo más estudiado, inspirador y claro de codificación por fase nos lo proporciona la actividad de las células de lugar (*place cells*) con respecto al ritmo *theta* hipocámpico. La idea básica es que neuronas que codifican distintas posiciones disparan en diferentes fases del ritmo *theta* lento en que se incrusta su actividad. De esta forma, se puede segregar o multiplexar la información con neuronas que codifican posiciones ya recorridas disparando en la fase ascendente del ritmo *theta*, con neuronas que codifican la posición actual disparando en el pico del ritmo y con neuronas que codifican posiciones futuras disparando en la fase descendente.

Con más detalle, se explota la interferencia temporal entre las descargas de ciertas células y el ritmo de la población para codificar el espacio del mundo real. Es así como el cerebro traduce espacio en tiempo (Buzsáki 2006). En palabras de O'Keefe y Nadel (1978:197), "place units [or place cells] are those whose firing pattern is dependent on the location of the animal" y que no "not respond to any single stimulus in an environment". Como descubrieran O'Keefe y Recce (1993), las descargas de las células de lugar establecen una relación muy precisa y sistemática con respecto a la oscilación lenta (*theta*) sostenida en el complejo hipocámpico. El fenómeno se conoce como precesión de fase (*phase precession*):

"Our results show that the theta phase correlate of the place cells is not constant as the rat runs through the field, but changes in a systematic way. The first burst of firing consistently occurs at a particular phase of the reference theta, but each successive firing burst moves to a point earlier in the theta cycle. This precession of the phase correlates often continues throughout the field so that by the time the rat exits the field the phase shift may have moved through an entire cycle of the theta wave." (O'Keefe and Recce, 1993:318)

Más concretamente, la “particular phase of the reference theta” de arriba se corresponde con el pico de la oscilación (Dragoi y Buzsáki 2006). Para ilustrar la manera en que los disparos de la célula de lugar van sucediéndose sistemáticamente en ciertas fases de la oscilación, imaginaremos un ratón moviéndose en una pista unidimensional y la actividad de una célula de lugar con respecto al ciclo *theta*.

1. Cuando el sujeto entra en el campo de lugar, la correspondiente célula de lugar se descarga en el pico del ciclo *theta*.
2. En los ciclos siguientes, a medida que el animal avanza, los disparos de la neurona caen gradualmente a lo largo de la fase ascendente de la oscilación.
3. Cuando el ratón se encuentra en el centro, la neurona dispara en el valle de la oscilación.
4. En los ciclos siguientes, a medida que el animal se aleja del centro del campo de lugar, los disparos de la neurona empezarán a escalar la fase descendente de la oscilación.
5. Cuando el sujeto esté abandonando el campo de lugar, la neurona disparará cerca del pico de la oscilación (pero a casi 360° del pico inicial).
6. Finalmente, cuando se abandona el campo de lugar, la célula (casi) para de disparar. Si el sujeto vuelve atrás y cruza (desde cualquier dirección) el campo de lugar otra vez, el fenómeno volverá al punto 1.

Debido a cierto solapamiento entre los campos de lugar y a que la actividad de las células de lugar dura múltiples ciclos de la población, múltiples neuronas se descargan dentro de cada ciclo *theta*. Cada una de estas neuronas se descargará de acuerdo con el patrón descrito arriba. Por consiguiente, surgirá un orden entre la actividad de las células de lugar. En una suerte de mecanismo de compresión temporal (Buzsáki 2006, Skaggs y McNaughton 1996), el orden temporal comprimido a escala del ciclo *theta* puede representar el orden temporal en que se cruza en tiempo real cada lugar del mundo.

Las posiciones futuras (las que están por delante del animal en movimiento) son representadas por células que se descargan en la fase ascendente de *theta*; las posiciones del presente están representadas por las células que se descargan en el valle; y las posiciones pasadas (que está dejando atrás el animal) se codifican en la fase descendente del ritmo (Dragoi y Buzsáki 2006). En suma, las posiciones y su organización son codificadas en la fase de la oscilación.

Con todo, las células de lugar no sólo se descargan de acuerdo con los factores previos, sino que también oscilan, a una frecuencia dependiente de la velocidad de movimiento (Geisler *et al.* 2010). Las neuronas hipocámpicas, al oscilar ligeramente más rápido que la población, permiten que los picos de su propio ritmo se avancen con respecto al *theta* de la población (v. Burgess y O’Keefe 2011, Buzsáki 2006). Aparte,

cualquier diferencia temporal o en la fase no vale para segregar las asambleas que representan las posiciones, sino que los intervalos por los que se agrupa y separa la actividad de las células de lugar dentro del ciclo *theta* se corresponden con ciclos *gamma* (Lisman y Jensen 2013). Por razones de espacio, no se abundará más en estos detalles del mecanismo, pero es importante notar que cada población, que se descarga dentro de un ciclo *gamma* incrustado dentro de uno *theta*, representa una posición particular en el espacio.

5.4.7.1 Límites cognitivos.

El número de asambleas que pueden ser multiplexados podría depender del número de ciclos rápidos que caben dentro del ciclo lento. Esto puede ser un mecanismo que se encuentra también al servicio de otros dominios cognitivos, como la memoria (Buzsáki y Moser 2013). De hecho, esta hipótesis ganó en popularidad desde el modelo de la memoria de trabajo de Lisman e Idiart (1995), donde los ítems eran codificados por diferentes ciclos de una oscilación rápida incrustada en una lenta (v. Lisman y Jensen 2013). La hipótesis devino tan popular en parte porque explicaba de forma elegante la capacidad de la memoria, esto es, sus límites. Décadas antes, Miller definió el conocido como número mágico 7: existe un máximo de 7 ± 2 ítems que pueden ser almacenados en la memoria de trabajo. Uno de los méritos de Lisman e Idiart (1995) fue hacer evidente que este número mágico se corresponde precisamente con el número de ciclos *gamma* que pueden incrustarse dentro de un ciclo *theta* (v. Lisman y Jensen 2013). Esto significaría que hay límites cognitivos que dependen del potencial de la multiplexación descrita arriba, donde las ventajas de integración, ganancia y plasticidad neuronal determinan los milisegundos en que la fase se divide para la codificación. Más generalmente, los límites computacionales (del lenguaje) podrían estar constreñidos por los patrones que las oscilaciones pueden sostener, como se explica en § 12 (y en Ramírez 2014, 2015a).

5.4.8 Oscilaciones como creadoras de patrones rítmicos en los procesos.

Los ritmos cerebrales son también el mecanismo por el cual se regulan los patrones temporales de algunos procesos, así como su *output*. Esto es especialmente visible en los generadores centrales de patrones (*central pattern generators*, CPG), que

son circuitos que producen intrínsecamente actividad rítmica para controlar movimientos motores simples como respirar, digerir, caminar, etc. (v. Marder y Bucher 2001). A este respecto, se defiende que los CPG son capaces de producir ritmos a partir de un *input* tónico constante (Yuste *et al.* 2005) o con independencia de cualquier *input* externo que pudiera aportar información de fases o ritmos. En este último caso, todo lo que necesita un CPG es ser activado por neuromoduladores (v. Marder y Bucher 2001, Selverston 2010).

Como en el caso de las oscilaciones en general, los CPG dependen principalmente de la inhibición para su temporalidad, de las propiedades de las células individuales y de la arquitectura de la red (Marder y Bucher 2001). Algunos ritmos son dirigidos por células *pacemaker*, mientras que otros emergen de la cooperación en la población. De este modo, coherentes con estas similitudes entre CPG y oscilaciones cerebrales, Yuste *et al.* (2005) consideran que comparten rasgos fundamentales. En consecuencia, es posible que los CPG no sean un tipo tan especial de osciladores, sino más bien una clase de osciladores evolutivamente más anciana. Como discute Bosman *et al.* (2014), la evolución del cerebro es altamente conservadora, y reelabora algunos motivos básicos de los circuitos, más que construir otros nuevos. Al parecer, preservar los ritmos cerebrales puede ser una restricción en la evolución y el desarrollo del cerebro (Buzsáki *et al.* 2013). Por lo tanto, las nuevas funciones se construyen sobre mecanismos ancianos.

De la misma manera que los ritmos de los CPG se usan para controlar procesos motores y sus *outputs*, los ritmos en general podrían ser usados en la cognición. Dadas las coincidencias entre los CPG y los ritmos en mamíferos, parece altamente plausible que estos mismos mecanismos sean explotados también en la alta cognición (Yuste *et al.* 2005). En consecuencia, podemos entender que los ritmos cerebrales subyacen los patrones temporales de cualquier proceso cognitivo. Puede que los ritmos generen patrones en el *output* de los procesos que rigen sin importar si este último es de tipo motor o cognitivo y con independencia de si el origen es cortical o subcortical. De hecho, la cognición humana parece rítmica, como se hace evidente en las fases de la computación sintáctica (v. § 10). La visión de la sintaxis que se defiende en esta tesis puede considerarse, en parte, el producto o resultado de la temporalidad de las oscilaciones en un complejo entramado cortical y subcortical para la cognición de mayor nivel.

5.5 Conclusiones

En suma, las oscilaciones son un fenómeno que ocurre naturalmente en el cerebro por el cual parece regularse la sincronía entre neuronas y que puede ser computacionalmente útil. Las neuronas individuales pueden disparar rítmicamente potenciales de acción. Esto se debe a alteraciones en la distribución desigual de iones dentro y fuera de la célula, que causa un potencial de membrana sujeto a la actividad de múltiples canales iónicos capaces de abrirse, cerrarse y filtrar selectivamente. Este potencial puede alterarse despolarizándose (hasta alcanzar el umbral que lleva al potencial de acción) e hiperpolarizándose. Por tanto, las neuronas pueden encontrarse en tres estados: de escucha, al ser sensibles a la despolarización; de comunicación, cuando disparan; y de silencio, en el periodo refractario de hiperpolarización exagerada que sigue al disparo. Frente a un *input* constante y suficiente, las neuronas oscilarán a una frecuencia proporcional a la intensidad del *input*: cuanto mayor sea, más rápido se alcanzará el umbral para el potencial de acción y antes se podrá repetir el proceso (habiendo pasado por el periodo refractario). No obstante, la cantidad y tipos de canales iónicos hace que las neuronas respondan mejor en ciertas bandas.

A pesar de esta capacidad oscilatoria, las neuronas no se encuentran aisladas en el cerebro: sus interacciones son cruciales para los cambios en el potencial de membrana y las oscilaciones que se observan mediante EEG y MEG y se asocian luego a determinadas funciones cognitivas reflejan la actividad de grandes coaliciones de neuronas. En efecto, en la presente tesis se ha fijado una escala espacial generosa como nivel de análisis. En las poblaciones, las oscilaciones consisten en la sincronía rítmica entre neuronas. Dicha sincronía se entiende dentro de ventanas temporales en las que la actividad de una neurona o grupo de ellas tiene efecto sobre otra(s) (antes de que se disipen sus efectos). Las ventanas temporales, cuando se trata de oscilaciones a nivel de población, son más amplias; efectivamente, a menor frecuencia del ritmo, mayor será la cantidad de señales que se podrá integrar. La sincronía puede ser regulada por un balance entre la excitación y la inhibición, que dependen de la acción de los neurotransmisores de unas neuronas sobre otras (alterando el potencial de membrana). De hecho, los periodos de inhibición son esenciales para segregar la información. La inhibición proporciona de forma pulsátil periodos de silencio a las neuronas, de modo que cuanto mayor sea este efecto, más lenta será la frecuencia de la oscilación.

Así las cosas, tanto en el caso de las neuronas individuales como en el de las poblaciones, se producen periodos de escucha, comunicación y silencio. Cuando estos se alinean temporalmente, las poblaciones pueden oscilar a una. Esto se produce en distintos tipos de redes, cuyas propiedades son relevantes para la oscilación que emerge. En realidad, la hiperpolarización y la despolarización que ocurre a nivel neuronal está correlacionada con la inhibición y la excitación que ocurre en la interacción neuronal en poblaciones.

Las oscilaciones son la manera natural de obtener y regular la sincronía en el cerebro por su propio diseño. Aunque se haya argumentado que la sincronía es un requisito más básico para la comunicación entre neuronas, más que los patrones de las oscilaciones, estas no parecen computacionalmente superfluas. En esta línea, se han analizado mecanismos de menor nivel que pueden proporcionar los ritmos, donde se explota su temporalidad, sus interacciones (son posibles distintos tipos de acoplamiento) y la posible influencia en la comunicación y agrupación de neuronas. En estas interacciones, las oscilaciones emergen de poblaciones y constriñen su comportamiento de acuerdo con algunos principios básicos: la extensión del ritmo es inversamente proporcional a la frecuencia, determinadas estructuras generan determinados ritmos, los ritmos lentos dominan a los rápidos cuando se acoplan, etc.

Con la discusión de mecanismos concretos de menor nivel, se ha intentado demostrar que los ritmos no son epifenómenos ni efectos secundarios de un auténtico procesamiento subyacente y que trascienden, en definitiva, el ser un mero correlato de las funciones cognitivas estudiadas por métodos como EEG y MEG. De esta forma, se ha argumentado que las oscilaciones pueden influir en el umbral de despolarización de las neuronas. Las neuronas son sensibles a la coincidencia temporal de señales, por lo que los *inputs* sincrónicos son, por decirlo de algún modo, escuchados más fácilmente. Asimismo, el propio estado (oscilatorio) de la neurona puede modular cuánto se escuchará de esa señal, pudiendo resolver así posibles competiciones entre señales diversas (se beneficiará la que mejor alineación temporal tenga).

Esto favorece la formación de asambleas, es decir, grupos de neuronas que constituyen una representación o una (sub)red coherente y que se caracterizan por la actividad sincrónica. En este sentido, se ha defendido que las oscilaciones son capaces de ligar los diferentes rasgos que componen las representaciones de la misma forma que son capaces desligar los diversos nodos que componen una red mediante la sincronía o la

coherencia. La sincronía permite seleccionar o deseleccionar las neuronas que participan de la asamblea o del proceso. Aquellas cuya actividad esté mejor alineada temporalmente con la del resto serán integradas o seleccionadas; las que presenten un grado menor de sincronía, por el contrario, serán deseleccionadas. Aparte, las oscilaciones parecen tener la capacidad de reiniciar su propia fase, adaptándose así posibles patrones temporales de la señal que debe procesar (siempre dentro de unos límites).

Al margen, las oscilaciones también pueden inhibir el procesamiento normal de ciertas regiones. Para ello, se ha defendido que bastaría introducir un patrón temporal de actividad antinatural que impida el funcionamiento por defecto de la región. A este respecto, lo más o menos consensuado en la literatura es que ritmos lentos (normalmente *alpha*) proporcionan pulsos de inhibición excesivos, pero estos silencios, más breves o más largos, son un rasgo definitorio de toda oscilación.

Por otro lado, las oscilaciones pueden evitar interferencias entre asambleas, redes o procesos, como si abrieran canales temporales de comunicación independientes. Una forma de segregar la información (sobre un sustrato neuronal compartido) es usar diferentes frecuencias en las poblaciones relevantes; otra es valerse de distintos momentos de codificación (en relación a un ritmo más lento).

Finalmente, la temporalidad de las oscilaciones y sus interacciones puede subyacer a la temporalidad de patrones cognitivos o de comportamiento. Tal vez se trate de un reciclaje con la evolución de mecanismos para controlar otros procesos motores básicos o la cognición de menor nivel, que podría explotarse igualmente para la cognición de mayor nivel como es el caso del lenguaje.

Todos estos mecanismos pueden ser reducibles, con un esfuerzo de abstracción, a la formación de asambleas a distinta escala y al establecimiento de comunicación entre neuronas. No obstante, este movimiento reduccionista conllevaría una pérdida de capacidad explicativa. Volviendo al ejemplo del ordenador: no puede reducirse toda su actividad a 0 y a 1 si el objetivo es comprender el paso del *hardware* al *software*. Así como el diseño del propio *hardware* determina de qué se es capaz con esas señales, las propiedades de las neuronas y de las redes o conjuntos que forman determinan los ritmos (y mecanismos) de que son capaces. Es decir, diferentes estructuras proporcionarán diferentes ritmos. Y esto es la materia de § 6.

6 Dinámicas de las estructuras y conexiones cerebrales

En el presente capítulo se superponen sobre la red dibujada en § 4.5 las dinámicas analizadas en § 5. A diferencia de la presentación de § 5.4, donde me alejaba de un alto grado de concreción, aquí se tratarán estructuras concretas y ritmos concretos. En aquel momento, la distancia era necesaria a fin de no incurrir en demasiadas asunciones apriorísticas ni asociaciones prematuras a procesos cognitivos. El propósito ahora es ver qué ritmo o dinámicas caracterizan a las estructuras de § 4 para acercarnos luego a ritmos y a funciones más específicos.

Lo que cabe esperar es que la red esbozada en § 4.5, con sus estructuras y conexiones, sea coherente con las dinámicas dibujadas aquí. Es decir, las diferentes estructuras analizadas deberían generar diferentes ritmos y las diversas conexiones deberían estar respaldadas por la interacción de determinadas oscilaciones. Se verá que, en efecto, esto es así a grandes rasgos: capas superficiales de la corteza se caracterizan por ritmos *gamma*; capas profundas de la corteza se caracterizan por ritmos *beta*; diferentes regiones de la corteza lo hacen por diferentes dinámicas en función de las estructuras con las que conectan (el hipocampo, por *theta*; que el tálamo, por *alpha*; y que los ganglios basales, por *beta*). Sin embargo, cuando entremos en detalle, comprobaremos que las correspondencias no son de uno a uno y que son igualmente importantes las conexiones. Así, veremos que *beta* interrelaciona los ganglios basales y las regiones frontales de la misma manera que las conexiones, que *alpha* interrelaciona capas corticales profundas implicadas en la atención de la misma manera que el tálamo las interconecta, que los núcleos del tálamo tienen diferentes ritmos en función de las estructuras con las que conectan, etc.

6.1 A nivel cortical granular

En coherencia con la distinción cortical de láminas supragranulares e infragranulares (v. § 4.1.3), Maier *et al.* (2010) argumentan que también existe una frontera establecida por la L4 entre las capas superficiales y profundas en lo que respecta a las oscilaciones que se sostienen en la corteza. Estos autores muestran que se da una fuerte coherencia en las oscilaciones dentro de las capas SG y dentro de las capas IG; y que, sin embargo, no existe tal coherencia entre capas SG y capas IG.

6.1.1 Oscilaciones en láminas SG.

Por lo que respecta a las oscilaciones en las capas SG, Roopun *et al.* (2006, 2008) registran la presencia de *gamma* entre los 30Hz y los 70Hz en L2 y L3 y Maier *et al.* (2010) advierten que la amplitud de las oscilaciones *gamma* es mayor en las capas SG que en las IG. Más abajo en el espectro, Sun y Dan (2009) detectan ritmo *delta* en las capas SG L2 y L3, aunque este es un hallazgo menos común.

6.1.2 Oscilaciones en láminas IG.

A diferencia de en las láminas SG, Roopun *et al.* (2006) reportan oscilaciones *beta2* (20-30hz) generadas en L5, capa IG. Este ritmo *beta* es, además, independiente de la oscilación *gamma* de las capas SG. Prueba de ello es que si se secciona L4 y se impide la comunicación con las dendritas en capas más superficiales, *beta* se mantiene en las capas IG. Asimismo, el ritmo *beta* sobrevive si se bloquean los receptores cuyo bloqueo, valga la redundancia, lleva a la supresión de *gamma* en las capas SG. Además de *beta*, Sun y Dan (2009) identifican un ritmo *alpha* en las capas IG (v. también Buffalo *et al.* 2011).

6.1.3 Relación entre oscilaciones SG e IG.

A pesar de lo reseñado arriba, las oscilaciones de las capas SG e IG podrían no ser completamente independientes. En esta línea, se ha defendido que la concatenación del ritmo *gamma* superficial y del ritmo *beta2* profundo puede dar lugar a un tercer ritmo, *beta 1* (Roopun *et al.* 2008). Además, se ha observado que seccionar L4 lleva a un aumento de *gamma* superficial, lo cual sugiere que las capas IG pueden tener alguna influencia sobre la oscilación en las láminas SG (Roopun *et al.* 2008). No obstante, todo

lo discutido apunta a que existe una segregación de las dinámicas entre las diferentes láminas corticales. Asumiendo que estas dinámicas son responsables de mecanismos de interacción e integración de ensamblajes neuronales (v. § 5.4), cabe esperar una segregación funcional entre ritmos de las capas SG y las IG (v. Sun y Dan 2009).

6.1.4 Diferentes dinámicas en relación a la distinta conectividad (con estructuras subcorticales).

Las diferentes dinámicas en la corteza según la lámina ha llevado a autores como Buffalo *et al.* (2011) a pensar que la diferencia puede ser el reflejo de la comunicación con diferentes estructuras. En esta línea, Maier *et al.* (2010) remarcan que la división en capas profundas y superficiales de la corteza se correlaciona con la conectividad con estructuras subcorticales y corticales, respectivamente. En secciones posteriores veremos que las estructuras subcorticales son generadoras de ritmos lentos, que también pueden encontrarse en las capas corticales profundas con las que conectan.

6.2 A nivel de áreas o (sub)redes corticales

A macroescala, las oscilaciones también parecen caracterizar o mapear diferentes áreas (corticales) amplias o (sub)redes. De hecho, esto es lógico si las oscilaciones entrañan un mecanismo para enlazar redes neuronales distribuidas mediante la coherencia de su actividad (Palva y Palva 2012). Las oscilaciones que forman redes pueden observarse durante la actividad espontánea del cerebro o en reposo (Smith *et al.* 2009). Esta clase de redes ha pasado a conocerse como *resting state networks* (Brookes *et al.* 2011), cuyas fluctuaciones temporales (a diferentes escalas y visualizadas por métodos diversos) son coherentes con un mapeo de diversos sistemas funcionales (como la *default mode network* o la red de atención dorsal, v. de Pasquale *et al.* 2010).

Estudios basados en MEG y EEG, que registran una escala temporal prácticamente en tiempo real (de Pasquale *et al.* 2010, 2012, Brookes *et al.* 2011), sugieren que las áreas cerebrales oscilan preferentemente a determinadas frecuencias por sus propiedades biofísicas (v. § 3.3). Estas dinámicas “naturales” se manifiestan en la actividad espontánea, pero pueden ser también computacionalmente explotadas cuando el sistema se encuentra activo. Por ejemplo, Daitch *et al.* (2013) muestran que las correlaciones de actividad a banda *delta* y *theta* proporcionan un mapeo de redes

funcionalmente relevantes para la atención. Así, la red de atención dorsal emergería en forma de red oscilando a *delta* durante la atención endógena; mientras que las redes dorsal y ventral atencionales descansarían sobre *theta* durante la atención exógena. De forma similar, Brookes *et al.* (2011) ilustran la correlación de las dinámicas en la formación de diversas redes. Así, las oscilaciones *alpha* reflejan la red neuronal por defecto, la cual se conoce por presentar mayor grado de actividad cuando el sujeto está en reposo. En cambio, otras redes, como las frontoparietales, visuales, etc. parecen oscilar fundamentalmente a *beta*.

6.2.1 Coherencia con la hipótesis de las oscilaciones como mecanismos canónicos.

Recordemos que las oscilaciones pueden implementar mecanismos neutrales reclutados diferentemente por procesos distintos, formándose así redes transitorias en el tiempo. Así las cosas, asumir que hay una red que depende crucialmente de un ritmo cerebral (por ejemplo, la red neuronal por defecto de *alpha*) supondría aceptar que se trata de un sistema que se construye sobre un único gran mecanismo. No obstante, los procesos de la cognición de cierto nivel no son entidades monolíticas que pueden descomponerse en múltiples computaciones (v. § 8) y, en consecuencia, deben reclutar múltiples mecanismos a múltiples bandas.

Considerando las asunciones de Siegel *et al.* (2012) que adoptamos en § 3.3³⁶ es más consecuente seguir la hipótesis de Hipp *et al.* (2012), según la cual las frecuencias a las que oscilan las redes dependen de las estructuras que reclutan neutralmente. Siendo múltiples las estructuras y los mecanismos sobre los que se construyen los procesos cognitivos, cabe esperar que las redes descansen sobre múltiples ritmos.

En línea con esta neutralidad, Hipp *et al.* (2012) identifican tres patrones principales de conectividad, con *hubs* simétricos en ambos hemisferios, a banda *theta*, *alpha* y *gamma*. La actividad a banda *theta* se relaciona con el lóbulo temporal medial, donde se localizan estructuras del complejo hipocámpico que prototípicamente oscilan a *theta*. Las redes que reclutan esa estructura guardan relación con procesos de memoria, lo cual es igualmente compatible con el uso de oscilaciones *theta* en este dominio

³⁶ Las propiedades biofísicas de los circuitos determinan los mecanismos oscilatorios neutrales que contribuyen a diferentes procesos.

cognitivo (v. § 8.2.6). En el rango *alpha-beta*, Hipp *et al.* (2012) identifican la correlación de la actividad entre las cortezas parietal y temporal, y *hubs* secundario en las cortezas prefrontal y temporal. Estos *hubs* parecen actuar, primero, como *workspace* global, lo cual es coherente con la actividad talamocortical a banda *alpha* que seguramente integre cortezas de asociación a gran escala (v. § 4.1.1.1), y, segundo, como red de control, cosa que casa con la implicación de las oscilaciones *beta* de los ganglios basales y sus amplias conexiones con el sistema frontal de control ejecutivo (v. § 6.5). Por último, a pesar de que se observa mayor correlación en la corteza sensoriomotora, no parece darse una correlación global prominente a banda *gamma* (Hipp *et al.* 2012).

En definitiva, encontraremos correlaciones globales a determinadas frecuencias en determinadas (sub)redes, en función de las propiedades biofísicas de las estructuras que recluten y, en consecuencia, de sus dinámicas (Hipp *et al.* 2012). A grandes rasgos, cuando se recluten circuitos temporales e hipocámpicos, observaremos *theta*; cuando se haga lo propio con circuitos talamocorticales, se observará *alpha*; y cuando se recurran a circuitos frontales y estriatales, se encontrará *beta*. A priori, nada debería impedir que un proceso suficientemente complejo reclute múltiples estructuras y se caracterice por correlación de actividad a diferentes bandas en diferentes subregiones del sistema (si la presente tesis está bien encaminada, este sería el caso del lenguaje).

A este respecto, el trabajo de Wang *et al.* (2012) puede ilustrar la idea de la multiplicidad de ritmos en una misma red. Los autores definen una red visual talamocortical mediante BOLD y comparan el mapeo resultante con el que proporcionan los potenciales de campo local. Al hacerlo, ven que se da, efectivamente, una correspondencia, pero no se encuentran con un único ritmo, sino con varios: oscilaciones *gamma* locales, moduladas por oscilaciones por debajo de 20Hz, como *theta*, *alpha* y *beta* sostenidas en regiones distantes con las que se da un acoplamiento interfrecuencia (*cross-frequency*). Por consiguiente, debemos evitar interpretar de forma simplista estudios como los anteriores, que pueden sugerir que cada red oscilará a una banda única y específica. Esto significaría que se vale de un único mecanismo, lo cual va en contra de la complejidad de los procesos cognitivos (v. § 8 para una descomposición de dominios cognitivos en subprocesos). Es más, puesto que las interacciones entre oscilaciones aumentan el propio poder computacional (v. § 11), lo esperable es encontrar varias en los diferentes sistemas.

6.3 A nivel talámico

Las oscilaciones sostenidas en el tálamo son complejas y tienden a describirse en relación con las estructuras con las que los núcleos talámicos conectan y sincronizan su actividad. Con respecto a la corteza, se ha defendido que la función principal del tálamo es el control de las oscilaciones talamo-corticales (Huguenard y McCormick 2007, Salmann *et al.* 2012). Según Salmann y colegas, los núcleos de mayor orden del tálamo podrían establecer la sincronía necesaria para el flujo de información cortical. De hecho, hay ejemplos claros de oscilaciones generadas por el tálamo y sincronizadas posteriormente con la corteza. Este sería el caso de los *sleep spindles* (husos del sueño) más o menos a banda *alpha*, que ocurren durante el sueño, y requieren de la interacción entre los núcleos talámicos y el TRN, los cuales contribuyen a la sincronía a gran escala y reclutan grandes áreas corticales (v. Huguenard y McCormick 2007).

Sin embargo, nuestro interés aquí no se centra en estados cerebrales del sueño o la anestesia, ni se limita sólo a un único patrón que parezca muy específico del tálamo. A pesar de que se le atribuya típicamente el ritmo *alpha*, también se han detectado oscilaciones *beta* y *theta*. Aparte, parece que las capas corticales profundas, u otras estructuras subcorticales, pueden generar oscilaciones lentas por sí mismas (v. § 6.1.2) e imponerlas sobre el tálamo. Así pues, cuando analizamos las oscilaciones del tálamo, cabe preguntarse si las genera él mismo o si las hereda de fuera. Como veremos en las secciones subsiguientes, es una cuestión que, hasta donde sé, no permite una respuesta categórica.

Una idea elegante es que la complejidad de las oscilaciones talámicas casa con la riqueza estructural y conectiva del mismo tálamo. Los múltiples núcleos que lo constituyen y su especificidad en las conexiones corticales y subcorticales sugieren la posibilidad de que diferentes núcleos sostengan diferentes oscilaciones en función de las estructuras extrínsecas con las que conectan. Puede que las distintas dinámicas necesiten de la colaboración de varias estructuras, y, por ende, su origen no deba atribuirse a un único componente de la red. En realidad, esta hipótesis (de que múltiples núcleos oscilan a diferentes ritmos dependiendo de las estructuras con las que conectan) parece la más coherente con la idea de que el tálamo media en el flujo de la información en el cerebro. Si el flujo se lleva a cabo sobre diferentes oscilaciones lentas, el tálamo debería acoplarse, como mínimo, a los ritmos *theta*, *alpha* y *beta* de los que depende el tráfico de señales en el resto de regiones.

6.3.1 Oscilaciones de origen puramente talámico.

De acuerdo con Bazhenov y Timofeev (2006), hay oscilaciones que se generan en el tálamo y se transmiten a la corteza, como las *delta* y los *sleep spindles* (que se solapan en el rango de frecuencias con *alpha*) que se producen durante ciertas fases del sueño. Sin embargo, los ritmos que nos interesan son los que se producen en estado de vigilia. Cuando las oscilaciones en estado de sueño o anestesia se contraponen a las que se producen estando consciente y en la vigilia, se suele atribuir ritmos lentos a lo primero y ritmos más rápidos, como *beta* y *gamma*, a lo segundo (v. McCormick y Bal 1997).

Pese a ello, se han detectado ritmos lentos (como *alpha*) en el tálamo en sujetos despiertos. Por ejemplo, Roux *et al.* (2013) identifican un ritmo *alpha* talámico modulando la actividad a banda *gamma* de ciertas regiones. De hecho, en secciones subsiguientes se analizará la presencia de otros ritmos en redes talamo-corticales. Así pues, si bien es cierto que el tálamo es capaz de transmitir ritmos lentos a la corteza (en ciertos estados), también la corteza puede imponer ritmos lentos sobre el tálamo (v. Bazhenov y Timofeev 2006).

6.3.2 En relación con la corteza.

Se ha observado que las láminas L4 y L6 oscilan a *alpha* con más fuerza que las demás, que se influyen entre sí, y que este ritmo sufre un efecto mayor de la atención que otros (Bollimunta *et al.* 2011). Además, L4 y L6 presentan coherencia a banda *alpha* con el núcleo geniculado lateral, lo cual es especialmente sugerente cuando se tiene en cuenta que L4 es la principal receptora de *input* talámico y que L6 envía *feed-back* también al tálamo (v. § 4.2.1). Así las cosas, cabe preguntarse si el ritmo *alpha* talamocortical es generado por las capas profundas de la corteza y luego transmitido al tálamo, o viceversa, esto es, generado por el tálamo y heredado por la corteza.

A este respecto, Bollimunta *et al.* (2011) defienden, basándose en un análisis de *granger causalty*, que la corteza está generando efectivamente el ritmo *alpha* y transmitiéndolo a otras regiones corticales, pero que es capaz de hacerlo porque lo hereda del tálamo. Pese a ello, autores como Lumer *et al.* (1997) consideran que el tálamo es secundario en la generación de *alpha* en las capas corticales profundas. L5, por ejemplo, sería capaz de generar *alpha*, especialmente en regiones de mayor orden (Bollimunta *et al.* 2011). Así las cosas, no creo que los estudios permitan ser categórico sobre la relación entre las relaciones talámicas y las corticales. Más que apuntar a un origen

exclusivamente cortical o exclusivamente talámico, llevan a pensar en un término medio, en que quizás ambas estructuras puedan acoplar oscilaciones que podrían generar intrínsecamente, pero que tal vez se influyan entre sí.

6.3.3 Diferentes núcleos a diferentes ritmos en función de las conexiones.

Se han registrado oscilaciones *theta*, *beta* y *alpha* en el tálamo. Curiosamente, estos ritmos caracterizan múltiples redes, con las que determinados núcleos talámicos establecen conexiones. Así, las redes hipocámpicas, implicadas en la memoria, se relacionan con *theta* y el núcleo reuniens; las redes fronto-estriatales, implicadas en el control ejecutivo, se asocian a *beta* y al núcleo MDN; y, en cambio, las redes fronto-parietales, activas durante la atención, se asocian a *alpha* y al núcleo pulvinar. Por lo tanto, tiene sentido que determinados núcleos talámicos oscilen a una frecuencia coherente con la que caracteriza las regiones corticales y subcorticales con las que conectan.

6.3.3.1 El núcleo pulvinar y *alpha*.

Saalman y Kastner (2011) observan que el pulvinar regula las oscilaciones durante la atención, principalmente a banda *alpha* (en la que se incrustan oscilaciones rápidas a *gamma*). Tras un estudio de direccionalidad, se concluye que las oscilaciones del pulvinar influyen sobre las oscilaciones corticales en regiones como V4, mientras que la influencia de estas sobre el tálamo es débil (Saalman *et al.* 2012). Se propone así (Saalman *et al.* 2012, Saalman y Kastner 2013) que el pulvinar regula el tráfico de información en esa red talamocortical mediante oscilaciones (a banda *alpha*).

6.3.3.2 El núcleo mediodorsal y *beta*.

El MDN se ha considerado importante en la regulación de oscilaciones *beta*, implicadas en las funciones ejecutivas y la memoria de trabajo atribuidas a regiones frontales (Parnadeau *et al.* 2013, Buschman *et al.* 2012). Además, estas oscilaciones *beta* del MDN parecen relacionadas con las observadas en los ganglios basales (v. § 6.5.1), con los que el MDN mantiene fuertes conexiones. Por consiguiente, es posible que las oscilaciones *beta* registradas en el MDN sean fruto de una colaboración del tálamo con

los ganglios basales y las capas profundas de la corteza, en especial en regiones frontales (con las que se forman *loops* estriatales; v. § 4.4.4).

6.3.3.3 El núcleo reuniens y *theta*.

Una posibilidad es que el núcleo reuniens oscile a banda *theta* para mediar en el diálogo entre sistemas (medio)frontales y límbicos en procesos relacionados con la memoria. A pesar de que hay evidencia de un diálogo entre la corteza temporal y el lóbulo temporal medial en tareas de memoria a banda *theta* (Anderson *et al.* 2009), la evidencia de actividad oscilatoria que englobe el reuniens, el mPFC y el hipocampo es, hasta donde sé, muy pobre. Según algunos estudios, parece que o bien no hay apenas sincronía a banda *theta* entre las estructuras mediofrontales, el reuniens y el hipocampo (y estructuras relacionadas) (Morales *et al.* 2007); o bien que la sincronía que se consigue inducir entre el reuniens y el hipocampo ocurre a otras bandas del espectro, como *delta* (Zhang *et al.* 2012, v. también Casset *et al.* 2013). No obstante, autores como Salmann (2014) y Varela *et al.* (2014) plantean la hipótesis de que, efectivamente, el núcleo reuniens medie en la sincronía entre el mPFC y el hipocampo a banda *theta*. Creo que esta es la opción teóricamente más atractiva, si la hipótesis de la CTC es correcta: sin una oscilación lenta, como *theta*, estas estructuras distantes no se podrían comunicar adecuadamente.

6.3.4 El núcleo reticular talámico.

Recordemos que el TRN puede considerarse el mediador en el tráfico talamocortical. Si dicho tráfico descansa sobre oscilaciones (v. § 3.2.2), es razonable que el TRN pueda controlar las oscilaciones talamocorticales y, con ello, el flujo de información. El TRN tiene una alta actividad espontánea que inhibe tónicamente los núcleos de relevo del tálamo, aunque también puede desinhibirlos mediante la inhibición de sus propias neuronas reticulares (Saalman y Kastner 2011). La alternancia de la inhibición impuesta por el TRN y la excitación que este recibe por parte de las neuronas talamocorticales dentro de las ventanas temporales que siguen los periodos de inhibición pueden generar oscilaciones (v. Min 2010). Incluso cortando los aferentes, se ha visto que el TRN es una estructura capaz de generar oscilaciones *alpha* por sí misma. Aun así, el TRN puede oscilar más lento y más rápido que a banda *alpha*, como demuestran los *spindles* y frecuencias más bajas en estados de vigilancia baja, u oscilaciones *beta* y *gamma* en estados de mayor vigilancia (Huguenard y McCormick 2007).

El control de la actividad oscilatoria por parte del TRN puede ir más allá del que acostumbra a verse en funciones cognitivas, controlando el grado de sincronía talamocortical. En este sentido, se ha defendido (Huguenard y McCormick 2007) que el TRN puede jugar un papel clave en la prevención de la sobrecarga de la corteza. A pesar de que las conexiones locales en estos núcleos contribuyen a la sincronía por conexiones eléctricas, sus conexiones recurrentes e inhibitorias desincronizan químicamente las oscilaciones talámicas. De esta forma, previenen la hipersincronía de los sistemas talamocorticales (Huguenard y McCormick 2007). Este mecanismo puede ser una versión más cruda de la función general que hace el TRN, controlar el nivel de sincronía entre estructuras.

6.4 A nivel del complejo hipocámpico

A diferencia de la diversidad y complejidad de ritmos que encontramos en otras estructuras, como el tálamo, el hipocampo y las estructuras relacionadas se caracterizan por ser más homogéneas en sus dinámicas. Se podría decir que oscilan fundamentalmente a un único ritmo: *theta* (aunque con amplitud y fase variables por diversas estructuras, además de la presencia de *gamma* local) (Buzsáki 2002, 2006). Tanto es así que, de acuerdo con Buzsáki (2002), la coherencia a banda *theta* puede utilizarse para determinar un macrosistema funcional en las estructuras límbicas.

Para saber cómo y dónde se genera el ritmo en todo ese complejo de estructuras, es necesario distinguir entre generadores de corriente y verdaderos generadores del ritmo *theta* (Buzsáki 2002). Entre los generadores de corriente del hipocampo y estructuras relacionadas del sistema límbico se cuentan el subículo, la amígdala y las cortezas entorrinal, perirrinal y cingulada, pero estas estructuras son incapaces de sostener oscilaciones *theta* por sí mismas (Buzsáki 2002). Por el contrario, nos encontramos con múltiples generadores capaces de generar las oscilaciones *theta* (a las que luego se acoplarán estructuras como las recién comentadas).

6.4.1 Múltiples generadores.

Con el tiempo, se ha pasado de una visión simple, con pocos generadores, a una visión donde intervienen múltiples poblaciones de células. A este respecto, se pueden

distinguir generadores del ritmo externos al hipocampo, como el septum o la región supramamilar, y generadores internos, como las células piramidales del hipocampo.

6.4.1.1 Visión tradicional de generadores extrínsecos.

Un primer candidato a generador del *theta* hipocámpico es el septum medial. De hecho, fue la primera estructura a la que se atribuyó la generación del ritmo *theta*, ya que inactivarla parecía conllevar la desaparición del ritmo *theta* en el hipocampo y estructuras relacionadas (como se discutirá abajo, se reduce, no se elimina) (Buzsáki 2006). Un segundo candidato, conectado recíprocamente con estructuras del septum, es la región supramamilar (Buzsáki 2006).

Pese al origen externo al hipocampo, estas estructuras pueden necesitar de la contribución del mismo para generar *theta*. Es más, la idea tradicional de que el septum es un simple *pacemaker* se ha descartado y ha surgido una visión más compleja para la generación de *theta*. Actualmente, se cree que es importante la colaboración de los *inputs* entorrinales, las conexiones colaterales de CA3, las corrientes dependientes del voltaje en CA2, etc.

6.4.1.2 La colaboración de estructuras otras estructuras (intrínsecas).

También parecen participar en la generación de *theta* las capas superficiales de la EC, la región CA3, ciertas interneuronas del hipocampo y células piramidales del hipocampo y la EC. De acuerdo con Buzsáki (2002), las capas L2 y L3 de la EC pueden generar oscilaciones *theta* a las que se acoplan las regiones CA3, CA1 y el giro dentado. Además, parece haber un generador *theta* en CA3 (Buzsáki 2002) que solo requiere, mayormente, *input* del septum.

A menor escala, se ha analizado la contribución de determinadas células al *theta* del hipocampo (Buzsáki 2002). A este respecto, hay interneuronas GABAérgicas que tienen una conexión recíproca y bastante exclusiva con el septum medial, lo cual puede contribuir a la interacción en la generación de *theta*. Asimismo, hay otras interneuronas con propiedades intrínsecas que les permiten oscilar a *theta*, y que conectan con células piramidales de CA1 y dendritas distantes. Finalmente, se han identificado propiedades resonadoras de células piramidales del hipocampo a frecuencia *theta* y de células entorrinales en la capa L2 de la EC (v. Buzsáki 2006).

6.4.2 En relación con la corteza.

Las oscilaciones *theta* generadas en el hipocampo pueden transmitirse a la corteza (sin descartar que la misma pueda generarlas también). En esta línea, Siapas *et al.* (2005) muestran un acoplamiento entre el hipocampo y la corteza prefrontal medial a banda *theta*. Para definir la direccionalidad de la influencia o el origen del ritmo, esto es, para dilucidar si la oscilación *theta* se genera en el hipocampo y se transmite a la corteza, viceversa, o existe una colaboración bidireccional, se basan en el retraso de 50ms que se produce entre las oscilaciones *theta* del hipocampo y las de la mPFC. Puesto que las neuronas prefrontales se sincronizan con un pequeño retraso a la oscilación del hipocampo, cabe pensar que este es el generador del ritmo, heredado luego por la corteza.

Asimismo, Sirota *et al.* (2008) registran que las oscilaciones *theta* del hipocampo son capaces de modular las oscilaciones *gamma* que ocurren a nivel más local en regiones distribuidas de la corteza, como el mPFC y el área sensoria primaria. De ello infieren que los ritmos *theta* del hipocampo pueden gobernar la temporalidad de computaciones corticales locales, e integrarlas luego, lo cual puede ser necesario para procesos de memoria. De forma similar, Anderson *et al.* (2009) registran sincronía a banda *theta*, en una tarea de memoria, entre la corteza temporal y la prefrontal. Aunque exista una influencia bidireccional, parece que las oscilaciones de la corteza temporal influyen más sobre la actividad de la corteza prefrontal, que al revés. Consecuentemente, dada la sincronía entre el hipocampo y el mPFC y entre el hipocampo y estructuras temporales (con las que forma extensas conexiones, a través de la EC, v. § 4.3), parece lógico que el hipocampo esté detrás de la oscilación *theta* en múltiples regiones corticales, sincronizando circuitos a escala cerebral.

6.5 En los ganglios basales

La bibliografía apunta principalmente a dos ritmos en los ganglios basales: *beta* y *theta*. No obstante, es poco clara la génesis, extensión, función e interacción de estos ritmos. Por consiguiente, las conclusiones quedan lejos de ser categóricas. Dado que una discusión demasiado extensa de esta cuestión rompería la fluidez de la exposición, solo se esbozarán las ideas principales. Con respecto a *beta*, se intentará arrojar luz sobre el origen del ritmo, si es cortical o si tiene lugar en los ganglios basales. Se apuntará a la posibilidad de que colaboren varios generadores. Respecto a *theta*, se discutirá su relación

con estructuras límbicas y se cuestionará la función motora que suele atribuírsele por ser redundante con la defendida para el acoplamiento *theta/gamma* hipocámpico usado en la navegación (y la memoria) (v. § 8.2.6). Finalmente, se llegará a la conclusión tentativa de que diferentes *loops* de los ganglios basales pueden sostener diferentes dinámicas en función de las estructuras con las que conectan, una conclusión bastante similar a la que se llegó en el caso del tálamo (v. § 6.3.3).

6.5.1 *Beta*.

Como ocurría con el origen ambiguo de oscilaciones lentas talamo-corticales, o en el caso de la generación de *theta* en el hipocampo, parece que contamos con múltiples mecanismos para la generación de oscilaciones en circuitos de los ganglios basales. Además, tampoco queda clara la influencia o direccionalidad que puede tener cada uno de estos generadores con respecto a las estructuras con las que conecta y se sincroniza. De esta forma, queda por resolver si existen generadores corticales que imponen el ritmo *beta* sobre los ganglios basales, si, por el contrario, contamos con generadores en los propios ganglios basales, que podrían acoplar regiones corticales (o incluso límbicas, v. § 6.4), o si se trata de múltiples generadores que interactúan.

Hay tres hipótesis principales, y posiblemente complementarias, sobre el origen de las oscilaciones *beta* que encontramos en los bucles de los ganglios basales: en la corteza (v. Brittain y Brown 2013, Wilson 2014), aunque Nakhnikian *et al.* (2014) defienden la influencia del estriado sobre la corteza (v. Antzoulatos y Miller 2014); en el GPe-STN (v. Plenz y Kital 1999), y en el cuerpo estriado (v. Cannon *et al.* 2013). Puede que la hipótesis más elegante sea la de una colaboración de múltiples generadores, siendo tan necesarias la corteza como las conexiones subcorticales y a larga distancia que tiene (Cannon *et al.* 2013).

6.5.2 *Theta*.

Hay varios estudios en que *theta* y *gamma* se registran en los ganglios basales. Puesto que *gamma* es como la firma del procesamiento local en la mayoría de estructuras, no entraré a discutir su presencia. No obstante, el hallazgo de *theta* es más sorprendente, puesto que parece un ritmo funcional y estructuralmente muy relacionado al complejo hipocámpico (v. §§ 6.4 y 8.2.6). De hecho, los ganglios basales y el hipocampo se han considerado sistemas casi opuestos por algunos (v. Oberauer 2009, Ullman 2004).

Un dato relevante para aclarar la cuestión es que la función atribuida a *theta* en los ganglios basales se asocia a la actividad motora. DeCoteu *et al.* (2007b) registran *theta* en el estriado modulado por el comportamiento, especialmente durante la navegación. Defienden que este ritmo parece no estar correlacionado con oscilaciones en el hipocampo. De forma parecida, von Nicolai *et al.* (2014) detectan *theta* y *gamma* acoplados en el circuito sensoriomotor de los ganglios basales, modulados por el comportamiento motor y proporcionando el mecanismo de codificación por fase que prototípicamente se atribuye al hipocampo durante la navegación (v. § 5.4.7).

Por lo tanto, la función y mecanismos atribuidos al *theta* de los ganglios basales en los estudios precedentes son redundantes con lo atribuido a *theta* en el hipocampo durante la navegación y la memoria declarativa (v. Buzsáki y Moser 2013). Si la función depende de la estructura y la conectividad (v. § 3.1) y el hipocampo y los ganglios basales son tan diferentes a este respecto, es sospechoso que la función y el mecanismo oscilatorio que usan sean tan similares. Una posible explicación es que la presencia de *theta* en los ganglios basales se deba a la interacción con estructuras límbicas. De hecho, aquellos forman con estas un bucle en que se conectan estructuras frontales con hipocámpicas. Por lo tanto, la redundancia de *theta* en los ganglios basales y el hipocampo podría deberse a que ambas estructuras están interconectadas e interactúan. En esta línea, Tort *et al.* (2008) y DeCoteau *et al.* (2007a) muestran cierto acoplamiento a banda *theta* entre el estriado y el hipocampo en aquellas partes de la tarea más demandantes a nivel cognitivo.

6.5.3 Diferentes *loops* con diferentes dinámicas.

Una manera teóricamente elegante de cuadrar los ritmos de los ganglios basales con el conectoma diseñado en § 4 es que diferentes *loops* de los ganglios basales presenten diferentes dinámicas en función de las estructuras que conectan (Saalman 2014, Varela *et al.* 2014). Entonces, *beta* se encontraría en el bucle asociativo (v. § 4.4.4) y sería coherente con la presencia de este ritmo en regiones frontales implicadas en el control ejecutivo y *theta* en el bucle límbico sería coherente con su presencia en estructuras del complejo hipocámpico. En esta línea, Berke *et al.* (2004) y Thorn y Graybiel (2014) identifican diferentes dinámicas en diferentes circuitos de los ganglios basales. Por ejemplo, Berke *et al.* (2004) detectan un ritmo mu (8hz) en el circuito del estriado asociado a lo sensoriomotor y *theta* en el circuito más límbico que implica las áreas ventrales y mediales del estriado. Por su parte, Thorn y Graybiel (2014) registran

oscilaciones a 5hz en el estriado dorsolateral y a 10hz en el dorsomedial, conectado a la formación hipocámpica.

6.6 Conclusiones

En el presente capítulo se han analizado a macroescala las dinámicas (introducidas en § 5) que emergen de las estructuras y conexiones revisadas en § 4. Al casar ambos análisis, surge una imagen coherente. En síntesis, se ha visto que la división de capas SG e IG de la corteza se corresponde con ritmos *gamma* y *beta* (o más lentos), respectivamente. Sin embargo, la interacción entre las capas superficiales y profundas (también con un correlato anatómico) pueden resultar en el ritmo *beta1*. Asimismo, se comprobado que las diferentes áreas de asociación corticales, apuntadas en § 4.1.1.1, pueden caracterizarse por la predominancia de ciertos ritmos: *beta* en regiones frontales, *alpha* en parietales, y *theta* en temporales. No obstante, se ha discutido que una imagen en que un sistema o red se caracterice por un único ritmo es simplista, y que cabe esperar, en cambio, la colaboración de un mayor número de oscilaciones, que puedan proporcionar suficientes mecanismos para los diversos subprocesos del sistema.

En lo que respecta al tálamo, sus amplias conexiones casan con la función de regular las oscilaciones talamo-corticales, en colaboración con el TRN. A pesar de que suelen identificarse con *alpha*, se ha discutido que diferentes núcleos (de mayor nivel) se corresponden con diversas dinámicas: el reuniens oscilaría a *theta*, el MDN lo haría a *beta*, y el pulvinar a *alpha*. Estos ritmos, a su vez, son coherentes con los de otras estructuras con las que conectan (hipocámpicas, fronto-estriatales y parietales, respectivamente). Además, las amplias conexiones de las capas IG de la corteza con el tálamo se ha reflejado en la interacción de ambas estructuras para la sincronía de ritmos lentos.

Por otro lado, la riqueza estructural del complejo hipocámpico se ha correspondido con los múltiples generadores del ritmo *theta* que lo caracteriza. Este ha permitido identificar una suerte de macrosistema límbico, implicado en la memoria (v. § 8.2.2). La coherencia de oscilaciones *theta* en regiones temporales o la EC cuadra con el ritmo típico del hipocampo, con el que conectan, y la presencia de un único ritmo apoya la idea de que el hipocampo es una zona de convergencia más o menos homogénea de múltiples regiones.

Por último, en lo relativo a los ganglios basales, se ha comprobado que los diferentes bucles se pueden corresponder con diferentes dinámicas. Así, encontramos *beta* en el bucle asociativo, como esperaríamos si tenemos en cuenta la presencia de *beta* en la corteza asociativa frontal (especialmente en las capas profundas). Por otro lado, se encuentra *theta* en el circuito límbico paralelo, en correspondencia con el ritmo detectado en el hipocampo.

Podemos comprobar, por tanto, que, al superponer las dinámicas de este capítulo con la red dibujada en § 4, surge una imagen espacio-temporal coherente del cerebro a gran escala. Sobre ese diagrama habrá que identificar más adelante mecanismos generales (§ 7), utilizados en diversos dominios cognitivos (§ 8).

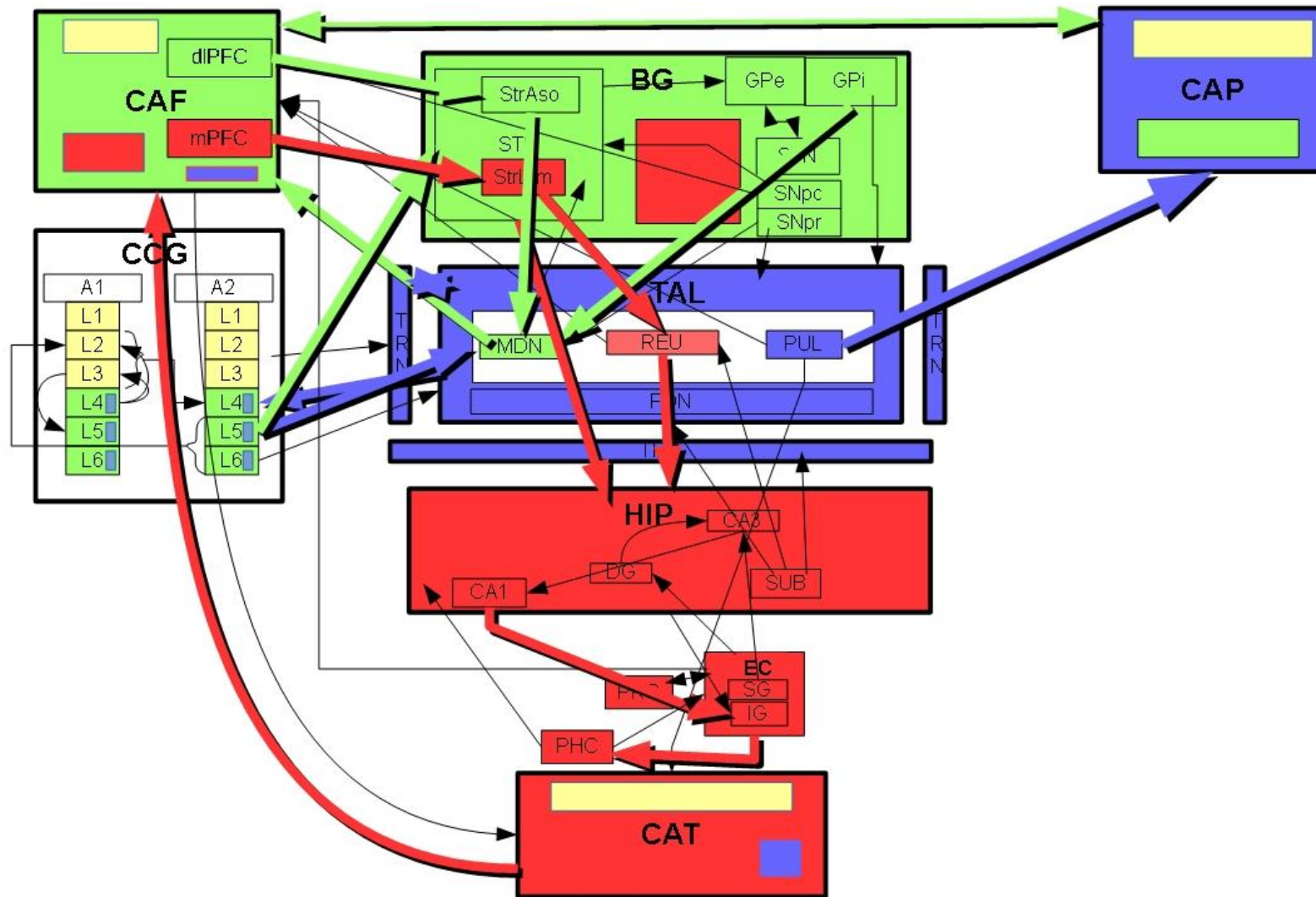


Figura 6-1 Dinámicas de las estructuras y conexiones cerebrales (dinoma): base oscilatoria sobre la que identificar mecanismos, lingüísticos o no.

Se emplean las mismas abreviaturas que en la figura 4.10 : área 1 –entendiéndose como tal inferior en la jerarquía del procesamiento cortical– (A1); área 2 –superior en la jerarquía del procesamiento cortical– (A2); *cornu ammonis* (CA); corteza de asociación frontal (CAF); corteza de asociación parietal (CAP); corteza de asociación temporal (CAT); corteza canónica granular (CCG); giro dentado (DG); corteza prefrontal dorsolateral (dIPFC); corteza entorrinal (EC); núcleos de primer orden (FON); ganglios basales (GB); globo pálido externo (GPe); globo pálido interno (GPi); hipocampo (HIP); infragranular (IG); lámina (L); núcleo mediodorsal del tálamo (MDN); corteza prefrontal medial (mPFC); corteza parahipocámpica (PHC); corteza perirrinal (PRC); núcleo pulvinar del tálamo (PUL); núcleo reuniens del tálamo (REU); supragranular (SG); parte compacta de la sustancia negra (SNpc); parte reticulada de la sustancia negra (SNpr); núcleo subtalámico (STN); estriado (STR); estriado “asociativo” –haciéndose referencia a la región del mismo que forma parte del bucle que conecta con regiones asociativas frontales– (StrAso); estriado “límbico” –porción del mismo que forma parte del que se considera el circuito paralelo límbico– (StrLím); subículo (SUB); tálamo (TAL); núcleo reticular talámico (TRN).

Cada estructura está pintada conforme a los ritmos que la caracterizan: amarillo para identificar las oscilaciones *gamma*; verde, para *beta*; azul, para *alpha*; rojo, para *theta*. Se usa un color principal como fondo de los cuadros que representan las estructuras identificadas en § 4. Además, se han superpuesto cuadros menores para identificar la presencia de otros ritmos que pueden hallarse en la estructura pero no predominan. La ausencia de un ritmo/color en una estructura no implica que sea imposible hallar ahí dicha oscilación: por ejemplo, aunque no se refleje en la figura hay oscilaciones *gamma* en la corteza entorrinal. Estamos, por tanto, simplificando de nuevo lo revisado previamente (como ocurría en § 4). También se han resaltado algunas conexiones con el fin de poner de manifiesto que hay coherencia entre conexiones y ritmos en las estructuras conectadas. No obstante, vuelve a tratarse de una aproximación, por lo que las conexiones seleccionadas no tienen por qué ser las únicas que establecen el acoplamiento de ritmos entre las estructuras respectivas. En cualquier caso, la figura precedente cumple con la función de esbozar un dinoma que sea elegante o armonioso con la mayor parte de la bibliografía y que aporte pistas sobre los mecanismos neurales que puede ofrecer cada estructura.

7 Mecanismos y sintaxis neuronal emergente

Hasta ahora, se ha diseñado una red espacio-temporal en la que se fundía el análisis del conectoma con el análisis del dinoma. Las dinámicas de esas estructuras proporcionan algunos mecanismos constitutivos de la cognición que ya han sido analizados desde un punto de vista neutral (v. § 5.4), esto es, desvinculados en la medida de lo posible de bandas específicas y de dominios cognitivos. Al elaborar la red dinámica sobre la que mapear el lenguaje en el capítulo previo, nos hemos encontrado con oscilaciones específicas en estructuras específicas, básicamente: *gamma*, *beta*, *alpha* y *theta* (*beta1* se discutirá en la tercera parte de la tesis por razones expositivas). La frecuencia es importante para definir el mecanismo que pueden proporcionar y las interacciones entre las oscilaciones, porque hay principios que rigen su acoplamiento donde la frecuencia es un factor relevante: las oscilaciones lentas dominan a las rápidas, estas últimas están más restringidas a regiones y operaciones locales, etc. (v. § 5.3). También se ha defendido que una sintaxis neuronal computacionalmente más potente emerge cuando interactúan los ritmos. Llegados a este punto, y siguiendo el recorrido definido en § 3 del cerebro a la cognición, en § 7.1 y en § 7.2 veremos, respectivamente, qué mecanismos proporciona cada uno de los ritmos y cómo interactúan entre sí generando relaciones temporales significativas computacionalmente.

7.1 Mecanismos o funciones generales de ritmos específicos

La asociación entre ritmos y funciones aquí realizada aspira a dar una visión general sin ánimo de sustituir las funciones de bajo nivel igualmente atribuibles a las oscilaciones (v. § 5.4) ni de cubrir exhaustivamente las asociaciones de ritmos y operaciones de ciertos dominios cognitivos (v. § 8). Se trata, pues, de una simplificación intencionadamente en la que se equipara determinado ritmo a determinada(s) función(es).

7.1.1 Gamma.

Las oscilaciones *gamma* se han asociado al procesamiento activo de la información (a nivel local) (Jensen *et al.* 2014). De hecho, la implicación de áreas en el procesamiento activo tiene como correlato un aumento de *gamma* y el acoplamiento al ritmo de los disparos de las neuronas locales. Las principales funciones de este ritmo son (v. § 5.4, Jensen *et al.* 2014): el BBS, en que se integran los rasgos que conforman las representaciones; la detección de coincidencia, un mecanismo de carácter más bien *feed-forward* que favorece la integración sináptica de señales sincrónicas; la ganancia de control, que en comunicaciones más bidireccionales favorece determinado proceso o representación a expensas de otras señales no sincrónicas; y la CTC, que puede interpretarse como una ganancia de control a mayor escala. Si bien parece haberse demostrado que funciones de bajo nivel como la CTC o la ganancia de control pueden estar implementadas por *gamma* (v. Siegel *et al.* 2012), parece que esta no es una función exclusiva del ritmo. Incluso puede que otros más lentos sean más aptos para implementar alguna de estas funciones, como la CTC entre regiones a larga distancia.

Dado que los susodichos mecanismos han sido abordados anteriormente, aquí priorizaremos la función de *gamma* más representativa y amigable desde un punto de vista cognitivo: la formación de representaciones. Para ella, se recurre al BBS (v. § 5.4.3.1), que consiste básicamente en la formación de asambleas neuronales (locales) (v. Buzsáki y Wang 2012), que son la base de las representaciones, por lo que *gamma* ofrece una respuesta potencial al *binding problem* (Gray *et al.* 1989, Engel y Singer 2001) al sincronizar la información diversa que acaba constituyendo un objeto único. A pesar de que estas asambleas a banda *gamma* suelen considerarse de carácter sensorial, las representaciones pueden ser también más internas (Buschman *et al.* 2012, Jensen *et al.* 2014). En esta línea, en estudios de memoria de trabajo se ha observado que *gamma* aumenta con el número de representaciones que deben mantenerse, sosteniéndose las mismas el tiempo que reverbera la actividad de la asamblea (v. § 8.2.6), por lo que es un ritmo activo en la cognición de mayor nivel.

7.1.2 Beta.

Las oscilaciones *beta* suelen asociarse al sistema motor (Jensen *et al.* 2014). Por ejemplo, *beta* disminuye en anticipación al procesamiento sensorio-motor, lo cual podría sugerir que tiene un efecto inhibitorio de la respuesta motora; se correlaciona con el

intercambio de información entre la corteza motora y los músculos (van Elswijk *et al.* 2010), etc. Sin embargo, las asociaciones de *beta* a funciones motoras son demasiado específicas para representar el mecanismo general que se pretende desentrañar aquí y quedan demasiado lejos del procesamiento (lingüístico) de mayor nivel que se estudia en la presente tesis, donde *beta* parece ser funcionalmente relevante. En este sentido, la mejor hipótesis general sobre la función de *beta*, compatible tanto con las asociaciones del ritmo con el sistema motor como con la cognición de mayor nivel, es la de Engel y Fries (2010). De acuerdo con estos autores, *beta* se ocupa de fijar o de mantener el *statu quo*. Con ello se refieren a que el ritmo estaría implicado en el mantenimiento de una red o asamblea amplia, instalando un sistema en determinado estado. Desde un punto de vista sencillo, *beta* mantiene las representaciones el tiempo suficiente para que tengan lugar otros procesos, como la toma de decisiones (v. Donner *et al.* 2009).

7.1.3 Alpha.

La oscilación *alpha* se asocia mayormente a una función inhibitoria, pero una minoría ha objetado que podría no ser así y que tendría una función más activa (v. § 5.4.5). A continuación, se debatirá el asunto sin llegar a una conclusión que se decante categóricamente por una de las dos opciones (en realidad, puede que esta decisión no deba tomarse, y que el ritmo implemente dos mecanismos complementarios).

7.1.3.1.1 Inhibitoria.

La función atribuida al ritmo *alpha* ha ido variando a lo largo del tiempo (Jensen *et al.* 2014). Se partió de la hipótesis de que prácticamente carecía de función, puesto que se observaba en sujetos que no realizaban ninguna tarea. Más tarde, Adrian (1944) apuntó a que *alpha* reduciría la actividad neuronal: en una tarea donde la atención se desviaba de lo visual a lo auditivo, se observaba que *alpha* aumentaba en las regiones más posteriores, donde se asume que se lleva a cabo el procesamiento visual básico, desatendido en ese punto de la tarea. Luego, Ray y Cole (1985) notaron un aumento de *alpha* cuando se prestaba atención a la información interna, en vez de sensorial, presumiéndose que *alpha* reduciría esta última (Jensen *et al.* 2014). Se han ido acumulando, así, estudios que sugieren que la función de *alpha* es inhibitoria porque reduce la actividad neuronal. En este sentido, su presencia implica que el disparo de las neuronas se acople a la fase del ritmo, pudiendo reducir la tasa de disparo (v. Bollimunta *et al.* 2008); en contraposición

el aumento de disparos (en regiones sensoriomotoras) se acompaña de una reducción de *alpha* (Haegens *et al.* 2011). Se ha identificado también una correlación negativa entre el poder de *alpha* y *gamma* (un ritmo rápido que podría servir para implementar el procesamiento de información local, Spaak *et al.* 2012) y una correlación negativa entre la señal BOLD y *alpha*. En fin, parece que *alpha* inhibe la computación de la región donde se establece.

Con todo, tal función inhibitoria choca, a primera vista, con la observación de que en estudios de memoria de trabajo *alpha* aumenta al incrementarse la carga (Jensen *et al.* 2014). Una interpretación poco común de ello es que *alpha* está activamente implicada en el procesamiento.; de hecho, Palva y Palva (2007) sugieren que *alpha* se ocupa del mantenimiento activo de las representaciones de memoria. Por el contrario, otros sostienen que su función es la de la inhibición activa (de regiones posteriores) que interferiría o distraería en el procesamiento (Klimesch *et al.* 2007). En esta línea, Jensen *et al.* (2014) aducen que, en tareas de memoria de trabajo, se detectaba un aumento del ritmo cuando se predecían distractores. Aparte, en estudios de la atención (Worden *et al.* 2000), *alpha* se reduce en el hemisferio contralateral al lado al que se dirige la atención y aumenta en el ipsilateral, por lo que se interpreta que *alpha* está inhibiendo el procesamiento en el hemisferio no atendido.

7.1.3.1.2 No inhibitoria.

A pesar de que la función inhibitoria de *alpha* cuenta con el mayor consenso, hay estudios que apuntan en la dirección opuesta. Por ejemplo, algunos relacionados con la detección de estímulos (Busch *et al.* 2009, Dugué *et al.* 2011, Bonnefond y Jensen 2012) sugieren que la fase de *alpha* habilita ventanas temporales para su detección y procesamiento. La interpretación de los datos puede ser doble: *alpha* está imponiendo silencios donde el procesamiento no es posible (Jensen *et al.* 2014); o bien *alpha* está abriendo entre esos silencios periodos de escucha donde el procesamiento es posible y favorecido por la sincronía (v. § 8.4.7 sobre la importancia de este mecanismo para la consciencia). De hecho, la mayoría de estudios que consideran *alpha* un ritmo inhibitorio se basan en los efectos que la amplitud del ritmo tiene sobre la actividad neuronal de la región, pero no en los efectos que la fase tiene sobre ella. Si bien es cierto que la fase de *alpha* impone ciclos de inhibición o baja excitabilidad, esto es una característica definitoria de los ritmos cerebrales en general, sin importar cuál sea su banda. Por lo tanto, cualquier ritmo debería ser capaz de inhibir transitoriamente la actividad de la región,

siendo la única variable cuán rápido esto se produjera. Por ejemplo, a banda *delta*, los pulsos de inhibición ocurrirían cada 200ms aproximadamente, mientras que a banda *gamma*, sucederían cada 25ms.

Así pues, que la fase de *alpha* esté imponiendo periodos de silencio significa que también está abriendo periodos de mayor excitabilidad neuronal entre ellos. Entonces, la sincronía en la actividad podría facilitar el procesamiento. Por todo lo dicho, puede que *alpha* juegue un papel más activo o menos inhibitorio en el procesamiento de lo que se suele asumir. Según Palva y Palva (2007, 2011), el acoplamiento de *alpha* con otros ritmos más rápidos muestra que *alpha* no se interpone en el procesamiento llevado a cabo por los mismos, sino que contribuye a organizarlo y a poner en comunicación las representaciones que requieren de mecanismos de oscilaciones más rápidas. Mi intuición es que, cuando *alpha* inhibe, no lo hace de una forma específica (y misteriosa) determinada por su propia banda, sino que en determinada región y para determinado procesamiento se convierte en un ritmo “antinatural”, cuyas dinámicas van en contra de las que se requieren para el procesamiento normal de la región (posiblemente más rápidas) (v. § 5.4.5). En otros casos, por el contrario, la temporalidad de *alpha* puede ser explotada mecánicamente para poner en comunicación el procesamiento entre regiones, seleccionar las asambleas relevantes, etc. (v. la propuesta sobre el *ensamble* en § 9.2).

7.1.4 Theta.

El mecanismo prototípico del ritmo *theta* del hipocampo es la codificación por fase. No obstante, en él suele darse la interacción de múltiples ritmos, de modo que no queda tan clara la contribución exclusiva de *theta* al mecanismo. Para que el *phase coding* sea efectivo, las diversas regiones implicadas deben contar con información sobre la fase de *theta* (Jensen *et al.* 2014). La sincronía a banda *theta* puede estar, pues, acoplando regiones distintas y marcando la temporalidad del procesamiento que deben compartir. Así pues, es posible que *theta* sirva, de modo más general, para intercomunicar y favorecer el intercambio de información entre regiones (distantes) y modular su procesamiento más local (lo primero sería una instanciación de la función de la CTC).

En línea con esta hipótesis, el *theta* del hipocampo se acopla a la corteza prefrontal (Siapas *et al.* 2005), los ganglios basales (Tort *et al.* 2008) y la amígdala (Battaglia *et al.* 2011). Incluso se ha detectado *theta* en comunicaciones cortico-corticales entre V4 y la corteza prefrontal durante el mantenimiento de memoria de trabajo (Liebe *et al.* 2012).

Aparte, en el *phase coding*, *theta* no sólo comunica regiones, sino que ejerce una función moduladora de ritmos más rápidos y de la actividad de las neuronas que los sostienen. Por ejemplo, el ritmo *theta* modula la amplitud *gamma* en el hipocampo y la fase de *theta* determina el momento en que encontramos *gamma* (Colgin *et al.* 2009). Por consiguiente, *theta* podría regular la actividad de las regiones que acopla, especialmente en su dimensión temporal, gobernando procesos de menor nivel (y ritmos más rápidos).

7.2 Un anticipo de la sintaxis neuronal

Los ritmos analizados, *gamma*, *beta*, *alpha*, y *theta*, no ocurren de forma totalmente independiente, sino que interactúan. Al hacerlo, deben obedecer los principios de la sintaxis neuronal. De esta forma, se establecen relaciones computacionalmente útiles, que proporcionan más mecanismos, y que pueden subyacer a la naturaleza temporal del procesamiento a un nivel más cognitivo. A continuación, se discutirá cómo se acoplan y jerarquizan los ritmos, con los lentos dominando los rápidos; qué unidades o clases de representaciones dentro del marco de la sintaxis neuronal pueden proporcionar; cómo las propiedades temporales de los ritmos se corresponden con las propiedades temporales de las operaciones y su producto, en el sentido de que ritmos a mayor frecuencia estarán detrás de operaciones y elementos más frecuentes en la estructura oracional; cómo las interacciones entre ritmos deben tener un correlato espacial, esto es, las estructuras que generan cada ritmo deben estar anatómicamente conectadas; cómo las operaciones locales y globales de los ritmos deben corresponderse con las extensión que estos pueden abarcar; cómo las relaciones temporales entre los ritmos puede explotarse mecanísticamente y reflejar propiedades que podemos encontrar, en última instancia, en la estructura sintáctica; y cómo los límites de estas interacciones en la sintaxis neuronal pueden explicar límites cognitivos.

Los ritmos analizados, *gamma*, *beta*, *alpha*, y *theta*, no ocurren de forma totalmente independiente, sino que interactúan. Al hacerlo, deben obedecer los principios de la sintaxis neuronal. De esta forma, se establecen relaciones computacionalmente útiles, que proporcionan más mecanismos, y que pueden subyacer a la naturaleza temporal del procesamiento a un nivel más cognitivo. A continuación, se planteará: cómo se acoplan y jerarquizan los ritmos; qué unidades pueden proporcionar; cómo las propiedades temporales de los ritmos se corresponden con las propiedades temporales de

las operaciones y su producto; cómo las interacciones entre ritmos deben tener un correlato espacial; cómo las operaciones locales y globales de los ritmos deben corresponderse con su extensión; cómo las relaciones temporales entre los ritmos pueden explotarse mecánicamente y reflejar propiedades que podemos encontrar en la estructura sintáctica; y cómo los límites de estas interacciones pueden explicar límites cognitivos.

7.2.1 Jerarquizando, acoplando y simultaneando los ritmos.

Puesto que los ritmos lentos (y globales) dominan a los ritmos rápidos (y locales), al establecerse una jerarquía los ritmos irían, en orden descendente, de *theta*, a *alpha*, a *beta*, a *gamma*. Además, cuando los ritmos interactúan, pueden darse diferentes tipos de acoplamiento: amplitud-amplitud, amplitud-fase, fase-fase (v. Buzsáki y Watson 2012). El acoplamiento amplitud-fase parece ser el más útil computacionalmente en el caso de ritmos a múltiples frecuencias y el que mejor alinea las fases receptoras y no receptoras de las oscilaciones. Además, en este acoplamiento la actividad a bandas lentas modula la actividad a bandas rápidas, de modo que se asumirá que este es el caso en la interacción de los ritmos que nos ocupan.

Aparte, dado que los ritmos son computacionalmente más potentes cuando interactúan y que la interacción entre ritmos es una característica común en los estudios de neurociencia cognitiva, en el modelo de la presente tesis se asumirá que (generados antes o después) los diversos ritmos acaban teniendo lugar simultáneamente para poder sacar el máximo partido a las relaciones temporales que se establecen entre ellos. Por todo lo dicho, si pudiéramos en relación los cuatro ritmos respetando la sintaxis delineada arriba y le añadiéramos una distinción en *beta*, entre *beta 1* y *beta 2*, que se incorporará más adelante, obtendríamos algo como lo representado en la siguiente figura, basada de Ramírez (2014). No obstante, el propósito de la misma es ilustrativo, tratándose de una simplificación³⁷: en figuras que representan mejor el modelo, se incluirían múltiples

³⁷ También es una idealización en el sentido de que el acoplamiento, en realidad, no sería neto como señala uno de los revisores (aun pudiendo ir regulándose el sistema mediante reinicios de fase, etc), pero es un factor que habría que contemplar en experimentos, sin haber necesidad de considerar esos ajustes cuando en el modelo de la presente tesis no se explotan computacionalmente.

ritmos *beta 1*, *beta 2* y *gamma*, por lo que los mismos no constituyen un continuum único como podría interpretarse de la figura siguiente.

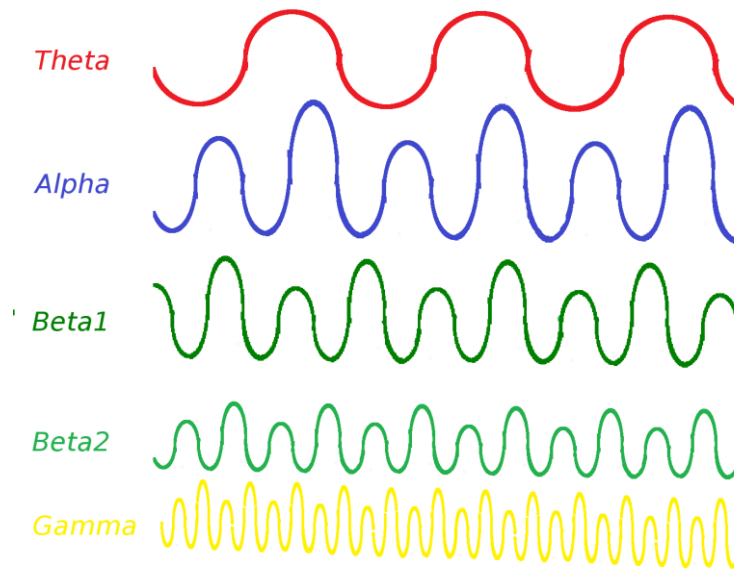


Figura 7-1 Jerarquía de ritmos del presente modelo.

7.2.2 Identificando unidades: letras/rasgos, palabras, conjuntos y f(r)ases neuronales.

Es en una jerarquía de esta clase, aunque más simple, donde Buzsáki (2010) identifica las letras, palabras y frases de lo que sería una sintaxis neuronal. En su caso,

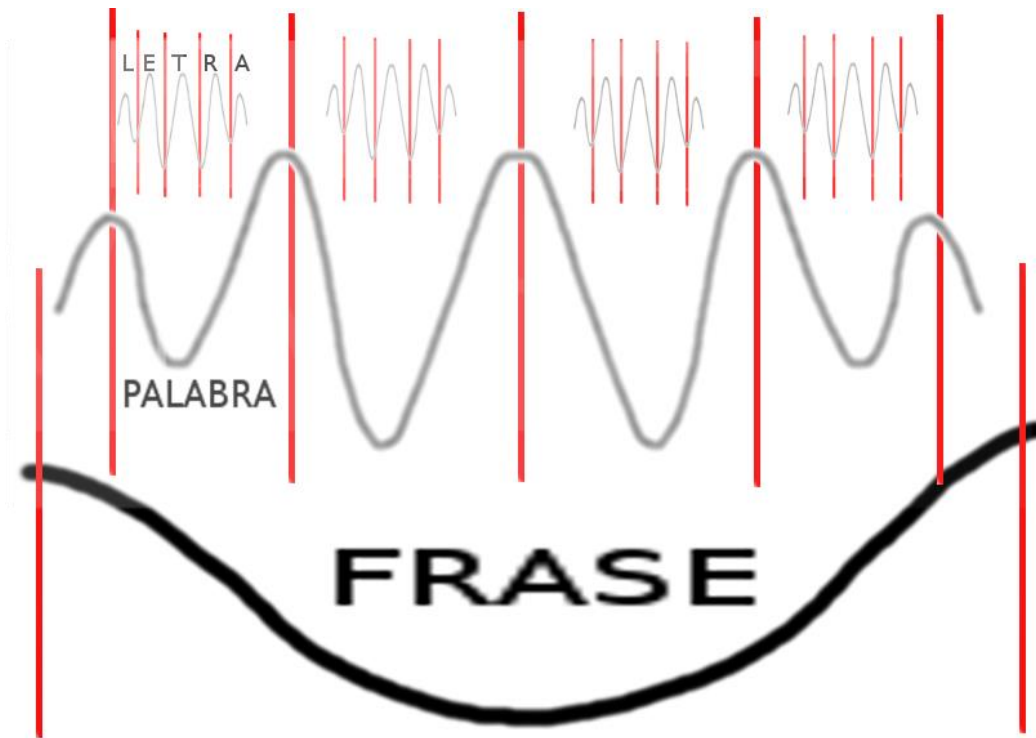


Figura 7-2 Letras, palabras y frases neuronales, basadas en los textos y figuras de Buzsáki (2010), Buzsáki y Watson (2012), y Buzsáki y Moser (2013).

Si la sintaxis lingüística se construye sobre la sintaxis neuronal, en la jerarquía de arriba también deberíamos poder identificar, más o menos, los diversos elementos que constituyen las estructuras sintácticas. A pesar de que este paso cobre más sentido en la tercera parte de la tesis, donde se propone una implementación clara para cada mecanismo, anticipar la idea general puede ser útil ahora. Recuérdese la asociación de colores y ritmos: amarillo representa *gamma*; verde claro, *beta 2*; verde oscuro, *beta 1*; azul, *alpha*; rojo, *theta*.

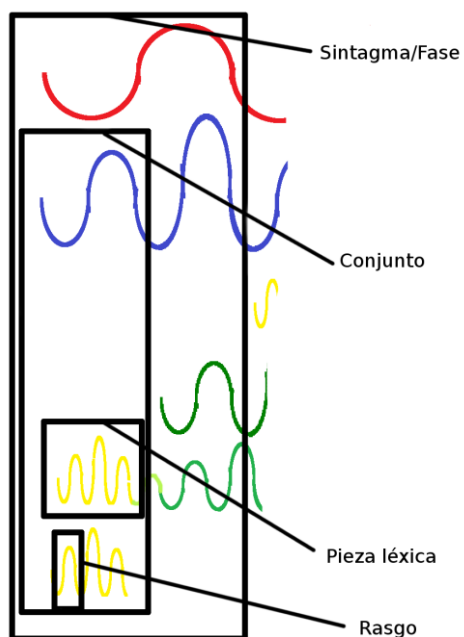


Figura 7-3 Algunas unidades en la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.

En la figura de arriba, se diferencian rasgos (ciclos *gamma*), palabras de distinta categoría (oscilaciones *gamma* y *beta*), conjuntos (*alpha*) y constituyentes mayores, sean fases y/o sintagmas (*theta*) (v. §§ 10-11). Nótese que al contar con mayor riqueza en la sintaxis neuronal que en Buzsáki (2010), podemos identificar más elementos. De hecho, en § 11, donde se explica el proceso derivacional en forma de oscilaciones y su desarrollo temporal, se identificarán más unidades, como los núcleos y los bordes, de lo cual damos ahora un mero anticipo.

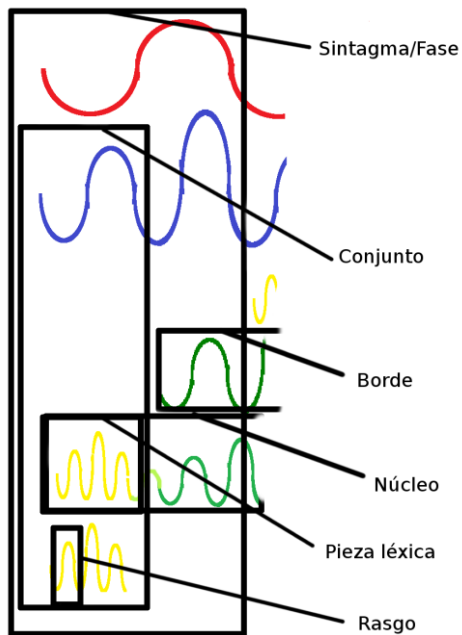


Figura 7-4 Un anticipo de casi todas las unidades de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.

7.2.3 Correspondencia en la temporalidad del ritmo y la frecuencia de unidades y operaciones que identifican.

En el modelo de la presente tesis, se da cierta correspondencia temporal entre la frecuencia del ritmo y la frecuencia con la que, en el proceso derivacional, se aplican los mecanismos que generan la estructura (así como la frecuencia con que se encuentran elementos que surgen de ello) (v. Giraud y Poeppel 2012, Boeckx 2013). Para ilustrarlo, imaginemos que estamos generando una oración. En el proceso derivacional, hay operaciones que se producen con más frecuencia que otras. Por ejemplo, la operación de *selección* será más frecuente que la de *transferencia*, puesto que la primera da lugar a piezas léxicas y la segunda a fases (v. § 10). Aunque, por razones expositivas, nos centramos aquí a *transferencia* y *selección*, la misma lógica debería ser aplicable al resto de mecanismos y de elementos de la oración, como el predominio o mayor frecuencia de *ensamble* sobre la *transferencia*, o el menor número de constituyentes formados por *ensamble* que de piezas que los constituyen (siempre y cuando tratemos de forma unitaria las cadenas desencadenadas por el movimiento). De igual forma, el producto de la aplicación de esas operaciones aparecerá con distinta frecuencia en la oración. Dichos, llanamente, palabras tendremos muchas, pero fases tendremos menos.

En el modelo de la presente tesis, la asociación de ritmos a ciertos mecanismos y a los elementos que surgen de ello es coherente temporalmente. Así, se propondrá que los elementos frecuentes en la oración son producto de ritmos rápidos y que los elementos infrecuentes son producto de ritmos lentos. Por ejemplo, no tiene sentido que si la transferencia y las fases son menos frecuentes, las atribuyamos a un ritmo de una frecuencia rápida, y que si las piezas léxicas son más frecuentes, atribuyamos su formación a un ritmo lento. De hacerlo, nos sobrarían fases y nos faltarían palabras. Por lo tanto, es lógico pensar que la transferencia sea un ritmo lento, que gobierna otro menor y que ocurre menos veces, y que la formación de palabras ocurra con un ritmo más rápido y más veces. Además, los ritmos lentos pueden albergar diferentes ritmos rápidos, de modo que la cantidad o diversa naturaleza de los ritmos que se incrustan puede guardar relación con la cantidad de elementos (diferentes) que podemos encontrar en ciertos constituyentes. Un modelo desarrollado para la fonética y que comparte esta propiedad, con los fonemas oscilando a *gamma* y las sílabas a *theta* (v. § 8.1.3.3), es el de Giraud y Poeppel (2012).

7.2.4 Correspondencia espacial.

Las interacciones entre los ritmos deben reflejar las interacciones entre las estructuras que los generan, delineadas §§ 4 y 6. En consecuencia, las interacciones entre ritmos tienen que estar avaladas anatómicamente, es decir, deben existir conexiones que permitan la interacción de las estructuras que los generan. Por ejemplo, cuando se proponga la implementación de *ensamble*, se defenderá que oscilaciones *gamma*, responsables de las representaciones, se acoplan con las oscilaciones *alpha*, responsables de integrarlas. Esto significará que, si las oscilaciones *gamma* predominan en las capas corticales superficiales y las *alpha* implican ciertos núcleos talámicos, estas diversas estructuras estarán interactuando. Para que esto ocurra, deben existir conexiones, como es efectivamente el caso entre las conexiones de la capa IV cortical (que conecta a su vez con las capas superficiales) con el tálamo, y del núcleo pulvinar con regiones corticales de asociación, como parte de la corteza parietal.

Aparte, existe una diferencia entre ritmos capaces de producirse dentro de una misma estructura y ritmos que necesitan de la colaboración de múltiples estructuras (v. Jensen *et al.* 2014). Diferenciamos así ritmos locales como *gamma* y *beta* de ritmos globales como *alpha*, *theta*. Esta dicotomía local-global casa con los retrasos de

conducción axonal: los ritmos rápidos sólo pueden abarcar poblaciones neuronales reducidas, mientras que los ritmos lentos pueden incluso sincronizar regiones a escala cerebral. Además, la dicotomía local-global cuadra con la función atribuida a los ritmos. En este sentido, por ejemplo, *gamma* suele ser la firma del procesamiento local, mientras que *theta* refleja la interacción entre áreas distantes. Por consiguiente, en el modelo desarrollado aquí las operaciones más locales y “sencillas” se corresponderán con ritmos más rápidos y locales, y las operaciones más “complejas” y globales se corresponderán con ritmos más lentos y globales. Igualmente, si una representación pasa a ampliar el número de neuronas que la componen, es posible que el ritmo *implicado* deba ralentizarse (v. Weiss y Mueller 2003). Este último es el caso de la categorización como núcleos, mediante *beta*, de algunas piezas a *gamma* (v. § 9.3). Se defenderá que la proyección consiste, entre otras cosas, en ampliar la información que contiene una representación. Para ello, se deberá añadir un mayor número de neuronas a la asamblea. Al ampliarse la asamblea, y por lo tanto la extensión espacial que debe cubrir el ritmo, se postulará que la oscilación *gamma* se ralentiza a *beta* (cuya implicación se justificará igualmente de manera independiente).

7.2.5 Explotación de relaciones temporales entre ritmos.

En las relaciones temporales que establecen los ritmos, se aprecian algunas propiedades que pueden ser computacionalmente útiles. Por ejemplo, entre *alpha* y *theta* se produce lo que se conoce como un acoplamiento de fase 2:1, lo cual significa que por cada dos ciclos *alpha*, nos encontramos con un ciclo *theta*. Si este tipo de relaciones temporales está llamada a reflejar la naturaleza del procesamiento, el modelo de la presente tesis debería sacar partido de ello. Efectivamente, esta relación 2:1 entre *alpha* y *theta* podría estar detrás de la alternancia de núcleos de fase y no-núcleos de fase, reflejada en la espina oracional (v. Richards 2011, Ramírez 2014) (no obstante, en § 10 se replantea la estructura oracional, integrando núcleos de fase y de sintagma).

Así pues, si *alpha* implementa *ensamble* y *theta* implementa *transferencia*, se infiere que hay momentos en que ambas coinciden y momentos en que *ensamble* tiene lugar en ausencia de *transferencia*. Aparte, si la transferencia es responsable de controlar la temporalidad de otros subprocesos, como la categorización de los núcleos (de fase) mediante *beta* (v. § 9.3 sobre la implementación de la proyección y § 10.4.2 sobre su relación con la transferencia), se podría explicar que haya piezas ensambladas que sean

núcleos (de fase) (cuando la fase de *alpha*, *theta* y *beta* coinciden) y que haya piezas que no lo sean (cuando la fase *alpha* no coincide con la de *theta*) (Ramírez 2014).

7.2.6 Límites.

Una propiedad universal de la actividad cerebral es que tiende a acoplarse naturalmente formando oscilaciones (Buzsáki 2006) y una propiedad de la sintaxis neuronal es que los límites en el acoplamiento o las interacciones de los ritmos pueden estar detrás de los límites cognitivos, o, mejor dicho, de las operaciones que dan lugar a la cognición (Buzsáki 2010). Así pues, en § 12 unificaremos estos dos principios argumentando que la tendencia natural de las oscilaciones a acoplarse limita el número de ritmos en la misma banda que puede haber en estructuras locales. Puesto que estos ritmos, como venimos apuntando, pueden servir para diferenciar tipos de unidades o representaciones (v. Weiss y Mueller 2003, § 8.1.3.3), el límite de ritmos que pueden sostenerse en estructuras locales podría estar detrás de constricciones lingüísticas como las condiciones de localidad.

7.3 Conclusiones

Se han revisado las funciones de los principales ritmos identificados en el dinoma, cómo interactuarían entre sí formando una sintaxis neuronal básica y cómo algunas propiedades de la misma pueden corresponderse con atributos de los mecanismos lingüísticos o las estructuras que generan (v. § 11). Las funciones atribuidas a los ritmos son compatibles con las atribuidas a las estructuras. A grandes rasgos, es lógico que: (i) *gamma* se ocupe del procesamiento más activo y local y la formación de ensamblajes que constituyen representaciones coherentes, considerando que la corteza es donde se atribuye prototípicamente el procesamiento de mayor nivel y que sus redes son de tipo *small-world* (v. Buzsáki 2006); (ii) *beta* sirva para mantener representaciones, dado que los ganglios basales y las estructuras frontales donde se encuentra el ritmo se han asociado a la memoria de trabajo (v. § 8.2.4); (iii) *alpha*, típico del tálamo y de regiones parietales (atencionales), se ocupe de bloquear o habilitar el procesamiento en regiones corticales, cuando el tálamo ejerce de mediador del tráfico en amplias redes talamo-corticales; y (iv) *theta* coordine el tráfico de información entre regiones distantes o gobierne su

temporalidad, tratándose de un ritmo lento que caracteriza el hipocampo, que parece conectado con la mayor parte de la corteza.

Cuando en la tercera parte de la tesis se proponga una implementación de los mecanismos (lingüísticos) en términos de oscilaciones, la función aparentemente más específica de cada uno de ellos deberá respetar la función general esbozada en § 7.1. De este modo, se postulará, simplificando ahora, que *gamma* sirve para generar representaciones, *beta* para mantenerlas, *alpha* para intercomunicarlas y *theta* para organizarlas y ponerlas en relación con otros sistemas. Asimismo, se respetarán y se sacará partido de los principios de la sintaxis neuronal, y se identificarán unidades sintácticamente relevantes entre las interacciones de los ritmos.

Así las cosas, si tratamos de fusionar el conocimiento sobre estructuras cerebrales de § 4 con el de las oscilaciones de §§ 5-6 y el de sus funciones, esbozadas en el presente capítulo, podemos identificar algunos mecanismos de la manera siguiente³⁸. Se resaltan las oscilaciones en las estructuras pertinentes, y se indica el mecanismo o la función general que pueden cumplir las dinámicas en los títulos de las figuras.

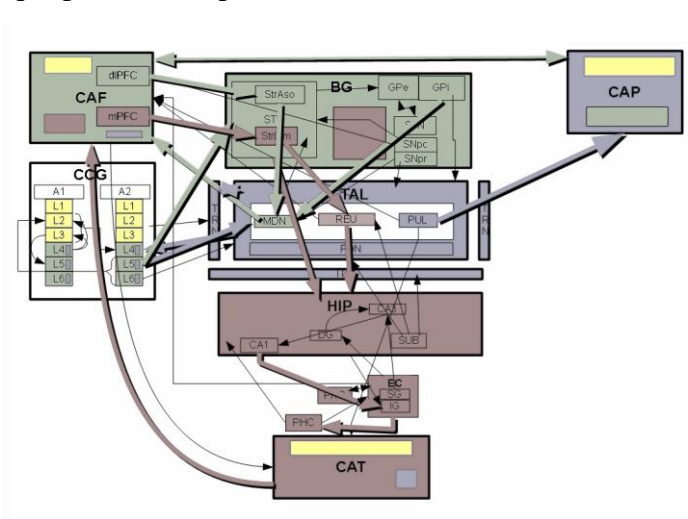


Figura 7-5 Gamma forma ensamblas (o representaciones) locales.

³⁸ Por razones expositivas, se simplifica y no se refleja la interacción de ritmos.

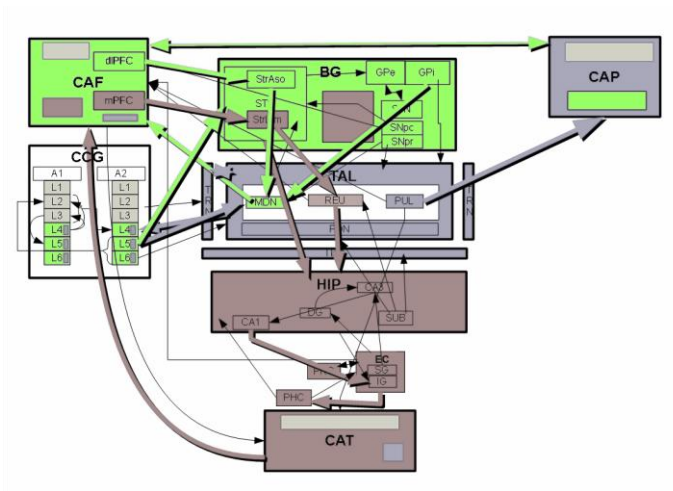


Figura 7-6 Beta selecciona y mantiene ensamblas.

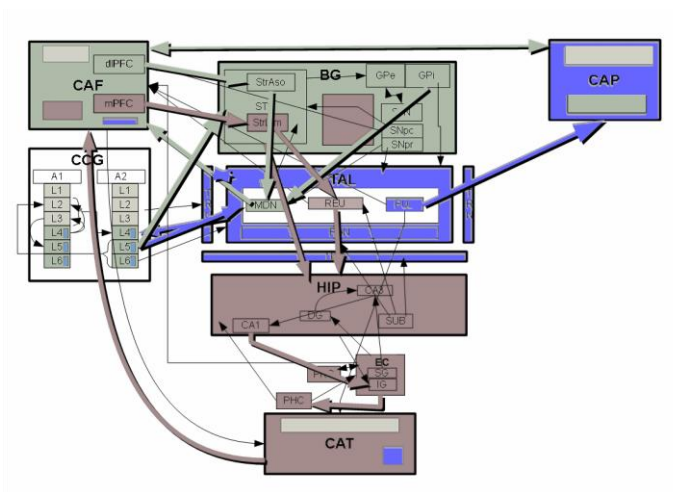


Figura 7-7 Alpha habilita o inhibe el procesamiento.

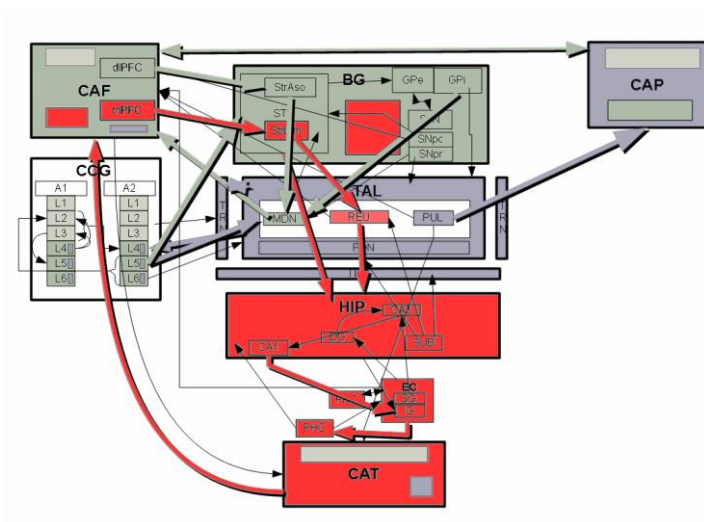


Figura 7-8 Theta organiza ensamblas e interconecta regiones.

En el siguiente capítulo se revisarán los diversos dominios cognitivos, se desglosarán en mecanismos y se verá qué ritmos los implementan y cómo interactúan entre sí, complementando coherentemente lo desarrollado aquí.

8 Dominios cognitivos

En este capítulo, se hará una revisión de los dominios cognitivos que componen la cognición de alto nivel basándonos en los que suelen contemplarse en los trabajos de neurociencia cognitiva: atención, memoria, consciencia, control ejecutivo y lenguaje. Al analizarlos, se irá de lo más general a lo más concreto, por creerse conveniente introducirlos primero, y se acabará priorizando los mecanismos en los que pueden descomponerse los dominios cognitivos para así poder interrelacionarlos, especialmente en el caso del lenguaje (v. Marr 1982 sobre múltiples niveles de análisis). Cuanto más nos adentremos en ellos, más iguales o interconectados nos parecerán (v. § 3.3 sobre la neutralidad de mecanismos). De esta forma, se allanará el camino para la integración del lenguaje en el resto de la mente, en contra de una visión excesivamente específica y modular. En la misma línea, la implementación de diversos mecanismos de la cognición propuesta por la neurociencia cognitiva (con las respectivas estructuras y ritmos implicados) servirá de referencia para la implementación de operaciones lingüísticas en la tercera parte de la tesis.

8.1 Lenguaje

La discusión pormenorizada de qué es el lenguaje se ha dado en § 2, por lo que aquí se irá directamente a las explicaciones neurolingüísticas, revisando el sustrato neuronal, los procesos que (se argumenta) tienen lugar en él y su temporalidad según los modelos de corte más “clásico” y los mecanismos oscilatorios explicados por una minoría. Con modelos clásicos, hacemos referencia a los más populares y deudores del modelo clásico Broca-Wernicke-Lichtheim-Geschwind, centrados en la localización espacial de funciones (específicas) y que reducen el análisis de la dimensión temporal a los *event related potentials* (ERP). Este tipo de modelos se contraponen a los que abordan las oscilaciones y que priorizan otros métodos de neuroimagen para dar cuenta de mecanismos. Finalmente, se realizará una crítica general, usando como contrapunto la visión personal del lenguaje (v. § 2) y la literatura de neurociencia cognitiva.

En lo referente a modelos clásicos, son numerosas las propuestas a gran escala del procesamiento lingüístico (v. § 8.1.2.1), pero la exposición que sigue se basará

principalmente en el modelo de Friederici (2002 et seq.), por ser considerarlo el desarrollo del modelo clásico que (mejor y) más cantidad de descubrimientos integra; porque en él se da una importancia inusual a la sintaxis, que hace justicia a la centralidad que este componente tiene según una concepción del lenguaje más o menos afín al generativismo, con la que comparto algunas ideas; porque la construcción de la estructura subyacente a las expresiones lingüísticas se concibe como un proceso gradual (lo cual es conciliable con el enfoque derivacional discutido en § 2.4); y porque estas fases del proceso se asocian con precisión a una dimensión temporal que tienden a ignorar los demás modelos clásicos (y que, de manera interesante, conecta con la temporalidad de los procesos atencionales; v. § 8.3.4).

En relación a esta dimensión temporal, normalmente reducida a ERP, cabe destacar los trabajos de autores como Bastiaansen, Weiss, Hagoort, Mueller, Pulvermüller, etc. (v. § 8.1.3) que sí incorporan, como fenómeno temporal más complejo y computacionalmente útil, las oscilaciones cerebrales. De este modo, se ofrece una explicación más mecanicista en la línea de lo que se hace en la presente tesis, constituyendo con ellos más la excepción que la regla si hacemos una comparación con la neurolingüística al uso. Sin embargo, la visión que se tiene del lenguaje en estos últimos modelos es excesivamente simple y las conexiones con otros dominios cognitivos, aunque existentes, escasas. Por consiguiente, se identificarán puntos fuertes y débiles en los modelos de todo tipo (v. § 8.1.4), usándolos como apoyo y desafiándolos o complementándolos en la tercera parte de la tesis.

8.1.1 Sustrato neuronal.

De acuerdo con Amunts y Catani (2014), el desarrollo del lenguaje podría depender de la especialización funcional de los lóbulos temporal y frontal del hemisferio izquierdo. En estas regiones encontramos las conocidísimas áreas de Broca (Broca 1861) y Wernicke (Wernicke 1874). Las mismas, junto con un posible enlace semántico/conceptual (Lichtheim 1885) que Geschwind (1967) localizara en la corteza parietal inferior, constituyen el clásico modelo Broca-Wernicke-Lichtheim-Geschwind, que lleva desarrollándose desde hace más de un siglo (v. Ben Shalom y Poeppel 2008). Las funciones que tradicionalmente se han atribuido a cada área son, a grandes rasgos: la comprensión a la de Wernicke, la semántica a la de Geschwind, y la producción a la de Broca.

A pesar de la antigüedad del modelo clásico, la mayoría de modelos actuales siguen construyéndose básicamente sobre las mismas estructuras (v. Ben Shalom y Poeppel 2008), las cuales aun hoy se identifican como el “núcleo” específico de la red del lenguaje (Fedorenko y Thompson-Schill 2014). Estas estructuras se oponen a otras regiones “periféricas” de dominio general, con las que dicho núcleo colaboraría transitoriamente. Sin embargo, en el desarrollo de la neurociencia el supuesto sustrato neuronal del lenguaje no ha permanecido del todo inmutable históricamente. Se han incorporado desde regiones corticales como la circunvolución frontal superior hasta estructuras subcorticales (Amunts y Catani 2014) que hasta hace poco se creía que jugaban un papel muy secundario en la cognición de alto nivel, pero que parecen implicadas en el procesamiento lingüístico (v. Koziol y Budding 2009). Además, el mapeo de las vías que conectan entre sí estas múltiples regiones ha ido ganando en complejidad. A pesar de que lo más preciso sería distinguir entre un par de vías dorsal y otro par ventral (Friederici 2011), predominan los modelos en que se diferencia solamente una vía ventral y otra dorsal (v. Hickok y Poeppel 2007), en parte, por motivos de parsimonia y por tratarse de un patrón de organización cortical común en otros sistemas, como el visual³⁹.

8.1.1.1 Área de Broca.

El área de Broca abarca las porciones opercular (BA 44 aprox.) y triangular (BA 45 aprox.) del giro/circunvolución frontal inferior. Funcionalmente, el BA 45 se asocia más al procesamiento semántico, mientras que el BA 44 se usaría para la sintaxis y la morfología (Amunts y Catani 2014). Ambas porciones del giro frontal inferior (IFG) son susceptibles de parcelarse en aún más subdivisiones en función del tipo de células y

³⁹ También se ha pasado de una idea de lateralidad a la izquierda muy marcada a una implicación más global del cerebro (con el hemisferio derecho más especializado en aspectos prosódicos). Puesto que la lateralización no será un factor determinante en el modelo de la presente tesis, se omitirá la discusión al respecto (v. Poeppel 2012, Giraud *et al.* 2007, Zatorre *et al.* 2002, Federmeier *et al.* 2008).

neurotransmisores que las componen. Aparte, las diferentes regiones que constituyen el área de Broca conectan mediante diferentes vías con la corteza temporal. El BA 44 lo hace a través de la vía dorsal, que incluye el fascículo arqueado y el fascículo superior longitudinal; el BA45, a través de la cápsula extrema que forma parte de la vía ventral, y el

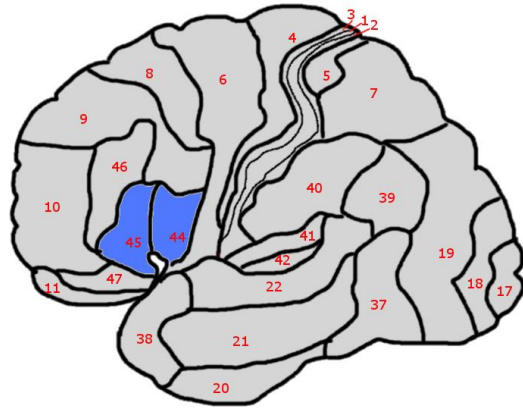


Figura 8-1Área de Broca.

opérculo frontal (que es la región frontal que cubre la ínsula, situada bajo el giro frontal inferior, y que podría estar funcionalmente relacionada) conecta con la corteza temporal anterior mediante el fascículo uncinado (Friederici 2011).

8.1.1.2 Área de Wernicke.

El área de Wernicke se localiza en la parte posterior del giro temporal superior (STG) y parte del giro temporal medio. Funcionalmente, contendría las representaciones acústico-fonéticas y discriminaría entre rasgos fonéticos o más abstractos (Amunts y Catani 2014). Citoarquitectónicamente, abarca parte de las BA 22, 42, y la 37.

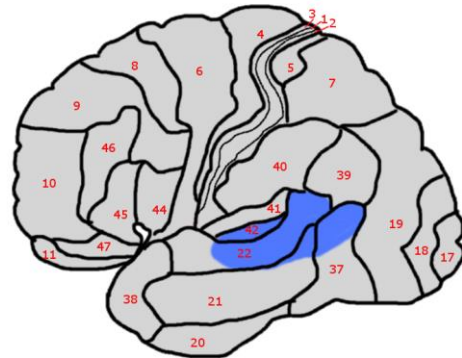


Figura 8-2Área de Wernicke.

8.1.1.3 El área de Geschwind.

El área de Geschwind se sitúa en el lóbulo parietal inferior, tomando parte del giro supramarginal (BA 40) y del giro angular (BA 39) (Catani *et al.* 2005). Haría de enlace entre el núcleo del lenguaje (áreas de Broca y Wernicke) y regiones generales implicadas en la

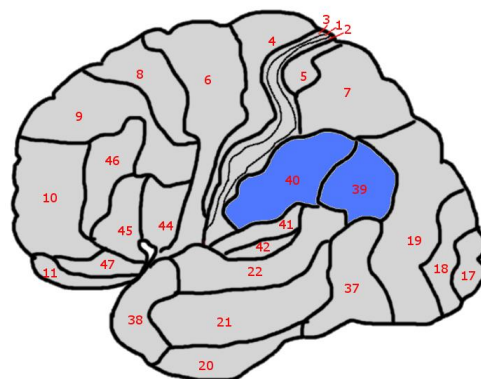


Figura 8-3Área de Geschwind.

memoria, el conocimiento semántico y la cognición social (Amunts y Catani 2014).

8.1.1.4 Otras regiones corticales.

Un área con una función similar a la que se atribuye a la de Geschwind sería el lóbulo temporal anterior, que abarcaría el BA38 y porciones anteriores de las BA 20, 21, 22 y 36, y haría las veces de hub semántico (Amunts y Catani 2014).

Otra área, la circunvolución frontal superior, que englobaría la BA6 y las áreas posteriores de BA8 y BA32, se ocuparía de planear, iniciar y monitorizar el habla (Amunts y Catani 2014).

Luego, la corteza cingulada anterior y el área motora presuplementaria se encargarían de monitorizar las acciones, distinguir las propias de las ajenas, etc.

La ínsula anterior, muy conectada con el área de Broca, se activa en la producción del lenguaje; y la ventral occipitotemporal se ha asociado a la lectura, en concreto, a procesar palabras visuales (Amunts y Catani 2014).

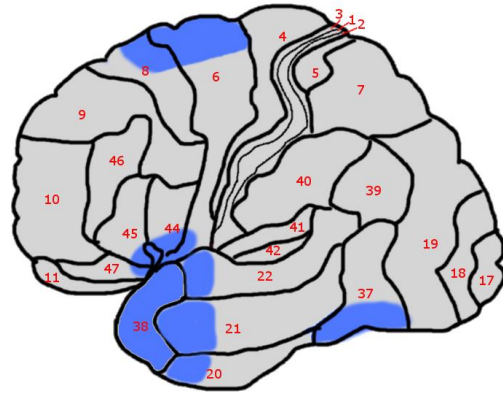


Figura 8-4 Otras áreas implicadas en el lenguaje, visión lateral.

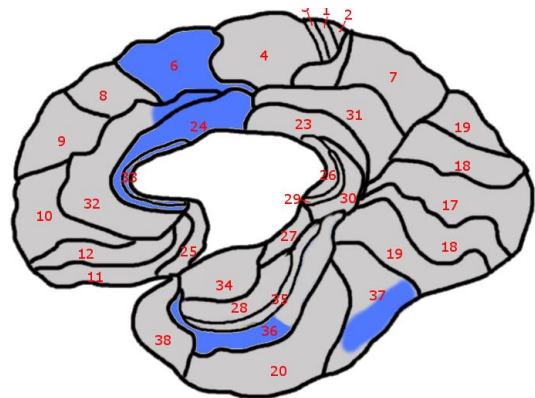


Figura 8-5 Otras áreas implicadas en el lenguaje, visión medial.

8.1.1.5 Áreas subcorticales.

Una incorporación importante al modelo clásico son las regiones subcorticales del tálamo, los ganglios basales, el cerebelo y el hipocampo. En síntesis, los ganglios basales (v. § 4.4) se han asociado al control motor del habla, a la selección léxica, al control de qué lengua usan hablantes multilingües, al aprendizaje de reglas

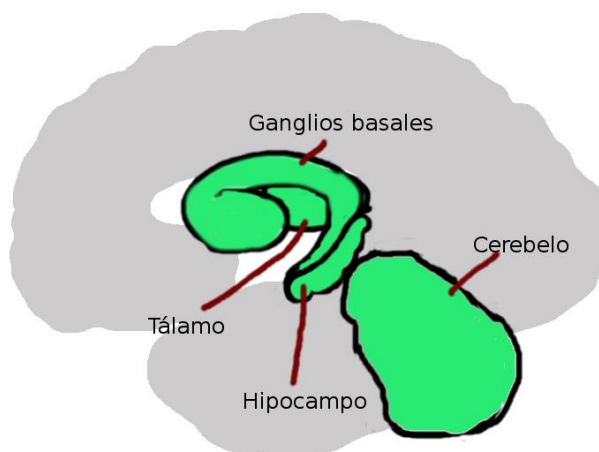


Figura 8-6 Estructuras subcorticales implicadas en el lenguaje.

gramaticales a partir de la extracción de regularidades del *input* y a una colaboración con estructuras frontales (ejecutivas) (Watkins y Jenkinson 2016).

El cerebelo parece implicado en la ejecución motora del habla y el control de los músculos del tracto vocal, en procesos prearticulatorios, en la secuenciación y temporalidad del “inner speech” antes de externalizarlo y en la identificación de categorías sonoras (Ackermann y Brendel 2016). Además, podría tener un papel de soporte de funciones de mayor orden realizadas por las estructuras frontales (de tipo ejecutivas o más “gramaticales”) con las que conectan.

Respecto al tálamo, se ha considerado una vía de conexión o de confluencia de áreas lingüísticas típicas y se ha defendido su implicación en la selección léxica, basada en información semántica, en la activación de las regiones corticales lingüísticas y en el establecimiento de conexiones con otras regiones más generales, como algunas de la corteza parietal (Llano 2016).

Por último, el hipocampo también se ha implicado en la adquisición del lenguaje, especialmente en la formación de conocimiento de naturaleza semántica, y en el uso, como en la integración activa de información durante el procesamiento lingüístico (Ullman 2016).

8.1.1.6 Vías.

El modelo de Friederici (2011) es de los que presenta mayor complejidad por lo que respecta a las vías. Habría dos vías ventrales y dos vías dorsales que correrían en

paralelo. A pesar de que la direccionalidad no está clara, parece que dominaría una conexión desde regiones posteriores a más anteriores (Friderici 2011):

- La vía ventral I conecta BA45 con la corteza temporal mediante la cápsula extrema. Se cree que se ocuparía de mapear el sonido al significado.
- La vía ventral II conecta el opérculo frontal con la corteza temporal mediante el fascículo uncinado. Podría soportar combinaciones de elementos adyacentes en una secuencia.
- La vía dorsal I, asociada al fascículo superior longitudinal, conecta la corteza temporal con la corteza premotora y sigue hasta la parte opercular del BA 44 pasando por la corteza parietal inferior. Su función sería el mapeo auditivo-motor, es decir, la transición del sonido a su producción, a lo *bottom-up*.
- La vía dorsal II conecta la corteza temporal posterior con BA 44 mediante el fascículo arqueado y el fascículo longitudinal superior. Abarcaría funciones semánticas y sintácticas y soportaría el procesamiento de más alto nivel. Se asocia al procesamiento *top-down* y a predicciones sobre la información que está por llegar facilitando su integración.

8.1.2 Mecanismos clásicos.

Como apuntamos arriba, se usará como referencia el modelo de Friderici (2002 *et seq.*), y se revisarán otros populares de forma más sucinta en § 8.1.2.1. El de Friderici es del tipo conocido *syntax-first*, por lo que primero se construyen las unidades sintagmáticas básicas y después se asignan papeles temáticos (una hipótesis apoyada empíricamente en ERP⁴⁰). El procesamiento del lenguaje pasa por tres fases principales y temporalmente consecutivas: 1) la construcción de constituyentes locales o sintagmas en función de la información categorial de las palabras; 2) el establecimiento de las relaciones sintácticas y semánticas, al darse las relaciones de caso y concordancia (más sintácticas) y al satisfacerse la estructura argumental con la asignación de papeles temáticos (más semánticas), teniendo en cuenta restricciones léxicas; y 3) la comprensión final de la frase mediante la integración de diferente tipo de información (sintáctica, semántica, de conocimiento del mundo y el contexto). Estas tres fases están precedidas por el análisis acústico-fonológico (Friderici 2011), que denominaremos Fase 0. Además, mientras se van dando estas fases fundamentalmente lateralizadas en el hemisferio izquierdo, se interactúa en paralelo con los sistemas que se ocupan de la

⁴⁰ Si la sintaxis básica ocupa una de las primeras etapas del procesamiento lingüístico y precede a la semántica, las violaciones sintácticas y semánticas deberían mostrar sólo un efecto ELAN mayor y el resto del procesamiento (semántico) debería ser bloqueado. Según Friderici (2011), la imposibilidad de construir estructura local bloquea, efectivamente, los ERP asociados a procesos de mayor orden, como el LAN y el N400.

prosodia en el derecho, que facilitan información relevante para el análisis sintáctico como son los límites de los constituyentes (Friderici 2011). A este procesamiento lo denominaré “Fase paralela”. Por todo esto, se trata de un modelo más orientado a la percepción y comprensión que a la producción del lenguaje.

Cada una de las fases se corresponde con un componente, esto es, con una señal electrofisiológica que cae prototípicamente en determinado rango temporal y que, a su vez, emerge de ciertas regiones que se encargarían de realizar las computaciones pertinentes. Así pues, la fase 0, que iría de los 0ms a los 120ms, se relaciona con el N100 y MMN (*mismatch negativity*); la fase 1, de los 120ms a los 200ms, con el ELAN (*early left anterior negativity*); la fase 2, de los 300ms a los 500ms, con el LAN (*left anterior negativity*) y el N400; la fase 3, sobre los 600ms, con el P600; y la fase paralela, cuya actividad ocurriría típicamente entre los 120ms y los 500ms, con el CPS (*closure positive shift*) (v. Friederici 2011).

En lo referente a las estructuras implicadas en cada fase, la fase 0 se relaciona con la corteza auditiva primaria, el plano temporal, y la porción anterior del giro y el surco superiores del lóbulo temporal bilateralmente; la fase 1, con el STG izquierdo (porción anterior) y el opérculo frontal; la fase 2, con la porción posterior y media del STG y el giro temporal medio y el surco temporal superior, y las BA 45, 47 y 44, también lateralizados a la izquierda; la fase 3, con la porción posterior del giro y el surco temporal superior, los ganglios basales y el IFG (y una posible implicación de la corteza parietal); y la fase paralela, con regiones temporales dorsales y anteriores del hemisferio derecho, conectado con el izquierdo mediante la parte posterior del cuerpo calloso, la dlPFC derecha, y el cerebelo derecho (v. Friederici 2011).

Luego, las transiciones de una fase a otra se pueden realizar mediante ciertas vías (v. Friederici 2011 y § 4.1.2). Las regiones de la fase 0 conectan mediante la vía dorsal I (fascículos arqueado y superior longitudinal) con regiones motoras frontales, que pueden relacionarse con el mapeo auditivo-motor más claro en otros modelos. La transición a la fase 1 podría implicar ventral II (fascículo uncinado). En la fase 2, la vía ventral I (cápsula extrema) conectaría la red subred más semántica, mientras que la vía dorsal II (fascículos arqueado y superior longitudinal) haría de enlace en la subred más sintáctica. En la fase 3, podrían estar implicados los ganglios basales y, finalmente, para la interacción entre la fase paralela con fases 1 y 2, puede apuntarse al cuerpo calloso (posterior) y, tal vez, rutas

subcorticales que implican el cerebelo. En resumen, el procesamiento del lenguaje en el cerebro, según ciertos modelos neurolingüísticos, podría resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 1 Procesamiento lingüístico basado en Friderici (2002 et seq.)

Fase	Tiempo	Función	ERP	Estructura	Vía
Fase 0	0-120ms	Análisis acústico-fonológico (discriminación de categorías acústicas y fonemas)	N100, MMN	AC, HG, PT, STG, STS	Dorsal I (posible uso en mapeo auditivo-motor posterior)
Fase 1	120-200ms	Construcción constituyentes locales	ELAN	FOP, aSTG (IFG y área Broca para L2), BG	Vía ventral II (posible implicación de BG)
Fase 2	300-500ms	Establecimiento relaciones sintácticas y semánticas básicas (caso, concordancia, estructura argumental...)	LAN (para semántica), N400 (para sintaxis)	Subred semántica: BA 45/47, STG medio y posterior. Subred sintáctica: BA 44 y aTC. BA 38	Vía ventral I (para semántica), vía dorsal II (para sintaxis)
Fase 3	+/-600ms	Integración	P600	pSTG/STS, IFG, GB, corteza parietal	GB
Fase Paralela	120-500ms	Análisis prosódico	CPS	Para tono: aTC, FOP derechos. Para prosodia: dIPFC y cerebelo derechos	Cuerpo caloso, (porción posterior)

Abreviaturas: AC, corteza auditiva; aSTG giro temporal superior anterior; aTC, corteza temporal anterior; BA, área de Brodmann; CPS, *closure positive shift*; dIPFC, corteza prefrontal dorsolateral; ELAN, *early left anterior negativity*; FOP, opérculo frontal; GB, ganglios basales; HG, giro de Heschl; IFG, giro frontal inferior; LAN, *left anterior negativity*; MMN, *mismatch negativity*; PT, plano temporal; pTC, corteza temporal posterior; STG, giro temporal superior; STS, surco temporal superior.

8.1.2.1 Otros modelos clásicos a gran escala.

En esta sección se realizará una revisión sucinta de otros modelos populares que desarrollan el modelo clásico. Algunos tienen más relevancia que otros en el desarrollo de la tesis, pero una visión global del estado de la cuestión en neurolingüística será de provecho para detectar sus fortalezas y debilidades en general (v. § 8.1.4).

8.1.2.1.1 Descent with modification, construyendo el nuevo lenguaje sobre la vieja memoria. El modelo Declarativo/Procedimental de Ullman (2001, 2004, 2016).

Coherente con la idea darwiniana de la *descent with modification*, Ullman (2001, 2004, 2016) propone que el lenguaje depende de sistemas neurobiológicos que preceden a su surgimiento, con una posible especialización filogenéticamente y/u ontológicamente posterior. Concretamente, el lenguaje co-optaría para el aprendizaje, conocimiento y uso los sistemas de memoria declarativa y procedimental, siendo (total o) mayormente adquirido por ellos (v. §§ 8.2.1-8.2.2). Por consiguiente, el fundamento neurobiológico de la capacidad lingüística debe corresponderse con los sistemas y regiones utilizados durante su desarrollo, compartiéndose asimismo funciones, principios y constricciones.

La memoria declarativa serviría para el aspecto idiosincrásico del lenguaje, como palabras de contenido (*content words*), la forma fonética, la semántica y la subcategorización asociadas a ellas (Ullman 2004, 2016). Las estructuras del lóbulo temporal medial relacionadas (v. § 8.2.2) podrían ser útiles para ligar (v. § 5.4.3) e integrar la información activamente durante el procesamiento lingüístico. Asimismo, la neuroanatomía funcional de los aspectos del lenguaje adquiridos mediante este sistema debería reflejar la neuroanatomía funcional de este último (Ullman 2016). Esto es, el conocimiento lingüístico construido a partir de la memoria declarativa deberá depender del hipocampo (para asociaciones novedosas) y estructuras relacionadas del lóbulo temporal medial, como la corteza perirrinal, donde se podrían sustentar las piezas particulares (aunque acabe predominando el sustrato cortical, v. § 8.2). Es más, una vez consolidado en la corteza, el conocimiento lingüístico deberá respetar igualmente los patrones neuroanatómicos que caracterizan el conocimiento conceptual (v. § 8.1.2.1.5), posiblemente con una mayor implicación del lóbulo temporal anterior y el hipocampo en el conocimiento abstracto (Ullman 2016). Para recuperar esta información, podrían mediar la corteza inferior frontal y la corteza parietal posterior (v. § 8.2.5).

En cuanto al sistema procedimental, Ullman (2016) resume su función en la adquisición y el procesamiento de secuencias y de normas (probabilísticas), coincidiendo su manipulación de la información inconsciente con la naturaleza implícita de la gramática, la secuenciación y combinación jerárquica de elementos (procedentes del sistema declarativo). Consecuentemente, estarían implicadas las estructuras frontales, los ganglios basales, y quizás el cerebelo. Aparte, habría interacciones entre ambos sistemas, pero la actividad de cada uno de ellos predominaría en el procesamiento en que fuera más eficiente. En mi opinión, este modelo es demasiado deudor de la visión del lenguaje de la Teoría Estándar (v. §2.2), concebido básicamente como un sistema de conocimiento estático de representaciones léxicas y reglas para combinarlas, ignorando los mecanismos que habilitan y restringen esa combinación de forma dinámica.

8.1.2.1.2 Un intento de simplificar y enmarcar el lenguaje en la cognición general. El modelo MUC de Hagoort (2005 et. seq).

De acuerdo con Hagoort (2016), la red del lenguaje se forma de manera dinámica, por lo que diferentes regiones (generalmente) no específicas participan transitoriamente en la red. La contribución de cada una dependerá de sus propias posibilidades y de con qué otros nodos interactúe (v. § 3.3 sobre la neutralidad de mecanismos). Pese a esta innovación, el mapeo es similar al modelo clásico. Básicamente, en el procesamiento lingüístico habría tres sistemas trabajando juntos, cada uno de los cuales tendría una función que se corresponde con los componentes de *memoria*, *unificación* y *control* (MUC). Primero, el sistema de *memoria* permitiría almacenar a largo plazo y recuperar la información lingüística (distribuida por la corteza temporal), que consistiría en elementos que vendrían acompañados de una suerte de marco estructural, restricciones incluidas (Hagoort 2005). Segundo, la *unificación* consistiría básicamente en la operación de combinar los elementos recuperados de la memoria para formar unidades mayores, tratándose según el autor del problema del *binding*. Esto sería llevado a cabo por el sistema general de memoria de trabajo en regiones prefrontales y posiblemente el área de Broca. Tercero, el *control* cumpliría funciones varias, como atender la información más relevante del *input*, desde el sistema de control ejecutivo de la atención, localizado en la corteza cingulada anterior (ACC), la dlPFC y parte de las estructuras parietales implicadas en la atención (Hagoort 2016) (v. § 8.5).

El fascículo arqueado sería importante para el funcionamiento de todos estos sistemas. Tras decodificarse el *input* en regiones sensorias, los elementos que casaran con él irían recuperándose del componente de memoria (en la corteza temporal), y trasladándose ordenadamente a un *workspace* (en las regiones prefrontales dedicadas a la memoria de trabajo). Ahí se irían unificando cual puzle los elementos acompañados de su entorno estructural (de nuevo, estamos frente a una visión de la estructura muy estática), resolviendo competiciones entre información ambigua mediante el control.. Este proceso requeriría del mantenimiento y manipulación de información activa a través de la memoria de trabajo (v. § 8.2.4) gobernada por estructuras anteriores que podrían controlar la información en estructuras posteriores. Aparte, cada sistema trabajaría con información de los tres tipos, estableciendo Hagoort un gradiente dorsal-ventral: la fonología se procesaría en las regiones superiores, la sintaxis en las intermedias, y la semántica en las inferiores (en los solapamientos se produciría la interacción). A mi juicio, el intento de integración no se cumple de forma satisfactoria, recibiendo los otros sistemas un tratamiento simplista, y atribuyéndoseles computaciones que acaban siendo casi tan específicas como en el resto de modelos. Básicamente, se rebautiza el área de Broca, locus de la sintaxis, como memoria de trabajo; el área de Wernicke y regiones colindantes, locus de la semántica, como sistema de memoria; y los sistemas de control frontales dirigen la atención a cierta información. Se encuentran pocas explicaciones sobre la generación de estructura y mecanismos, aunque el mismo Hagoort en sus colaboraciones con Bastiaansen hará aportaciones interesantes en este sentido (v. § 8.1.3).

8.1.2.1.3 Replicando parte de la organización neuroanatómica de sistemas no lingüísticos. El modelo de “doble vía” de Hickok y Poeppel (2000 et seq.), entre otros.

Como recuerdan Weiller *et al.* (2016), la idea de una doble vía implicada en el procesamiento lingüístico se remonta a Wernicke (1874), quien ya distinguiera entre una ruta directa y una ruta indirecta funcional y anatómicamente similares a lo que hoy identificamos como vía dorsal y vía ventral, respectivamente. Sin embargo, la ruta ventral caería en el olvido hasta que la idea de la doble vía reapareciera en la visión (v. Weiller *et al.* 2016). En este caso, partiendo ambas de la corteza visual primaria, la vía dorsal/*where* conectaría con el lóbulo parietal, y la ventral/*what* con el lóbulo temporal. Asimismo, más tarde se encontraría una doble vía para el sistema auditivo, el motor, el

somatosensorial y para la atención visuoespacial (v. Weiller *et al.* 2016 y referencias ahí citadas).

Así las cosas, modelos de doble vía como el de Hickok y Poeppel (2000 et seq.) entroncan con parte de los estudios en neurociencia cognitiva y reproducen un patrón de organización cortical compartido por múltiples sistemas. Básicamente, se defiende que la vía ventral mapearía del sonido al significado, encargándose de la comprensión; en cambio, la vía dorsal mapearía del sonido a la integración motora, es decir, se ocuparía de la producción (Poeppel y Hickok 2004). Entrando en detalle, la vía ventral comprende principalmente porciones superiores y medias del lóbulo temporal (Hickok y Poeppel 2007), discurriría por la cápsula extrema y el fascículo uncinado y sería bilateral (Weiller *et al.* 2016). También decodificaría el *input* (en el STG dorsal), lo procesaría para adaptarlo al léxico (en el STS), accedería al léxico (a través del MTG y el ITS posteriores) y combinaría los elementos en el ATL, MTG e ITS. La vía dorsal (más lateralizada a la izquierda) comprendería la unión entre el lóbulo temporal dorsal y el opérculo parietal (parte posterior del plano temporal y área Spt), y el lóbulo frontal posterior. Se asocia al fascículo arqueado y al fascículo longitudinal superior (Weiller *et al.* 2016). Traduciría señales acústicas en representaciones articulatorias o, vista de otra forma, se ocuparía de la integración auditivomotora. Primero se activaría el plano temporal, el área Spt, que conectaría con el área de Broca y la corteza premotora y, más tarde, el habla se articularía en el giro frontal inferior posterior, la corteza premotora y la ínsula izquierda.

Así se deja al sistema prácticamente huérfano de componente sintáctico y se propone una función excesivamente específica de cada vía (existiendo una carga funcional mucho mayor en la vía ventral que en la dorsal, v. § 8.1.2.1.4). A este respecto, Weiller *et al.* (2016) hacen una propuesta más parsimoniosa. Por un lado, la vía dorsal se ocuparía de relaciones *dependientes del tiempo* entre elementos y procesos no específicos, asociando información sensoria con elementos internos y formando con ellos secuencias que aseguren la producción del comportamiento deseado. La vía ventral, asociada con bastante consenso al significado de las representaciones, se ocuparía, por otro lado, de relaciones jerárquicas y estructurales. Dado que estas se pueden establecer entre elementos que no son adyacentes, puede afirmarse que, en un sentido amplio, la vía ventral se ocupa del procesamiento *independiente del tiempo* (Weiller *et al.* 2016). Por tanto, en este modelo se traduce básicamente el modelo Broca-Wernicke a las vías dorsal-ventral, aunque mejor enmarcado en la cognición. Es decir, se postula que la vía ventral

se ocupa de la comprensión, como se atribuyera antaño al área de Wernicke, y, consecuentemente, se defiende que la vía dorsal cumple una función principalmente ligada a la producción, como se dijera del área de Broca.

8.1.2.1.4 Una miscelánea donde destaca el procesamiento jerárquico. El modelo de Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky (2013, 2016).

Resulta difícil presentar el modelo de Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky como algo uniforme. En sus orígenes, partía de una modificación poco sustancial de Friderici (2002), mientras que en la actualidad parece más una ampliación del modelo de doble vía de Hickok y Poeppel (2000 et seq.). Frente a ello, optaremos por la versión reciente de Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky (2013, 2016), donde la principal aportación puede ser la importancia que se concede al procesamiento jerárquico. A este respecto, estos autores se basan en varias asunciones afines a descubrimientos generales de la neurociencia cognitiva: (i) la organización jerárquica es una propiedad básica de la neuroanatomía funcional; (ii) esa jerarquía espacial tiene que corresponderse con la temporalidad del procesamiento (lingüístico); y (iii) este discurre a lo largo de una vía ventral y otra vía dorsal funcionalmente íntegras.

Así, defienden que en el lenguaje se partiría de la computación de unidades lingüísticas simples en áreas auditivas y se avanzaría en la computación de unidades más complejas en regiones más anteriores. Dado que existiría una correspondencia entre esta organización neuroanatómica jerárquica y la organización temporal del procesamiento, las computaciones más tempranas y simples ocurrirán en regiones bajas en la jerarquía, mientras que las operaciones más tardías y complejas tendrían lugar más arriba en la jerarquía. Al margen de esto, Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky apuestan por un denominador común en la función de las vías ventrales y dorsales, apelando básicamente a la idea de § 8.1.2.1.3 de que la vía dorsal se encarga del procesamiento *time-dependent*, mientras que la vía ventral se ocuparía del *time-independent* (v. Weiller *et al.* 2016).

En síntesis, el procesamiento lingüístico discurre a través de las vías, ganando en complejidad y ascendiendo en la jerarquía a medida que transcurre el tiempo. Una consecuencia llamativa es que la sintaxis se sitúa más abajo en la jerarquía y más posterior espacialmente, en el ATL, mientras que el área de Broca y regiones frontales se considera una zona de convergencia de las vías que conecta con el comportamiento. Este modelo

tiene una virtud: como se hace en la presente tesis, trata de quedarse con lo positivo de cada modelo y subsanar algunas lagunas que los aquejan.

8.1.2.1.5 El procesamiento distribuido y un sustrato plausible para las representaciones en el modelo de Pulvermüller (1999 et seq.).

Pulvermüller y Fadiga (2016) dan prioridad a principios de la neurociencia descubiertos más allá del lenguaje, construyendo su modelo sobre conocimiento independiente de la función y estructura del cerebro e infiriendo así qué estructuras y conexiones pueden subyacer a las representaciones y al procesamiento lingüísticos. Se reprocha a los modelos neurolingüísticos la omisión de un principio básico de neurociencia: los procesos neuronales son ejecutados por ensamblajes distribuidos, de modo que no podemos atribuir una sola función a una única área (v. § 3). Las ideas esenciales son: (i) las representaciones se forman sobre las neuronas que computan sus propiedades, con una organización determinada en buena medida genéticamente; (ii) en el cerebro las conexiones locales son ricas, mientras que las que se establecen a larga distancia (como con el fascículo arqueado) son mucho más escasas y selectivas (v. Buzsáki 2006); y (iii), conforme al aprendizaje Hebbiano, las neuronas que se disparan en sincronía fortalecen su comunicación, mientras que esta se deprime cuando la actividad de los pares es asincrónica (v. § 8.2.6.1). Por lo tanto, las ensamblajes distribuidos que componen el sustrato de las unidades lingüísticas se formarán mediante la correlación de actividad y conexión a larga distancia de grupos locales de neuronas que computen propiedades de carácter más específico de la representación. De esta forma, los autores dan con una hipótesis más plausible del sustrato neuronal del léxico.

Los fonemas dependerían de asociaciones entre las regiones motoras, encargadas de la producción, con la actividad en la corteza sensorial y auditiva (en los estadios primeros de adquisición de la lengua), interconectando estas áreas mediante el fascículo arqueado (Pulvermüller y Fadiga 2016). Los signos serían agrupaciones de esas formas fonéticas que se asociarían a conceptos y combinarían el sustrato distribuido. Respecto al sustrato de la semántica, habría un territorio de *hub*, que se extendería por áreas asociativas frontales, parietales y temporales conectadas a unimodales. Estas áreas podrían enlazar regiones más lingüísticas con aquellas donde se computan los aspectos específicos de modalidad de la semántica de la palabra. Pulvermüller y Fadiga (2016) apuestan por categorías específicas en regiones locales: por ejemplo, la corteza motora y

premotora se activan para el procesamiento de conceptos de acción. En última instancia, la asamblea dependería de la sincronización de grupos de áreas locales distribuidos en que se procesarían aspectos específicos. Para ilustrarlo, pensemos en la adquisición de una palabra por un niño, por ejemplo, “Sol”. Al hacerlo, seguramente esté experimentando varias de sus propiedades al mismo tiempo: los rasgos visuales del objeto en sí se procesarían en regiones occipito-temporales, cuya actividad se correlacionará con la de regiones que procesan el signo en áreas inferio-temporales básicamente. La coactivación, según el susodicho principio Hebbiano, conllevará la formación de una asamblea de mayor nivel. Regiones temporales se activarían para la modalidad auditiva para una palabra como “ruido”, circuitos corticosubcorticales del sistema límbico para una palabra como “alegría”, etc. Incluso con un grado de especificidad categorial mayor, se ha observado que palabras relacionadas con partes del cuerpo activan diferentes partes de la corteza motora, como “chupar” la región que corresponde a la boca o la cara, o “patear” el área que se corresponde con el pie o la pierna (Pulvermüller y Fadiga 2016). O sea, existiría una base perceptiva de la semántica, aunque interconectada mediante zonas multimodales (en el territorio *hub* asociativo) y con el componente más abstracto formándose a partir de la abstracción reutilizando, metafóricamente, circuitos más viejos y simples y densificando las conexiones con regiones frontales seguramente (en la dlPFC). Pese a todo, este modelo arroja más luz sobre el sustrato de las palabras y conceptos que acerca de cómo se manipulan para generar estructura.

8.1.2.1.6 Ben Shalom y Poeppel (2008): un amago de identificar y articular lo poco que comparten los modelos.

El modelo de Ben Shalom y Poeppel (2008) trata de unificar diversos modelos. Se distinguen tres tipos de procesamiento lingüístico básicos: fonológico, sintáctico y semántico. Las operaciones que se harían con estos tres tipos de información serían: *memorizing*, esto es, recuperar ítems de la memoria a largo plazo; *analysing*, acceder a subpartes de los elementos (descomponiendo estructura); y *synthetising* o combinar los ítems. Ben Shalom y Poeppel (2008) atribuyen cada operación a una región típica de la red del lenguaje. Así, los procesos memorísticos se llevarían a cabo en el lóbulo temporal; los procesos analíticos, en el lóbulo parietal; y los procesos sintéticos, en el lóbulo frontal. Estas atribuciones son coherentes con el procesamiento general que suele atribuirse a estas estructuras: lo temporal, a la memoria; lo frontal, con la secuenciación motora; y lo

parietal, supuestamente en convertir información sensoria en información motora. Asimismo, Ben Shalom y Poeppel (2008) recuperan la idea del gradiente a lo Hagoort (2005), Bookheimer (2002): el área más dorsal de cada lóbulo procesaría la fonología; el área intermedia o central, la sintaxis; y el área ventral, la semántica. Pese a su elogiado intento, el resultado recuerda demasiado a Hagoort (2005) y evoca bastante menos otros modelos, como el de Friederici (2002 et seq). Esto podría reflejar cuán poco acaban teniendo en común los modelos del procesamiento lingüístico a gran escala, llevando a la conclusión de que la mayoría, aunque guiada por buenas premisas, es total o parcialmente incorrecta en lo concreto.

8.1.3 Oscilaciones.

A pesar de que los modelos que relacionen oscilaciones y lenguaje sean más bien escasos y que desde la (bio)lingüística se haya reparado en ellas recientemente (v. Friederici *et al.* 2017, Boeckx y Burraco 2014 y Boeckx 2013, que constituyen el punto de partida de Ramírez 2014, y § 3), existen estudios que se remontan a, como mínimo, mediados de los 90. Por ejemplo, ya en Lutzenberger *et al.* (1994) se apunta a la relación entre asambleas neuronales, oscilaciones *gamma* en (regiones perisilvianas de) el hemisferio izquierdo y el procesamiento de mayor orden de las palabras (esto es, más allá de lo perceptivo, en oposición al que podrían desencadenar pseudopalabras). En Pulvermüller *et al.* (1996) se muestra que la sincronía a *gamma* se establece en aquellas regiones que procesan aspectos concretos de la semántica de la palabra, con verbos que evocarían actos motores desencadenando *gamma* en la corteza motora, y con nombres que evocan lo visual trayendo consigo el ritmo en regiones occipitales (v. § 8.1.2.1.5). Aunque sea considerado técnicamente una reseña (v. §§ 8.1.3.1 y 8.1.3.2), Bastiaansen y Hagoort (2006) proporciona uno de los modelos más completos y precisos para la implementación de operaciones lingüísticas, en términos de oscilaciones cerebrales.

Publicaciones neurolingüísticas más recientes, como Friederici y Singer (2015), acaban siendo simplistas tanto en la parte de la computación cerebral como en lo referente a la sintaxis y el lenguaje. Básicamente, Friederici y Singer (2015) hacen explícito que la hipótesis de la BBS (que puede remontarse como mínimo finales de los 80, v. Gray y Singer 1989 y § 5.4.3.1) debe ser válida para las representaciones de carácter lingüístico. Se defiende así que la información más específica se sincroniza para formar gradualmente asambleas más generales y más grandes, yendo de rasgos de fonemas a fonemas, de ahí

a palabras (más locales), y luego a sintagmas y frases, formándose así meta-asambleas que varían en el tiempo. Se mencionan asimismo otras ideas bien conocidas desde hace tiempo, como que en el acoplamiento inter-frecuencia puede haber un ritmo lento que represente una suerte de representación mayor y un ritmo rápido que se encargue de procesar ítems más específicos dentro de la misma, cuando esta es básicamente la esencia del *phase coding* (v. § 5.4.7). En la misma línea, al relacionar oscilaciones con el procesamiento lingüístico, Friederici y Singer (2015) se quedan en imprecisiones como que las palabras de contenido están acompañadas de una actividad a banda *gamma* mayor, que el ritmo *theta* está relacionado con la memoria, que *alpha* aumenta con el aumento de la carga de memoria y que *beta* se asocia también a la recuperación de piezas léxicas. Uno tiene la sensación de que esto se anuncia como datos promisorios y novedosos, cuando en realidad hay una enorme cantidad de investigación que los analiza y explica en mayor profundidad desde hace tiempo, con aportaciones significativas desde fuera del propio dominio cognitivo del lenguaje (v. §§ 5.4, 7.1, 8.2.6, 8.3.3, 8.4.7 y 8.5.7). Como se explicó en § 5.4, el poder computacional de las oscilaciones supera la mera formación de asambleas, pudiéndose implementar múltiples y ricos mecanismos de bajo nivel, de modo que no tiene sentido reducirlo todo a la formación de asambleas de menor o mayor tamaño. Tampoco tiene sentido reducir el lenguaje a la combinación, etiquetada como *ensamble* para darle un ropaje de tecnicismo, de diversas piezas de naturaleza lingüística.

Un posible contrapunto, aunque no haya recibido la atención que merece, son Bastiaansen y Hagoort (2006) y Weiss y Mueller (2003)⁴¹. Estos autores comparten buena parte de las premisas adoptadas en § 3 sobre la computación cerebral, fundamentadas de forma independiente en campos ajenos a la investigación del lenguaje. Tienen también una visión más crítica con la neurolingüística al uso, frente a la que proponen otros métodos de neuroimagen, y defienden un modelo en el que se tienen más en cuenta propiedades generales del cerebro. Por consiguiente, y por otros puntos en común con las premisas que se apuntaron en § 3, la obra de Bastiaansen y colegas se tomará aquí como principal referencia, con lo que se adoptará una visión más mecanicista y precisa que otros modelos. En este sentido, Bastiaansen y Hagoort (2006) plantean la implementación de dos mecanismos que consideran fundamentales en el lenguaje: la recuperación de

⁴¹ Por ejemplo, en Hickok y Small (2016), una de las obras recientes sobre la neurobiología del lenguaje más completas, apenas se tiene en cuenta la obra de Bastiaansen y la mayoría de asociaciones entre oscilaciones y lenguaje se hacen en el ámbito de la fonología.

información léxica (de diferente tipo, fonético, sintáctico, semántico...) y su unificación para formar estructuras mayores. Las operaciones de Bastiaansen y Hagoort (2006) son más conciliables que los procesos asociados a oscilaciones en trabajos más recientes (v. § 8.1.3.4). Otros trabajos (de Meyer, Beese, Friederici, etc.) menos compatibles con nuestros objetivos y con la visión del lenguaje que aquí se tiene se agruparán en una sección aparte (v. § 8.1.3.4). Igualmente, se dedicará § 8.1.3.3 a estudios donde se usa de una forma más o menos explícita el mecanismo de multiplexación por división de frecuencia, adoptado en la presente tesis, para diferenciar distintos tipos de unidades lingüísticas (v. Weiss y Mueller 2003).

8.1.3.1 Recuperación de información léxica.

Según Bastiaansen y Hagoort (2006), esta operación consiste en recuperar de la memoria a largo plazo (declarativa) información léxica básicamente de tipo fonológico, sintáctico y semántico. Podría estar desencadenada por los *inputs* en la comprensión del lenguaje, y dependería de la oscilación *theta*, típicamente atribuida a la memoria (v. § 8.2.6). Se sincronizarían así estructuras lingüísticas y generales, produciéndose solapamientos. *Loops* cortico-hipocámpicos activarían áreas distribuidas del giro medio y superior temporal y el IFG y podrían establecer una comunicación con la corteza cingulada anterior y el cerebelo (Bastiaansen y Hagoort 2006).

Más específicamente, Bastiaansen *et al.* (2008) muestran que las oscilaciones *theta* establecen sincronía entre las poblaciones de neuronas distribuidas que codifican la información diversa que contiene la palabra (v. Pulvermüller y Fadiga 2016, hipótesis que se adopta también en § 9.1). En este sentido, la sincronía es mayor en áreas temporales cuando la semántica de la palabra remite a lo auditivo, mientras que la sincronía a banda *theta* es mayor en la región occipital cuando la semántica de la palabra guarda relación con lo visual (v. Pulvermüller *et al.* 1996). Aparte, se podría producir una desincronización a banda *alpha* (y *beta*), sobre todo cuando la tarea consiste en más que procesamiento lingüístico, aunque esto se relaciona vagamente a la atención y a procesos generales (Bastiaansen y Hagoort 2006). Estas funciones se atribuyen más a *alpha* lento que a *alpha* rápido (pudiendo implicarse este en el procesamiento más específico), pero en ningún caso queda clara la función del ritmo.

8.1.3.2 Unificación.

De acuerdo con Bastiaansen y Hagoort (2006), esta operación consiste en formar una representación coherente para toda la producción. El cerebro integraría entonces la información de diverso tipo (fonológica, ortográfica, semántica, etc.) recuperada de la memoria a largo plazo mediante la sincronía. En general, la unificación se atribuye al área de Broca y alrededores (BA 44,45,47 y 6). Aunque se hable de que el aumento en la memoria de trabajo lleve también asociado un incremento del ritmo *theta* en la línea frontal media, Bastiaansen y Hagoort (2006) recurren fundamentalmente a dos ritmos: *beta* y *gamma*, que se asocian a la unificación de diferente tipo de información. Por un lado, *beta* se centraría en lo sintáctico, aunque la relación con el resto de la cognición resulte difícil a los autores dada su implicación popular en el procesamiento motor (se observa sincronía a *beta* a larga distancia al jugar con la complejidad sintáctica, experimentando con la distancia entre el verbo y el objeto...). Por otro lado, *gamma* se ocuparía de unificar lo semántico (aunque *beta* también influye) y se asocia al mecanismo general de BBS, siendo la presencia del ritmo mayor cuando hay congruencia semántica frente a cuando no la hay. Además, el uso de ritmos a diferente frecuencia en el sustrato neuronal compartido apuntado arriba permitiría que los dos procesos no se obstaculicen entre sí (aunque podría bastar la segregación espacial, dado que el origen de los ritmos es distinto; Bastiaansen y Hagoort 2015).

8.1.3.3 Multiplexación por división de frecuencia y diferentes unidades.

Como se señalaba arriba, ya Weiss y Mueller (2003) hablan del uso de diferentes frecuencias para distintos elementos o tipos de procesamiento en relación al lenguaje. Esta idea se ha desarrollado más en lo relativo a la fonología que en lo que respecta a la identificación de unidades sintácticas. Pese a todo, el mismo mecanismo de multiplexación por división de frecuencia (v. § 5.4.6) se utilizará en la presente tesis para discriminar distintas clases de elementos de la estructura sintáctica (v. § 11.1).

8.1.3.3.1 Fonología.

Giraud y Poeppel (2012) defienden que las oscilaciones sirven para “empaquetar” la información del habla en unidades lingüísticas relevantes. Esto vendría propiciado por la correspondencia entre la temporalidad del habla y la temporalidad de los ritmos cerebrales a distinta frecuencia. De esta forma, diferentes oscilaciones servirían para

analizar en paralelo la señal lingüística continua, fragmentándola en distintas unidades: las oscilaciones *gamma* podrían utilizarse para discriminar (sub)fonemas; *theta*, para las sílabas; y ritmos más lentos próximos a la banda de *delta*, para unidades léxicas o sintagmas (aunque Giraud y Poeppel 2012 apenas les presten atención).

Como mínimo en lo que respecta a *gamma* y *theta*, estos autores localizan los ritmos en las capas superficiales de la corteza auditiva (BA 41 y 42), con una lateralización a la izquierda de *gamma* y, a la derecha, de *theta*. Estos ritmos, acoplados entre sí, podrían reiniciar su fase para ajustarse al *input* que recibieran de la lámina cortical IV.

8.1.3.3.2 *Sintaxis.*

De acuerdo con Ding *et al.* (2015), hay una correspondencia entre diferentes estructuras lingüísticas y diferentes oscilaciones, de modo que estas podrían utilizarse para representarlas o procesarlas. Utilizando construcciones carentes de prosodia en chino, donde las sílabas se suelen corresponder con morfemas o palabras, los autores observan que, en general, el procesamiento de las palabras va acompañado de un ritmo bilateral a 4Hz, los sintagmas a 2Hz, y las oraciones a 1Hz (cuanto más lentos, mayor es el área que reclutan). Cuando se hace desaparecer la estructura jerárquica del *input*, también desaparecen las oscilaciones a 2Hz y 1Hz, por lo que su presencia puede relacionarse con ciertos niveles de la jerarquía sintáctica.

No obstante, Ding *et al.* (2015) no permiten asociar unidades lingüísticas concretas a ritmos concretos. Esto se observa al manipular el número de sílabas que componen las palabras, perdiéndose la correspondencia entre sílaba y palabra. Así, los autores usan un nombre de tres sílabas, que, junto con un verbo monosílabo, forman un SV de cuatro sílabas. Entonces, un ritmo a 4Hz se corresponde con las sílabas; un ritmo a 3Hz, que no había aparecido previamente, parece asociarse a la palabra compleja; y un ritmo a 1Hz, que antes representaba toda oración, se asocia al sintagma.

Queda sin demostrar, por tanto, que una unidad concreta esté representada por un ritmo concreto, aunque se sigue utilizando el mecanismo de multiplexación por división de frecuencia para procesar distintas unidades. Aparte, los ritmos entre 1Hz y 4Hz caen dentro de la banda de *delta* (pudiéndose sin embargo identificar el de 4Hz con *theta*), por lo que la discriminación de estructura en términos de bandas preestablecidas tampoco parece realizable en Ding *et al.* (2015).

8.1.3.4 Otros estudios menos conciliables con la visión del lenguaje aquí adoptada.

8.1.3.4.1 Una implicación indefinida de beta en lo sintáctico.

Weiss y Mueller (2012) revisan los subprocesos del lenguaje y las funciones de *beta*, asociando el ritmo *beta* vagamente a (i) el procesamiento motor (que podría subyacer al lingüístico), puesto que *beta* se reduciría al producir el habla; (ii) a la atención, por los efectos que tiene sobre el ritmo la irrupción de algo inesperado; (iii) el *binding* de rasgos semánticos (de categorías multimodales); y (iv) a la carga de memoria, con *beta* aumentando a medida que se procesa la frase. Estos autores advierten otras propiedades conciliables con la hipótesis de la implicación de *beta* en el mecanismo de proyección (v. § 9.3): el ritmo se asocia a información más compleja, puede mantener representaciones en el tiempo, enlazar *input* pasado con el presente al mantener representaciones en memoria de trabajo, y detectar estímulos nuevos. Estas propiedades se asociarán, en la tercera parte de la tesis, con las de los núcleos y los elementos movidos.

8.1.3.4.2 Chunking.

Según Meyer *et al.* (2016), el *chunking* es una operación que permite agrupar palabras durante el procesamiento lingüístico para evitar sobrecargar la capacidad de almacenamiento. Dado que los fragmentos se corresponden con unidades estructurales, como sintagmas, la operación de *chunking* se podría relacionar vagamente al ensamble o a la transferencia, por ser operaciones que definen fragmentos estructurales (v. § 10). No obstante, en el susodicho estudio, así como en Bonhage *et al.* (2017), muy similar, se habla de un proceso general de formación de estructura a medida que se procesa la frase (y que reduce la demanda sobre el sistema de memoria de trabajo).

Meyer *et al.* (2016) afirman que *delta* sirve para fragmentar la información, y por lo tanto para formar sintagmas (además, apuntan a una relación con el componente CPS). Sin embargo, la unidad estructural que utilizan en el experimento es demasiado laxa, considerándose que “the murderer with the corrupt lawyer” es un tipo de unidad relevante en tanto que sintagma. Si bien esto es cierto, también lo es que un sintagma puede ser una oración al completo o una única palabra. De hecho, en Bonhage *et al.* (2017) la oscilación *delta* se correlaciona con la construcción de la oración al completo. Construcciones tan

amplias presentan una estructura interna cuya generación queda sin explicación si se afirma que simplemente *delta* ha agrupado las unidades.

8.1.3.4.3 Predicción top-down y beta.

Lewis y Bastiaansen (2015) proponen una función para las oscilaciones en el lenguaje en el marco del *predictive coding*. *Beta* reflejaría el mantenimiento de una red dinámica en que se representa la frase y comunicaría predicciones *top-down* a regiones de menor orden; *gamma* lento y medio serviría para cotejar esas predicciones con el *input* que se percibe; y *gamma* rápido serviría para propagar errores de predicción hacia arriba en la jerarquía. A pesar de que esta asociación de las oscilaciones con flujos de información es coherente con la literatura (Bastos *et al.* 2015a), el *predictive coding* contradice el aspecto creativo fundamental del lenguaje. Además, el predecir una estructura, cotejarla con el *input* o detectar un error de predicción deja huérfano de explicación el proceso de construcción de la misma, por lo que este modelo es poco compatible con la presente tesis y con otras funciones generales que se han atribuido a las oscilaciones *beta* y *gamma* y van más allá del *predictive coding*.

8.1.3.4.4 Comprensión del lenguaje.

Wang *et al.* (2012) correlacionan vagamente la oscilación *beta* y el componente N400 con la comprensión del lenguaje. Contrastando frases incongruentes con congruentes, se observa un N400 en la región temporal del hemisferio izquierdo mayor para las primeras, simultáneo con un decremento de amplitud de *beta* en el IFG izquierdo (así como un decremento de *alpha* que no se acaba de interpretar). Esto se entiende como que el N400 refleja básicamente la recuperación de información léxica, y que *beta* refleja la unificación de este tipo de información. Sin embargo, *beta* debería aumentar, no disminuir, si fuera a ser computacionalmente útil, por lo que este estudio, aparte de atribuir una función vaga al ritmo, la implementa en clara contradicción con la relevancia de la sincronía en las oscilaciones.

8.1.3.4.5 El misterio de alpha: relaciones a distancia, memoria de trabajo...

En general, los estudios no identifican una función clara de *alpha* en el procesamiento lingüístico, o que se preste a identificarse con mecanismos. Meyer *et al.* (2013), por ejemplo, juegan con la distancia entre un verbo y un argumento, y observan el efecto que tiene sobre *alpha*. A medida que aumenta la distancia, se incrementa también

alpha hasta que el argumento se puede relacionar con el verbo (entonces, el ritmo es reemplazado por *beta*). La interpretación de Meyer *et al.* (2013) es que a medida que aumenta la memoria de trabajo, aumenta *alpha*. Más concretamente, proponen que el ritmo inhibe la liberación prematura del argumento de la memoria de trabajo antes de que pueda encontrarse con el verbo.

Pese a que esto se venda como coherente con la función del ritmo en la memoria, considero que los autores utilizan un juego de palabras para evitar una clara contradicción. No liberar algo es retenerlo, y, por lo tanto, lo que se está afirmando es que *alpha* está manteniendo la representación. Si bien esto puede ser coherente con la función activa del ritmo, defendida en los trabajos de Palva y colegas, así como en la presente tesis, Meyer *et al.* (2013) parecen aportar más sombra que luz a la cuestión. Aparte, se basan más en construcciones que en mecanismos: la distancia variable entre un argumento y un verbo es difícilmente traducible a ninguna operación de la lingüística teórica. Si bien puede asociarse a *ensamble* interno, por ejemplo, no es algo que se explicita en ningún momento en el estudio. Si, por el contrario, el mecanismo se asocia a la memoria de trabajo, tampoco es coherente con las operaciones básicas de ese dominio (v. § 8.2.4): las representaciones se mantienen o se liberan, pero no se inhibe su liberación (y, para ello, lo común es que sea *alpha* quien libera, y *beta* y *gamma* quienes retienen, y no al revés).

8.1.4 Conclusiones y crítica a los principales modelos.

A lo largo de las secciones precedentes, se ha realizado una revisión de los estudios de neurociencia cognitiva sobre el lenguaje. En lo que respecta a los modelos más clásicos y populares, en los que no se contemplan oscilaciones, podría decirse que la variación entre ellos existe a lo largo de varias “coordenadas”: el grado de especificidad, la priorización de determinado componente del lenguaje, o el grado de importancia que se le da a las dimensiones espacial, temporal y mecanicista del lenguaje en el cerebro. Aunque algunos están guiados por ideas que favorecen la integración del lenguaje en el resto de la cognición y aunque la teoría sea compatible con propiedades generales del cerebro, es poco el consenso entre los mismos y uno tiene que seleccionar hipótesis de aquí y de allá para encontrar nexos de unión entre la neurolingüística y el resto de la neurociencia cognitiva (v. § 9.5 sobre los puntos en común entre los mismos y el modelo de la presente tesis).

Primero, por lo que respecta al grado de especificidad, nos encontramos con modelos que tratan de construir el lenguaje sobre sistemas más generales o antiguos, como los sistemas de memoria (declarativa, procedimental y de trabajo) y de control ejecutivo (Ullman 2016, Hagoort 2016, Pulvermüller y Fadiga 2016); modelos que tratan que el sistema lingüístico reproduzca patrones de organización generales, como la doble vía y el procesamiento jerárquico (Hickok y Poeppel 2000 *et. seq.*, Weiller *et al.* 2016, Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky 2013, 2016); y modelos que interpretan los datos desde una perspectiva más específica y afín al modelo clásico (Friederici 2002 *et seq.*). En líneas generales, cuanto más general es el modelo, menos detalle se encuentra en su articulación, y viceversa. Sin embargo, sorprende el vastísimo sustrato neuronal que identifican los modelos más específicos (v. Friederici 2011): si el lenguaje fuera algo bastante novedoso y específico de la especie, como defiende la lingüística teórica más afín a Friederici, resultaría evolutivamente incoherente que se hubiera adueñado de una gran parte de las áreas asociativas frontales, temporales y parietales (aunque en menor grado) del hemisferio izquierdo y parte del derecho.

Segundo, los modelos priorizan diferentes componentes del lenguaje y les suponen un grado de interacción diferente: unos se centran en la sintaxis, postulando que constituye un primer estadio necesario para el procesamiento semántico (Friederici 2002 *et seq.*, y Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky 2016); otros aciertan más respecto de la naturaleza del léxico (Pulvermüller y Fadiga 2016); otros proponen una interacción constante entre los múltiples componentes, reduciendo las estructuras lingüísticas a poco más que representaciones semánticas (Hagoort 2016, Ben Shalom y Poeppel 2008); otros se suponen centrados en la sintaxis, pero son más afines a procesos de interpretación y producción de señales lingüísticas (Hickok y Poeppel 2000 *et seq.*), etc. En este contexto, considero que es una virtud dar suficiente importancia a la sintaxis (en la línea de Friederici), puesto que en ella se encuentran características universales del lenguaje destacadas en la lingüística teórica y, por ende, candidatos idóneos para proponer una implementación cerebral mejor integrada con los mecanismos de la cognición de alto nivel.

Tercero, los modelos varían en la dimensión del procesamiento a la que dan más importancia: los hay que se limitan a una localización espacial de ciertas funciones (Hickok y Poeppel 2002 *et seq.*, Ben Shalom y Poeppel 2008); otros integran con mayor éxito el carácter temporal del procesamiento, aunque basados principalmente en ERP

(Friderici 2002 et seq., Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky 2013); y los hay que se centran más en los mecanismos y no tanto en dónde ni cuándo ocurren (Pulvermüller y Fadiga 2016). No obstante, todos parecen pecar, en mayor o menor grado, de lo que Poeppel (2012) denomina el “maps problem”, que consiste en la creencia (errónea) de que el mapeo de dónde ocurren los procesos explicará cómo se producen. Aunque los mapas se hayan relevado explicativos en relación a los sistemas sensorios y motores, parece más difícil y menos promisorio trasladar ese método a la cognición de mayor nivel (Poeppel 2012). Siendo bastante crítico, podría decirse que muchos modelos se limitan a localizar una función demasiado vaga en una región más o menos conciliable con el modelo Broca-Wernicke-Lichtheim-Geschwind, la cual, en el mejor de los casos, se correlaciona con un ERP. Esto es lo que ejemplifica el modelo de Friderici (2002 et seq.) analizado en § 8.1.2. Como se sintetiza en la tabla 1, se identifican regiones cerebrales, vías y los milisegundos a los que supuestamente se dan los procesos de análisis fonológico, la construcción de estructura local, el establecimiento de relaciones sintácticas y semánticas, la integración de esa información y, en paralelo, el análisis prosódico. Ahora bien, ¿cuál es el tipo de actividad subyacente? ¿Cuáles son los mecanismos constitutivos de esos procesos? Los modelos clásicos no ofrecen respuestas en este sentido.

En contraste con esta priorización excesiva de lo espacial y la poca atención a los mecanismos, hay modelos, como Weiss y Mueller (2003) y Bastiaansen y Hagoort (2006) que, aun habiendo pasado más desapercibidos, sí contemplan el grado mayor de complejidad de la dimensión temporal de la actividad cerebral, la cual cobra forma de oscilaciones cerebrales a la escala espacial amplia característica del análisis del lenguaje y del resto de dominios de la cognición de mayor nivel. Aunque haya propuestas demasiado simples (Singer y Friderici 2015), otras (Bastiaansen y Hagoort 2006, Weiss y Mueller 2003) comparten algunas de las premisas adoptadas en § 3, fundamentadas de forma independiente en otros ámbitos de la neurociencia. Siguiendo con las dualidades, a pesar de que unos investiguen mecanismos muy poco conciliables con la visión que se tiene del procesamiento en lingüística (v. Meyer *et al.* 2013, 2016, Bonhage *et al.* 2017, Wang *et al.* 2012, Lewis y Bastiaansen 2015, etc.), otros plantean mecanismos más próximos a los de § 2, como la recuperación de pieza léxicas, su unificación (v. Bastiaansen y Hagoort 2006, 2015, Bastiaansen *et al.* 2008) y su discriminación, la cual podría relacionarse con la categorización (v. Weiss y Mueller 2003, Giraud y Poeppel

2012, Ding *et al.* 2015). Para ello, se recurre básicamente a las oscilaciones *theta*, relacionada con la recuperación léxica; *alpha*, cuya función viene a ser un misterio; *beta*, asociada a lo sintáctico; y *gamma*, asociada a lo semántico (el ritmo *delta*, poco comprendido, se asocia a la formación de grandes estructuras, ignorándose toda la organización interna de las mismas). No obstante, la función de estas oscilaciones no es siempre coherente con la que se identifica en otros dominios cognitivos: por ejemplo, las operaciones más complejas utilizan los ritmos más rápidos, que deberían limitarse a computaciones más sencillas y locales; las vagas funciones atribuidas a *alpha* tienen poco correlato con las aceptadas comúnmente en neurociencia cognitiva (aunque se argumente lo contrario); se centran en la desincronización de *beta*, cuando debería ser computacionalmente más útil la sincronía; de *theta* se ignora el papel que puede aportar en el acoplamiento con otros ritmos, organizando otros procesos y representaciones; etc. Asimismo, mecanismos que contemplan múltiples ritmos, como la discriminación de categorías mediante la multiplexación por división de frecuencia, parecen sólidos en lo respectivo a la fonología, pero inconsistentes en su asociación a estructuras sintácticas (v. § 11 para una propuesta que trata de subsanarlo).

Como se apuntaba arriba, tanto los modelos de las oscilaciones como los modelos clásicos comparten un problema (más agudo en el caso de estos últimos): la falta de correspondencia con la teoría lingüística. En este sentido, cabría esperar que fueran abundantes las conexiones entre lo desarrollado aquí y la descripción del lenguaje expuesta en § 2, pero no es así. La mayoría de mecanismos, propiedades de la estructura, principios y constricciones del lenguaje que se consideraron fundamentales desde la perspectiva de la lingüística no tienen reflejo en la neurociencia cognitiva. Como nota Poeppel (2012) al referirse al “mapping problem”, las unidades básicas con las que trabajan unos y otros son tan diferentes que es difícil establecer hipótesis de enlace. Tampoco ayuda el gusto por el detalle en la lingüística frente a la búsqueda de componentes tan amplios en neurolingüística como la sintaxis (en palabras de Poeppel 2012, se produce un “granularity mismatch”). Así pues, para poder conectar los campos de conocimiento debe llevarse a cabo un análisis a un nivel de abstracción adecuado y a medio camino entre ambos campos científicos (por esta razón se adoptan ideas fundamentales del generativismo y de la neurociencia como punto de partida en la tercera parte de la tesis). En unos mecanismos definidos de forma precisa e implementados en

forma de oscilaciones puede estribar la solución a lo poco traducibles que parecen las investigaciones de ambas disciplinas.

En definitiva, todos los modelos sobre el lenguaje pecan de una concepción simplista del lenguaje, por no analizarse mecanismos concretos e ignorarse propiedades definitorias del mismo, como sus principios, límites, la estructura que generan, etc. Pecan asimismo de una concepción simplista de la computación en el cerebro y la mente, por no ahondar lo suficiente en los mecanismos, en cuánto pueden compartir a través de diversos dominios cognitivos, etc. Aunque se hacen intentos, la integración con estos es tan solo parcial. Todos estos problemas se intentarán solucionar, a nivel teórico, en la tercera parte de la tesis.

8.2 Memoria

La memoria, como definen Davachi y Preston (2014), consiste básicamente en recuperar el patrón de actividad neuronal provocado por una experiencia. Así, al devolver el cerebro a un estado previo, podemos revivir el pasado, desde el más reciente al más lejano. No obstante, podemos descomponer esta capacidad en múltiples procesos y subdividirla en subsistemas en función del tipo de información que manejan, la escala temporal en que operan, etc. (v. Adrover *et al.* 2013). De esta forma, al hablar de “memoria”, en realidad estamos poniendo una etiqueta vaga a grupos diferenciados de estructuras con funciones, hasta cierto punto, también diferenciadas (v. Adrover *et al.* 2013).

En atención a un criterio temporal, una primera división podría realizarse entre memoria a corto y a largo plazo (Adrover *et al.* 2013). La primera abarcaría una escala temporal de unos pocos segundos, mientras que la segunda extendería el periodo de retención de minutos a años. Tradicionalmente, se ha creído que la memoria a corto plazo depende de la corteza prefrontal, mientras que la memoria a largo plazo (concretamente, la de tipo declarativo) descansaría sobre la corteza temporal medial y el hipocampo (Ranganath *et al.* 2014). Sin embargo, la visión actual es distinta, con la PFC ejerciendo de sistema de control (v. § 8.5) en la memoria de trabajo y el hipocampo de mediador en la codificación de memorias que, en última instancia, acaban distribuidas por la corteza (de asociación).

Pese a estas distinciones, autores como Ranganath *et al.* (2014) plantean que, a nivel neuronal, no parece haber mecanismos que puedan atribuirse exclusivamente a la memoria a corto ni a largo plazo. De hecho, los mismos autores recuerdan que los modelos pioneros consideraban que la memoria a corto plazo no era más que la activación transitoria de la memoria a largo plazo, aunque es evidente que podemos mantener/sostener información nueva y recién procesada. Desarrollando un poco más esta idea de la uniformidad de bajo nivel, entre la maraña de subsistemas de memoria que se identifican en la literatura, podemos detectar operaciones básicas, neutrales y empleadas en los múltiples tipos de memoria (Miranda *et al.* 2013): *codificar, mantener y recuperar* información que haya dejado de estar presente como *input* (por ejemplo, sensorio). Un ejemplo ilustrativo de tal unicidad en lo relativo a mecanismos cerebrales nos lo facilitan las *asambleas neuronales* (Hebb 1949): poblaciones de neuronas interconectadas con actividad sincrónica que se prolonga durante cierto tiempo (v. Buzsáki 2010). Este es un mecanismo crucial tanto para el mantenimiento de la información a corto plazo, como para inducir la potenciación a largo plazo de las sinapsis (codificación), de lo cual depende la memoria a largo plazo.

Por todo ello, en esta sección no se excluyen apriorísticamente subsistemas de memoria en función de los criterios funcionales con que tendemos a clasificarlos. Para el objetivo de esta tesis es más útil ver qué mecanismos puede proporcionarnos cada subsistema desde un punto de vista neutral (en la medida de lo posible), pero esto no significa que la taxonomía tradicional sea del todo desechable. Al correlacionarse con diferentes estructuras cerebrales, nos permitirá introducir la función básica de cada una. La distinción rudimentaria que se hace (dentro de la memoria a largo plazo) entre *memoria implícita* y *memoria explícita* (v. Squire y Zola 1996) nos permite presentar algunos correlatos funcionales de dos estructuras subcorticales ya analizadas en §§ 4.3-4.4 y que tienen especial importancia en el modelo de la presente tesis: los ganglios basales y el hipocampo. La idea más extendida es que los sistemas de los ganglios basales y del hipocampo son independientes el uno del otro (v. Ullman 2016). Pese a ello, diversos estudios sugieren una interacción frecuente y computacionalmente útil. Como recogen Shohamy y Daw (2014), hay evidencias de que los ganglios basales y el hipocampo se activan conjuntamente en situaciones donde sólo se esperaría un incremento de la actividad de los ganglios basales. Asimismo, se observa un acoplamiento

transitorio de las oscilaciones en ambas estructuras en ciertas tareas (v. deCoteau *et al.* 2007a), lo cual sugiere una colaboración.

Una vez discutidas la memoria implícita (v. § 8.2.1), la explícita (v. § 8.2.2) y las estructuras implicadas, analizaremos las tres operaciones elementales de que se serviría cualquier sistema de memoria (y también el lenguaje): codificación (v. § 8.2.3), mantenimiento (v. § 8.2.4) y recuperación (v. § 8.2.5). Después revisaremos las propuestas de implementación de estas operaciones en términos de oscilaciones cerebrales (v. § 8.2.6) y acabaremos estableciendo algunas relaciones entre memoria y lenguaje (v. § 8.2.7).

8.2.1 Memoria implícita y ganglios basales.

A modo de presentación, podemos caracterizar la memoria implícita como independiente de la consciencia, dependiente de los ganglios basales, de aprendizaje gradual, y, filogenéticamente hablando, como anterior (Adrover *et al.* 2013, Shohamy y Daw 2014). Aquí nos centraremos en un subtipo de memoria implícita: la memoria procedimental (v. Adrover *et al.* 2013 para más tipos). La formación de memorias implícitas consiste en el aprendizaje de procedimientos, habilidades y asociaciones estímulo-respuesta o acción-resultado (Shohamy y Daw 2014).

Pese a que las áreas corticales se implican significativamente en los primeros estadios de la formación de memorias procedimentales, la carga de la computación se transfiere a los ganglios basales a medida que se automatizan los procesos (Adrover *et al.* 2013). La formación de memorias procedimentales es incremental, puesto que paulatinamente van forjándose asociaciones arbitrarias entre estímulos y respuestas que coinciden en el tiempo. Se establecen así relaciones de causalidad. Es, por tanto, un proceso de naturaleza probabilística en el sentido de que se ponen en relación elementos que tienen, según nuestra experiencia (Shohamy y Daw 2014), más posibilidades de coaparecer (v. Gluck *et al.* 2002).

Normalmente, se ofrecen explicaciones sobre la codificación de memorias procedimentales a nivel molecular, un aspecto secundario para nuestros intereses actuales. Este tipo de memoria tiende a asociarse a reglas (v. Ullman 2016), que en el modelo de esta tesis son descartadas en favor de un enfoque mecanístico y derivacional. Así las cosas, poco aportaría extenderse en este punto. El recurso a los ganglios basales a la hora de proponer una implementación de operaciones lingüísticas se basará en los

mecanismos y oscilaciones que pueden proporcionar desde una perspectiva más neutra (aunque con una asociación a la memoria de trabajo y la atención).

8.2.2 Memoria explícita y complejo hipocámpico.

Por otro lado, nos encontramos con la memoria que puede ser declarada mediante el lenguaje y que sí alcanza la consciencia: la memoria explícita o *declarativa* (v. Adrover *et al.* 2013). Tradicionalmente, se ha creído que la memoria explícita descansa sobre el lóbulo temporal medial y el hipocampo. No obstante, en la actualidad se ha impuesto la hipótesis de que las estructuras temporales, con el hipocampo ejerciendo un papel capital, más bien median en la codificación de la información, cuyo sustrato último es la corteza cerebral.

Dentro de la memoria explícita, se puede trazar una división fundamental entre memoria *semántica* y memoria *episódica* (Tulving 1972). A grandes rasgos, la episódica está anclada al contexto espacio-temporal, es sobre vivencias, se organiza temporalmente y está bajo la influencia de emociones. En cambio, en la memoria semántica, la información ha sido descontextualizada y comprende hechos, se organiza conceptualmente y forma jerarquías y redes semánticas que permiten extraer inferencias (Adrover *et al.* 2013). Pese a esta distinción, la memoria semántica puede derivarse de la episódica a fuerza de extraer de la repetición de experiencias la información que todas comparten (Buzsáki 2006).

El hipocampo se activa principalmente durante la recuperación de la memoria episódica, sobre todo con carga emocional. La actividad hipocampal es menor para la memoria semántica (Adrover *et al.* 2013). Su función, a este respecto, sería la de poner en relación representaciones semánticas dispersas sobre la corteza cerebral, posiblemente con objeto de crear conocimiento nuevo (Adrover *et al.* 2013). Para codificarse, la memoria explícita emprende un largo viaje desde la corteza a estructuras del complejo hipocámpico (v. § 4.3). Nuevamente, este asunto no es vital para nuestro objetivo de exponer los mecanismos constitutivos de la cognición de alto nivel, por lo que lo omitiremos.

8.2.3 Codificación.

La experiencia altera la actividad cerebral, que, reverberando y una vez alcanzado cierto umbral, puede alterar la estructura cerebral formando *huellas de memoria* (Adrover

et al. 2013). Esta plasticidad cerebral obedece el sencillo principio de Hebb (1949), donde la correlación de la actividad viene a determinar la fuerza de la comunicación entre neuronas: se fortalecen las conexiones entre neuronas activadas a un mismo tiempo y se debilitan las conexiones entre neuronas que se activan sin sincronía. A este respecto, más que en conexiones monosinápticas, cabe pensar en grandes poblaciones, con actividad sincrónica y posiblemente interconectadas mediante interneuronas (v. Buzsáki 2010). Así, se cree que las representaciones se codifican en poblaciones conocidas como *asambleas neuronales* (*neural assemblies*, Hebb 1949). Las huellas de memoria quedan, pues, impresas en estas asambleas donde se ve potenciada la comunicación. Por lo tanto, la codificación es una operación general al servicio de diversos sistemas de memoria, para la que se han encontrado mecanismos a nivel molecular (omitidos por tratarse de un nivel de análisis alejado de la escala espacio-temporal fijada en la presente tesis) y a nivel poblacional bajo la influencia de oscilaciones (v. § 8.2.6.1). La idea fundamental es que la codificación implica grupos de neuronas con actividad sincrónica y con información coherente cuyas conexiones pueden fortalecerse de forma duradera.

8.2.3.1 Sustrato.

Generalmente, las huellas de memoria se hallan distribuidas por toda la corteza, aunque suelen localizarse en áreas de asociación (Adrover *et al.* 2013). En concreto, la localización de cada huella depende de dónde se han computado inicialmente las representaciones. Por ejemplo, podríamos localizar, a grandes rasgos, los recuerdos perceptivos en la corteza posterior y los de naturaleza motora en regiones anteriores (v. Pulvermüller y Fadiga 2016). De hecho, hay estudios que demuestran localizaciones bastante específicas: verbigracia, las caras se almacenarían en la circunvolución fusiforme (Adrover *et al.* 2013). No obstante, sería un error pensar que hay una región específica para cualquier categoría que se nos ocurra. La codificación de las representaciones comparte un sustrato neuronal y una misma neurona puede formar parte de diferentes asambleas según el momento. Utilizando un símil lingüístico, la formación de representaciones surgiría de una combinación de rasgos más bien neutrales, de la misma manera que componemos morfológicamente las palabras a partir de rasgos comunes⁴².

⁴² Esta alteración estructural de las sinapsis no ocurre tan transparentemente sobre determinado sustrato neuronal, sino que la información emprende complejos viajes donde se reelabora, a través de los

8.2.4 Mantenimiento y manipulación. Memoria de trabajo.

El mantenimiento de la información puede ser evocado por *inputs*, pero también puede ser simplemente la reactivación de huellas de memoria. En esta línea, Ranganath *et al.* (2014) sugieren que la actividad reverberante que implementa la operación de *mantenimiento* es la misma si se activan temporalmente regiones que fueron fortalecidas al codificarse en memoria a largo plazo que si es evocada por estímulos. Conforme a esta visión, la barrera entre memoria a corto y a largo plazo se disuelve hasta cierto punto. Por lo tanto, el mismo mecanismo de actividad sincrónica que precede (y es condición indispensable para) el fortalecimiento de las conexiones (v. § 8.2.3) es el que también se utiliza para mantener la información (tal vez requiriendo que la actividad en la asamblea reverbere durante más tiempo en el último caso). La idea básica es que, para mantener la información codificada por determinada asamblea neuronal, la actividad de esta asamblea debe prolongarse en el tiempo. Mientras la asamblea esté activa, la información se conservará (dicho de otro modo, cuanto más se prolongue la actividad, más durará el mantenimiento de la información que representan las neuronas reverberantes). En cambio, cuando se pierda el patrón de actividad neuronal, la asamblea se disolverá y la información dejará de mantenerse, esto es, se perderá (v. Ranganath *et al.* 2014).

8.2.4.1 La manipulación o trabajo.

Normalmente, no sólo mantenemos la información, sino que “trabajamos” con ella a fin de conseguir algún objetivo. Por ejemplo, durante una tarea experimental, seguramente tengamos que realizar alguna operación con la información mantenida y ordenada temporalmente, aunque sea tan simple como reconocer elementos repetidos y pulsar un botón. Esta combinación de mantenimiento y manipulación de la información es lo que se conoce como *memoria de trabajo*, que:

“se define como el mantenimiento temporal y la manipulación de la información recién percibida o recuperada de la memoria a largo plazo cuando ya no está disponible para los sentidos, pero que es necesaria para dirigir la conducta encaminada a la consecución de un objetivo” (Adrover *et al.* 2013:433)

La arquitectura fundamental de un sistema de memoria a corto plazo unida a un sistema de manipulación o de trabajo se corresponde con el exitoso diseño del modelo de

ganglios basales, en la memoria implícita (v. § 8.2.1) y, a través del complejo hipocámpico, para la memoria explícita (v. § 8.2.2).

Baddeley (2012). Baddeley y Hitch (1974) introdujeron la idea de que había un sistema de control que se encargaba de manipular, pero no de mantener, la información. Sus funciones serían las de inhibir, seleccionar y manipular la información retenida en sistemas “esclavos” o gobernados por el sistema de control (v. § 8.5). Aparte, este modelo hace una división fundamental en información de carácter visual e información de carácter verbal, que, por útil que sea en el diseño de experimentos, se queda corta en el tipo de información que podemos retener. Así pues, en desarrollos posteriores, se introdujo un *buffer* multimodal capaz de integrar información diversa.

8.2.4.1.1 *Sustrato.*

Aunque no siempre se ha creído en la división de manipulación y mantenimiento en diversas regiones (v. Ranganath *et al.* 2014), asociándose tradicionalmente las áreas frontales al mantenimiento de información, en la actualidad goza de mayor aceptación la idea general de que las regiones anteriores se usan para la manipulación y las posteriores para el mantenimiento (Adrover *et al.* 2013). Usando un ejemplo simplificado, para la memoria de trabajo visuoespacial, las áreas frontales manipularían la información y las parietales la mantendrían (Miranda *et al.* 2013). No obstante, la idea de que las regiones posteriores son las que se ocupan del mantenimiento queda en entredicho al advertir que la mayor parte de la corteza cerebral se activa durante el mismo. En realidad, conforme a Ranganath *et al.* (2014), no existe un sitio particular para el mantenimiento a corto plazo, los conceptos, perceptos y acciones se mantienen a varios niveles de análisis en diferentes áreas corticales, incluso primarias⁴³.

Por el contrario, la visión más actual de la PFC es que se trata de un sistema orden superior cuya función es, en todo caso, mantener activa la tarea o gobernarla. Más concretamente, la dlPFC se considera el principal sustrato de la manipulación de la información, sea cual sea la modalidad sensorial (Adrover *et al.* 2013). Dentro de esta corteza prefrontal, se cree que las regiones dorsales se activarían para la información visuoespacial, y las ventrales para la información verbal (Miranda *et al.* 2013).

⁴³ En general, se ha defendido que la memoria de trabajo reclutaría: para información unimodal, las áreas sensoriales pertinentes; para información verbal, las cortezas parietal inferior, frontal inferior, prefrontal y las áreas premotora, área motora suplementaria y la región temporoparietal (Miranda *et al.* 2013), principalmente del hemisferio izquierdo (Adrover *et al.* 2013); para información visual, espacial y de objetos, regiones frontales, parietales, occipitales y temporales del hemisferio derecho (Adrover *et al.* 2013). Pese a ello, nótese que este mapeo de regiones tan vastas apenas aporta información acerca de cuál es el sustrato.

Aparte, también tradicionalmente se han excluido las áreas del complejo hipocámpico. No obstante, la disociación de memoria de trabajo e hipocampo no deja de ser contradictoria teniendo en cuenta el carácter explícito de la memoria de trabajo (Adrover *et al.* 2013), puesto que la memoria declarativa se vale, y mucho al parecer, del hipocampo y estructuras relacionadas. De hecho, estudios más recientes muestran que estructuras del complejo hipocámpico, como son las cortezas perirrinal, entorrinal y parahipocámpal, se activan durante el mantenimiento de información relevante, mostrando incluso selectividad por objetos (Ranganath *et al.* 2014). Por lo que respecta al hipocampo propiamente dicho, Ranganath *et al.* (2014) afirman que se requiere para el mantenimiento activo de estímulos nuevos y complejos, y para mantener información espacial y relacional a corto plazo, estableciendo, en general, relaciones arbitrarias entre objetos diversos.

8.2.4.2 Límites.

Un atributo importante del mantenimiento de información es su capacidad limitada: la información no puede sostenerse durante mucho tiempo ni abarcar demasiadas unidades (Adrover *et al.* 2013). Autores como Ranganath *et al.* (2014) han formulado la hipótesis de que los límites de la memoria a corto plazo dependen de los límites de la atención (v. § 8.3). Así, el número máximo de objetos que pueden sostenerse depende del número máximo de objetos que pueden ser seleccionados por la atención. Otros autores han atribuido el límite en el mantenimiento de objetos al número de oscilaciones rápidas (que los representan) que pueden incrustarse en oscilaciones lentas (que los organizan) (v. Lisman e Idiart 1995).

8.2.5 Recuperación.

Una tercera operación fundamental de la memoria es la de la recuperación: reactivar una huella de memoria, volver a un patrón de actividad cerebral similar al que causó la experiencia que acabamos consolidando. Miranda *et al.* (2013) notan que una mayor actividad del lóbulo temporal medial predice tanto una mejor codificación como una mejor recuperación. Asimismo, las estructuras del lóbulo temporal medial usadas para consolidar asociaciones entre estímulos son las que más tarde se utilizan para recuperar relaciones entre objetos, estímulos y lugares. Sin embargo, los mismos autores señalan que “los correlatos neuronales de la recuperación son asimétricos con respecto a

la codificación, especialmente en lo que respecta a regiones prefrontales ventrolaterales” (Miranda et al 2013:454).

De esta forma, se cree que la corteza prefrontal ventrolateral del hemisferio derecho se activa en la recuperación, mientras que en el hemisferio izquierdo se ocupa de la codificación. En ambos casos, la corteza prefrontal dorsolateral sería la encargada de seleccionar la información, ya sea por recuperar o por codificar (Miranda *et al.* 2013). Una hipótesis interesante es que el mecanismo de recuperación es de naturaleza atencional (Uncapher *et al.* 2014, v. Cabeza *et al.* 2008 sobre *attention to memory*). A este respecto, habría un subsistema de atención gobernado por la corteza parietal posterior (PPC) dorsal que se ocupa de la orientación de la atención *top-down*, mientras que el PPC ventral estaría más implicado en reorientar la atención a partir de información *bottom-up*. De forma paralela a lo que se hace con la atención respecto de la información sensoria, se cree que:

“dPPC [dorsal posterior parietal cortex] mechanisms are recruited to allocate attention to the goal of memory retrieval (e.g., when effortful pre- and/or post-retrieval processing is required to make a memory decision), and that relevant memory cues or recollected memories result in vPPC [ventral posterior parietal cortex] bottom-up attentional capture” (Uncapher et al. 2014:569)

8.2.6 Oscilaciones implementando mecanismos.

De acuerdo con Düzel *et al.* (2010), las oscilaciones *gamma* y *theta* proporcionan mecanismos para la memoria que consistirían, básicamente, en la representación y el mantenimiento *offline* de eventos o secuencias (ordenadas) de eventos, la inducción de la plasticidad durante la codificación y la recuperación de memorias guardadas. Además, las oscilaciones *theta* pueden servir para coordinar la interacción de regiones (distantes) implicadas en algunos procesos mnésicos (y de otros tipos) e incluso su temporalidad (v. § 5.4.8). En estos procesos, puede intervenir el control del sistema ejecutivo, al cual pueden atribuirse algunos mecanismos oscilatorios detectados en estudios de memoria que usarían *alpha* y *theta* (v. § 8.5.7). Finalmente, la interacción de estos ritmos, con sus respectivas funciones, puede estar detrás de la capacidad limitada de memoria (de trabajo): el límite en las interacciones de oscilaciones (a múltiples frecuencias) podría ser la causa de la cantidad máxima de objetos que somos capaces de retener (v. § 8.2.6.2.1).

8.2.6.1 Para la codificación.

La temporalidad de los *inputs* es importante para la plasticidad sináptica conocida como dependiente del tiempo de los disparos (de las neuronas) (*spike-timing-dependent plasticity*) (Jutras y Buffalo 2010). Por lo tanto, las oscilaciones, al regular la temporalidad de los disparos de las neuronas en tiempo real, pueden influir en las modificaciones estructurales del cerebro a largo plazo. Como resumen Caporale y Dan (2008), tradicionalmente los *inputs* de alta frecuencia se han correlacionado con la *potenciación a largo plazo*, mientras que se ha creído que los *inputs* a baja frecuencia inducían *depresión a largo plazo*. Sin embargo, trabajos recientes sugieren que la temporalidad de la actividad se orquesta con una complejidad mayor. Así pues, están implicados acoplamientos inter-frecuencia de ritmos rápidos y lentos, la alineación precisa de las fases, etc. (Canolty y Knight 2010).

La idea general es que el orden de las descargas entre neuronas pre y postsinápticas es decisivo (v. Caporale y Dan 2008 y las referencias ahí). En este sentido, cuando el disparo de la neurona presináptica precede el disparo de la postsináptica se produce la potenciación a largo plazo; por el contrario, se da la depresión a largo plazo cuando la neurona presináptica se descarga después (Jutras y Buffalo 2010). Pese a ello, si media demasiado tiempo entre los disparos, no se inducirá ningún cambio en la sinapsis, ya que para que se produzcan los cambios a largo plazo, se necesita una ventana temporal dentro de la cual coincidan las descargas pre y postsinápticas (Jutras y Buffalo 2010).

A este respecto, Markram *et al.* (1997) muestran que cuando hay un retraso superior a 100 ms entre las descargas pre y postsinápticas no se producen cambios sinápticos eficaces. Por el contrario, la ventana temporal atribuida comúnmente a la plasticidad es mucho más breve, en torno a la duración de un ciclo *gamma*. Como muestran Bi y Poo (1998:10468), “potentiation was consistently induced when the postsynaptic spikes peaked within a time window of 20 msec after the onset EPSPs [*Excitatory Postsynaptic Potential*], whereas depression was induced when the spikes peaked within a window of 20 msec before the onset of EPSPs”. Por lo tanto, las oscilaciones rápidas pueden proporcionar un mecanismo para que las neuronas descarguen dentro de ventanas temporales breves. De esta forma, los disparos de las neuronas presinápticas tienen un fuerte impacto en compañeras *downstream* y se pueden crear las condiciones necesarias para que los cambios sinápticos tengan lugar (Jutras y

Buffalo 2010). De hecho, se ha mostrado que la actividad rítmica más fuerte en la fase de codificación se correlaciona con una mejor recuperación de los objetos en tareas memorísticas (Jutras *et al.* 2009).

Además, estas oscilaciones rápidas están reguladas por otros ritmos lentos en que se incrustan (comúnmente *theta*). El poder y la frecuencia del ritmo rápido varía en función de la fase del ritmo lento. Por ejemplo, el poder *gamma* es máximo en el valle de la oscilación *theta*; y la *gamma* lenta predomina en la fase descendente de *theta*, mientras que la *gamma* rápida lo hace en el valle (Jutras y Buffalo 2010). El ritmo lento puede ser una pieza clave para conectar las áreas distantes implicadas en el proceso de memoria, así como regular el flujo y la dirección de la información entre dichas áreas. La fase del ritmo lento, además, puede influir en el tipo de cambios sinápticos que se producen. A este respecto, Jutras y Buffalo (2010 :152) señalan que “stimulation at peak of theta in rodent hippocampus produces LTP [Long Term Potentiation]; stimulation at trough produces LTD [Long Term Depression]”. Por ende, a pesar de ser un ritmo lento, *theta* también modula la plasticidad neuronal a largo plazo (Düzel *et al.* 2010), influyendo en la codificación de huellas de memoria. Efectivamente, la presencia de oscilaciones *theta* del hipocampo y estructuras del lóbulo temporal medial mejora la adquisición de recuerdos.

8.2.6.2 Para el mantenimiento.

En el caso del mantenimiento se ha propuesto que las oscilaciones implementan mecanismos de: coordinar las representaciones corticales distribuidas, representar los ítems o estímulos y mantenerlos activos, y organizarlos temporalmente, esto es, codificar el orden o la secuencia en que se presentan (Düzel *et al.* 2010). Entre todos los mencionados, el mecanismo fundamental y que, estrictamente, significa mantenimiento de información, es el de mantener en un estado activo la asamblea neuronal que constituye la representación. Para ello, se ha propuesto que *gamma* es capaz (y *beta*, v. Engel y Fries 2010), con su actividad reverberante, de combinar los rasgos que constituyen la representación de la asamblea y hacer que las neuronas sigan disparando durante el periodo en que la información debe mantenerse. En este sentido, las oscilaciones proporcionan básicamente un mecanismo de mantener una actividad neuronal controlada y persistente, de modo que los disparos de las neuronas que codifican la información relevante se sostengan en el tiempo.

Nuevamente, los ciclos *gamma* se encuentran incrustados en *theta*. Cuando esto ocurre, se da un mecanismo de codificación por fase en que las neuronas que codifican representaciones distintas disparan en puntos distintos de la fase del ritmo lento (*theta*) que las domina (v. § 5.4). La interacción *theta/gamma* sirve así para organizar la información. De este modo, por ejemplo, cuanto más tarde se presenta un estímulo en una secuencia, más avanzado dispararán las neuronas correspondientes en relación con la fase de *theta*. Al aumentar la carga de memoria (más ítems), aumenta la sincronización entre *theta* y *gamma* entre regiones y dicha sincronía se pierde cuando se sobrepasa la capacidad de memoria (Sauseng *et al.* 2009).

8.2.6.2.1 Límites.

Si entendemos que los ciclos *gamma* representan objetos, y que estos se incrustan en ciclos *theta* que los organizan y les dan coherencia de alguna forma, cabe la posibilidad de que el número máximo de ítems que pueden sostenerse sea el número máximo de ciclos de *gamma* incrustados en *theta*. De hecho, esto es lo que propone el modelo de Lisman e Idiart (1995): el límite de la memoria de trabajo (verbal), que serían unos 7 objetos (dos arriba, dos abajo), se debería a que este es el número de ciclos *gamma* que pueden incrustarse dentro de un ciclo *theta* (v. §5.4.7).

8.2.6.2.2 Para el trabajo.

De acuerdo con Sauseng *et al.* (2009), el mantenimiento de información a corto plazo en la memoria de trabajo dependería no sólo de la capacidad de retener la información relevante, sino de suprimir la información distractora. Para ello, ejecutado desde el sistema de control ejecutivo, se ha apuntado a la oscilación *alpha*. Sauseng *et al.* (2009) detectan *alpha* en regiones donde se procesaría información irrelevante o distractora (en el lado ipsilateral con respecto a los estímulos relevantes). La amplitud de este ritmo es mayor a mayor necesidad de suprimir información distractora. Por ello, *alpha* aparece como un ritmo correlacionado con la capacidad de mantener información.

La organización de la información mediante el ritmo *theta* (y su interacción con las oscilaciones *gamma*) puede considerarse un proceso en el que están implicadas las funciones ejecutivas, que actuarían sobre los sistemas esclavos en que se mantiene activa la información, controlando el flujo de información mediante la coherencia obtenida por ritmos lentos. De hecho, *theta* y *alpha* se han disociado en experimentos de memoria de trabajo (Sauseng *et al.* 2009). Estos autores, variando el número de estímulos relevantes

e irrelevantes, mostraron una correlación entre estímulos relevantes y *theta*, por un lado, y estímulos irrelevantes y *alpha*, por otro

Otros estudios en los que se analiza la relación entre memoria de trabajo y las oscilaciones son Dippopa y Gutkin (2013) y Roux y Uhlhaas (2014). Según los primeros, las representaciones se cargarían en la memoria de trabajo mediante *gamma* y *beta*, se mantendrían y se ignorarían los distractores mediante *theta*, y se actualizarían o eliminarían mediante *alpha*. De acuerdo con Roux y Uhlhaas (2014), las oscilaciones *gamma* se ocuparían del mantenimiento de información, *alpha* de inhibir la información distractora, y *theta* de la organización de esa información, siendo por lo tanto un estudio más coherente con las funciones atribuidas a los ritmos arriba. En todos estos trabajos, sin embargo, nos encontramos con mecanismos que parecen definitorios de la memoria (como el mantenimiento) entremezclados con mecanismos que parecen más característicos del sistema de control ejecutivo, que se analizarán en. § 8.5.

8.2.6.3 Para la recuperación.

Hasta donde sé, la explicación, en términos de mecanismos oscilatorios, de la recuperación de memorias es menos exhaustiva, aunque sigue teniendo especial importancia la oscilación *theta*. De acuerdo con Düzel *et al.* (2010), las oscilaciones *theta* podrían servir para agrupar la información del contexto, el tiempo, sensoria, etc. que constituye los recuerdos. Se cree que toda esta información está distribuida por la corteza y que el lóbulo temporal medial hace de estructura de convergencia, de modo que las oscilaciones *theta* y *gamma* sirven para acoplarlas. Seguramente, *theta* se ocupe de las conexiones a larga distancia y de regular la computación *gamma* más local que interconecta (v. abajo).

8.2.6.4 Coordinación de áreas (CTC) y control de temporalidad.

El ritmo *theta* puede servir para coordinar las áreas implicadas en el procesamiento (de la memoria). Se ha observado, a gran escala, *theta* sincronizando regiones que están funcionalmente activas durante este tipo de tareas: el hipocampo, la corteza prefrontal y el estriado ventral, por ejemplo (Düzel *et al.* 2010). De modo más local y usando un ritmo más rápido, se ha observado coherencia a *gamma* rápido sincronizando la CA1 del hipocampo y la EC, que proporcionarían información sensoria, y *gamma* lento sincronizando CA1 y CA3 en el hipocampo, que aportarían información recuperada de la memoria a largo plazo (Düzel *et al.* 2010). Además, estas *gammas*

distintas se encuentran en diferentes fases del *theta* en que se pueden incrustar. De este modo, la coherencia a diferentes bandas puede servir para multiplexar y controlar la temporalidad del procesamiento. El *gamma* rápido serviría para la codificación de información y el *gamma* lento para la recuperación. El control de esa temporalidad puede estar gobernada por el sistema de control ejecutivo, que se valdría de la fase de *theta*, haciendo que la codificación se produjera antes, pero separada, de la recuperación.

8.2.7 Relación entre memoria y lenguaje.

El lenguaje, en su componente no innato, debe adquirirse mediante sistemas de memoria que, conforme a la visión de la presente tesis, deben ser generales (v. Pulvermüller y Fadiga 2016). Por consiguiente, los mecanismos y el sustrato neuronal de dichos sistemas debería condicionar los mecanismos y el sustrato de algunos componentes del lenguaje (v. Ullman 2016, § 9.1). Ahora bien, esto plantea una cuestión: ¿qué es lo que se adquiere en el lenguaje? ¿cuánto hay de memoria en el conocimiento o el procesamiento lingüístico? Las teorías de corte minimista tratan de reducir la adquisición al léxico, cuyas unidades pueden, a mi juicio, concebirse como huellas de memoria de naturaleza semántica (v. § 2.4). Estas se concebirán como asambleas distribuidas básicamente por las cortezas de asociación y con rasgos más específicos procesados en regiones más específicas (v. § 9.1). Una segunda dimensión del lenguaje que podría aprenderse, más sujeta a debate, es la sintaxis. Conforme a una concepción del lenguaje más reglar, la sintaxis podría consistir, a grandes rasgos, en un conjunto de reglas que se siguen para combinar las piezas léxicas. De este modo, las reglas sintácticas podrían considerarse memoria procedimental, por coincidir con la misma en que almacenan información del “cómo” de procesos (Adrover *et al.* 2013), en este caso, consistentes en la combinación de elementos lingüísticos (v. Ullman 2016). A favor de ello suele argumentarse que la adquisición de la sintaxis consiste en la formación de conocimiento implícito, puesto que no podemos declarar cuál es nuestro conocimiento sintáctico.

Esta visión reduce la sintaxis a reglas, pero las reglas tratan de etiquetar, a mi juicio, fenómenos muy poco comprendidos (como ocurren en el caso de los rasgos, v. § 2.4.3.4). Por ejemplo, en el caso del sistema de control ejecutivo, se habla de reglas que guían la conducta, pero esto plantea dos problemas: primero, las reglas son mapeos rígidos, y nuestro comportamiento (lingüístico o de otro tipo) es flexible o (parece)

creativo; y segundo, al postular una regla no nos estamos pronunciando sobre los mecanismos responsables de su aplicación. Sin estos mecanismos, una regla me parece inerte, aun en el caso de que el comportamiento estuviera guiado por las mismas. A pesar de que es innegable que parte del conocimiento lingüístico no puede ser declarado, creo que inferir de ahí que se trata de memoria procedimental (en forma de reglas) supone un salto demasiado grande. En este sentido, el procesamiento lingüístico (en su vertiente más sintáctica) podría tener lugar de forma inconsciente, pero ser producto de mecanismos generales del cerebro, determinados genéticamente. No se trataría, pues, de algo adquirido a partir de mecanismos de memoria. El procesamiento sintáctico se seguiría de la propia estructura y de los principios del cerebro.

Para ilustrar estas ideas, podemos valernos de cómo funcionan otros dominios cognitivos abordados en el presente capítulo. Nadie le enseña a uno a recordar, atender o ser consciente de las cosas, y uno no tiene la menor idea de cómo lo hace. Sin embargo, esto no nos legitima para decir que la memoria, la atención o la consciencia dependen de la memoria procedimental. Afirmar que estos sistemas operan conforme a reglas equivale a no decir nada si no somos suficientemente explicativos sobre esas reglas (un problema similar ocurre con las funciones ejecutivas). Por el contrario, recordamos, atendemos y somos conscientes por cómo funciona el cerebro, por los mecanismos que habilita una estructura cuyo desarrollo está determinado genéticamente. De la misma forma que un corazón bombea porque así se desarrolla su estructura, el cerebro usa mecanismos de codificación, selección, globalización ... de representaciones. Puede que así se esté describiendo un hecho, más que dar una explicación profunda del fenómeno, pero no tiene sentido decir que un corazón bombea sangre porque sigue una regla, ni que un cerebro realiza ciertas computaciones porque sigue ciertas reglas. El lenguaje no debería ser una excepción.

Contra esta visión, se podría argumentar, desde una concepción simplista del innatismo, que el lenguaje es producto de un proceso de aprendizaje, basándose en que no está, pongamos, en el nacimiento. Sin embargo, las estructuras y sistemas innatos necesitan de un proceso de desarrollo (bajo la influencia del entorno de todo tipo, como es el caso del mismo corazón o de otros sistemas cognitivos, seguramente interdependientes). Por consiguiente, aunque la sintaxis no sea una cosa que se enseñe ni seamos conscientes de su funcionamiento, no debe asociarse automáticamente un tipo de aprendizaje procedimental. Sus mecanismos constitutivos dependen de algo mucho más

profundo, de cómo computa el cerebro por cómo ha evolucionado, por cómo es. Como se discute en § 8.4.1, hay muchísimos procesos que no alcanzan la consciencia. Somos inconscientes de los mecanismos computacionales que empleamos y no por ello los reducimos a memoria procedimental. En este sentido, no se aprende a formar huellas de memoria, simplemente se tiene esa capacidad. De hecho, ni el mismo sistema de memoria es todo memoria: además de las huellas, están los mecanismos de codificación, mantenimiento, recuperación, etc. En definitiva, la sintaxis es dinámica y puede surgir básicamente de la combinación de mecanismos neutrales, por lo que la asociación con la memoria procedimental puede no ser tan significativa como suele pensarse. Sin embargo, creo que existe una dependencia muchísimo más profunda entre el lenguaje y los mecanismos de la memoria.

Además del sustrato neuronal sobre el que se formarán las representaciones lingüísticas, el componente innato del lenguaje guarda una relación tanto o más profunda con los mecanismos de la memoria. Esto no obsta para la implicación de los ganglios basales y de sistemas frontales en el procesamiento lingüístico, comúnmente asociados a reglas y a lo procedimental, pero que son también parte del sistema ejecutivo y atencional cuyos mecanismos, se defenderá, están detrás de la manipulación de las representaciones sintácticas. Dada la centralidad de la sintaxis en el modelo de la presente tesis, pudiendo concebirse aquella como la manipulación activa de huellas de memoria, cabe esperar una estrecha relación entre los mecanismos lingüísticos y los de la memoria de trabajo (controlada por el sistema de control ejecutivo) (v. Caplan 2016). Las representaciones deberán reactivarse y mantenerse activas durante el procesamiento lingüístico para su manipulación (en un espacio que se puede asociar al mismo tiempo al *buffer* general de la memoria de trabajo y al *global workspace* (GW) de la consciencia, v. § 9.2). Además, el mapeo neuroanatómico de la memoria de trabajo y el lenguaje es similar (v. Baddeley 2012).

8.3 Atención

La atención es la capacidad de *seleccionar* un subconjunto de entre toda la información disponible (v. Chica y Checa 2013). Puede que desde un punto de vista complementario, la atención consista igualmente en poder *ignorar* el resto de información. Tal selección resulta indispensable dados los límites del cerebro para

procesar información simultáneamente. Contamos con unos recursos muy limitados que deben administrarse bien. Pensando, por ejemplo, en los sistemas sensoriales, hay muchísimos *inputs* que no llegamos a percibir conscientemente (sobre la relación entre atención y consciencia, v. § 8.4.4). Sólo unos pocos, que podrían considerarse relevantes en el sentido de que pueden guiar el comportamiento hacia nuestras metas, serán seleccionados. Así, en cierto sentido, la atención regula el paso de información a regiones de mayor orden, pudiendo alcanzarse en última instancia la consciencia (Chica y Checa 2013).

8.3.1 Subprocesos atencionales.

La atención, como el resto de dominios cognitivos, puede descomponerse en varios procesos: *alerta*, *orientación* y *control* (v. Chica y Checa 2013, Petersen y Posner 2012 para revisiones). No obstante, puede que en un sentido estricto “atender” no sea más que, a nivel mecanístico, (des)favorecer el procesamiento de cierta información (ir)relevante (lo cual podría restringirse al subproceso de orientación).

8.3.1.1 Alerta.

Por “alerta” podemos entender un estado en que se favorece el procesamiento de la información (Chica y Checa 2013). Generalmente, nos encontramos en un estado de vigilancia por defecto, conocido como *alerta tónica*. El mantenimiento de este estado requiere algo de esfuerzo y va deteriorándose cuanto más tiempo lo sostengamos. La sensibilidad a determinados *inputs*, por así decirlo, puede agudizarse más en respuesta a determinada señal, externa o interna. Así, nos preparamos a procesar con mayor rapidez (en detrimento de la precisión) la información que está por llegar, entrando en un estado de alerta mayor conocido como *alerta fásica* (Chica y Checa 2013).

8.3.1.2 Orientación.

El segundo subproceso de la atención, la “orientación”, consiste en la selección de información relevante para el individuo, redundando en la consecución de sus metas o en su supervivencia (Chica y Checa 2013). Cuando seleccionamos voluntariamente estímulos conforme a nuestros objetivos, la orientación es *endógena*; por el contrario, cuando la orientación es involuntaria y captada por elementos externos, es denominada *exógena*. La orientación es, y necesita ser, transitoria y flexible. Por ejemplo, la señal

saliente que supone un destello puede conducir nuestros recursos atencionales hacia su localización, facilitando el procesamiento de la información en ese campo receptivo durante un breve lapso de tiempo. Sin embargo, transcurrido ese lapso, el procesamiento será más rápido en campos distintos, y más lento en el atendido (origen del destello). Este mecanismo, llamado *inhibición de retorno*, nos permite escanear más eficientemente el entorno sin quedarnos enganchados a ciertos campos (Chica y Checa 2013): de poco nos serviría embobarnos con la vista fija en el lugar de donde procedía el destello. Cuando el foco de la atención se va desplazando de un lugar a otro, se da lo que se conoce como *shifts* de atención.

8.3.1.3 Control.

En tercer lugar, nos encontramos con un subproceso que suele incluirse en la atención, pero del que se valen también otros dominios cognitivos y puede considerarse un sistema en sí mismo: el *control ejecutivo*. El control ejecutivo, al participar en la atención, se encarga de supervisar qué información es relevante y debe, por tanto, ser atendida, y, de la misma manera, qué información es irrelevante y debe ser inhibida (Chica y Checa 2013). Las decisiones del control ejecutivo no sólo resuelven la competición entre estímulos, sino también qué acción de las múltiples opciones será la ejecutada (Chica y Checa 2013). Es gracias a esta flexibilidad que nos podemos adaptar a circunstancias cambiantes y seguir cumpliendo nuestros objetivos.

8.3.1.4 El locus de la selección.

De todo lo dicho se sigue que la atención, con mayor o menor “focus”, selecciona o filtra información bajo el control de otro sistema. No obstante, todavía no sabemos en qué momento o lugar en la jerarquía del procesamiento actúa este filtro o, dicho de otro modo, *cuándo* se produce el proceso que conocemos como orientación. Se trata de la cuestión clásica del locus de la selección (Luck y Kappenman 2011). De acuerdo con Chica y Checa (2013), existen dos posibilidades: por un lado, la selección temprana, que ocurre en las primeras etapas del procesamiento de la información; y, por otro lado, la selección tardía, donde el filtro se sitúa a las puertas de la consciencia y una vez se procesan rasgos de orden superior. Al parecer, no estamos frente a opciones excluyentes, de modo que el filtro no tiene una posición fija (Chica y Checa 2013). Lucky Kappenman (2012) intentan resolver la paradoja que plantean los efectos de la atención temprana y

tardía en distintos ERP aduciendo que la atención opera sobre un sistema dado cuando dicho sistema está sobrecargado.

8.3.2 Sustrato neuronal.

Existe la idea de que la atención depende, en parte, de los circuitos neuronales del movimiento ocular: por ejemplo, ambos procesos reclutan el campo ocular frontal y los colículos superiores, pero sólo la atención implica la región temporo-parietal (asociada de la red atencional ventral) (Chica y Checa 2013). A este respecto, cabe ser precavido: el sustrato en común puede ser un hecho, habiéndose construido efectivamente los mecanismos atencionales sobre otros visomotores más primitivos. Pero esta confluencia puede ser también un espejismo creado por la marcada tendencia a centrar los estudios en la atención visual. Así las cosas, puede ser preferible un acercamiento más neutral para identificar las estructuras cerebrales implicadas a partir de la división que hicimos arriba, donde la atención se compartimentaba en los subprocesos de alerta, orientación y control.

El proceso de alerta estaría lateralizado en el hemisferio derecho, y reclutaría “la corteza cingulada anterior, la corteza dorsolateral frontal y el núcleo reticular del tálamo” (Chica y Checa 2013:401). El nivel de alerta dependería de la noradrenalina y el locus cerúleo, que son, respectivamente, un neurotransmisor/hormona y una estructura del puente tronco encefálico. La orientación de la atención, por su parte, dependería de dos redes: una fronto-parietal dorsal y una fronto-parietal ventral.

“La red frontoparietal dorsal incluye un conjunto de regiones parietales, como la circunvolución angular y la circunvolución supramarginal, y frontales, como los campos oculares frontales, las áreas motoras suplementarias y la ínsula. Asimismo, también forma parte de esta red, el núcleo pulvinar del tálamo. Por su parte, la red frontoparietal ventral incluye la unión temporoparietal y la circunvolución frontal inferior” (Chica y Checa 2013:400)

Por último, el control de la atención sería ejercido por la corteza cingulada anterior y la corteza dorsolateral frontal (Chica y Checa 2013) (v. § 8.5.6 para un sustrato más detallado de las funciones ejecutivas).

8.3.3 Mecanismos oscilatorios.

Como revisan Womelsdorf *et al.* (2014b), la función de la atención es poner en comunicación neuronas que representan información relevante y desacoplar o filtrar las neuronas que representan estímulos distractores o irrelevantes. O sea, seleccionar un subconjunto de información y deseleccionar el resto. Una manera de obtener ese efecto

es modulando el impacto que tengan unas neuronas (bajas en la jerarquía) sobre otras (en regiones de mayor orden). Para ello, la actividad sincrónica de las neuronas activadas por el estímulo atendido puede tener un efecto mayor sobre sus compañeras (v. § 5.4.1).

Así las cosas, la implementación de la selección puede resultar de combinar mecanismos oscilatorios que regularían la sincronía entre las poblaciones neuronales (v. § 5.4). Esta selección u orientación de la información puede ser tipo exógeno o endógeno. Cada uno de estos tipos se ha asociado a un ritmo diferente: *gamma* para lo exógeno o *bottom-up*; *beta* para lo endógeno o *top-down* (aunque no se descarta una colaboración de ambos). Además, la desección de información podría estar implementada mediante una oscilación *alpha* y la organización temporal de estos mecanismos depender de *theta* (v. §§ 5.4.8). No obstante, estas funciones serían más propias de estructuras y funciones del sistema de control ejecutivo que de la atención.

8.3.3.1 Orientación/selección.

La idea de que las neuronas se comunican al sincronizarse (rítmicamente) no es más que la hipótesis de la CTC. Para la formación de asambleas de neuronas en comunicación, intervienen mecanismos como la detección de coincidencia (los *inputs* sincrónicos son más efectivos despolarizando las neuronas *downstream*) y la modulación de ganancia (el estado, posiblemente oscilatorio, de la propia neurona diana influye en el efecto que tendrá ese *input* presináptico, v. §§ 5.4.1-5.4.2). Las oscilaciones, sostenidas en la población, hacen que las neuronas que disparen dentro de las ventanas temporales dictadas por la inhibición sean seleccionadas y pasen a integrar la asamblea, mientras que las neuronas asincrónicas no serán seleccionadas (v. § 5.4.4). La selección habilitada por las oscilaciones, a una escala temporal rápida, y la modulación de la efectividad en la comunicación neuronal y en el flujo de la información responden a las necesidades funcionales impuestas por el sistema atencional (Womelsdorf *et al.* 2014b). Básicamente, se propone que la sincronía de oscilaciones, conforme a la hipótesis de la CTC, sirve para comunicar las neuronas que codifican lo relevante o atendido, y dejar fuera de fase o inhibidas las que codifican lo irrelevante o no atendido (v. § 5.4.4).

8.3.3.1.1 Bottom-up y gamma.

Un buen ritmo candidato es *gamma* (Womelsdorf *et al.* 2014b), observándose sincronía a esa banda entre V4, V1 y los campos oculares frontales, implicando básicamente las capas corticales superficiales (v. § 6.1.1) y con una direccionalidad

básicamente de tipo *bottom-up*. Esta sincronía se establece entre regiones que comparten campos receptivos, que a su vez se corresponden con la localización del estímulo atendido. La función de las asambleas a *gamma* podría ser la de procesar el estímulo atendido.

8.3.3.1.2 Top-down y beta.

Se observa sincronía *beta* entre V4 y regiones de mayor orden, como la corteza parietal posterior y la corteza prefrontal dorsolateral, que remiten al sistema de control ejecutivo (o a la memoria de trabajo y el control de la atención si incluimos las funciones ejecutivas como parte de estos dominios). Esta sincronía se conseguiría mediante las conexiones de *feedback* a través de las capas corticales profundas (v. § 6.1.2) (Womelsdorf *et al.* 2014b). La función de la asamblea a *beta* podría ser habilitar la comunicación con regiones de mayor orden que deciden qué estímulo es el relevante y debe ser atendido. Una interpretación es que la selección de información relevante parece conseguirse mediante una sincronización *gamma* facilitadora del procesamiento y controlada por regiones de mayor orden que ejercen su influencia mediante *beta*. Otra interpretación es que la atención *bottom-up* actúa a nivel más local, donde *gamma* es suficiente (v. § 5.3 sobre relación entre extensión del ritmo y frecuencia); mientras que la atención *top-down* trabaja a *beta*, necesiándose de un ritmo más lento para obtener la sincronía necesaria..

8.3.3.2 La temporalidad rítmica de la selección.

Lo discutido en la sección previa sería la implementación de la operación de la selección. Sin embargo, Womelsdorf *et al.* (2014b) señalan que esta selección ocurre con determinada periodicidad, rítmicamente. De nuevo, los mecanismos oscilatorios de la creación de patrones (v. § 5.4.8) y de codificación por fase (v. § 5.4.7) podrían permitir que la selección se sucediera con determinado patrón temporal y que la información seleccionada en cada ciclo quede organizada u ordenada sin mezclarse (v. § 5.4.6). Según Womelsdorf *et al.* (2014b), los *shifts* de la atención se producen mediante un ritmo *theta*, cuya fase puede reiniciarse, y que abarcaría toda la red atencional. Básicamente, focalizaríamos la atención de manera secuencial de un sitio a otro a un ritmo de 4Hz. En mi opinión, esto no deja de ser la creación de un patrón de actividad neuronal y, consecuentemente, de comportamiento, mediante oscilaciones.

Además, la incrustación de *gamma* en *theta* podría habilitar la distinción de los diferentes objetos atendidos, gracias al mecanismo de multiplexación por división de tiempo o codificación por fase implementado por la interacción de oscilaciones a distinta frecuencia. No obstante, se cree que los distintos objetos atendidos caen en distintos ciclos *theta* (Womelsdorf *et al.* 2014b). En tal caso, más que de un mecanismo de codificación por fase, parece tratarse de un mecanismo de creación de patrones temporales. La razón es que los objetos no se organizan en distintos puntos de la fase del ciclo *theta*, sino en diferentes ciclos *theta*. Es la separación temporal a banda *theta*, y no la separación temporal a menor escala dentro de cada ciclo *theta*, la que discrimina los objetos.

8.3.3.3 Deselección.

El mecanismo oscilatorio que implementa la selección de determinada población neuronal puede servir, al mismo tiempo, para deseleccionar el resto. Si las neuronas que están alineadas con la fase de la oscilación (*beta* o *gamma*) son seleccionadas, las neuronas que no están alineadas con la fase del ritmo quedan fuera de la asamblea, y son, automáticamente, deseleccionadas (v. § 5.4.4). Sin embargo, en los estudios de la atención no es raro encontrarse con un ritmo *alpha* que realiza una función inhibitoria sobre regiones que interfieren en el procesamiento o codifican información irrelevante o no atendida (v. Foxe y Snyder 2011, y § 7.1.3). Esta función de *alpha* inhibitoria se ha identificado también como responsable de un subproceso o mecanismo inhibitorio del control ejecutivo (v. § 8.5.7), que posiblemente sea el sistema que la ejerce. Dado que la función inhibitoria de *alpha* me parece controvertida, mecanísticamente redundante hasta cierto punto para la desección de información y atribuible a otro dominio cognitivo (a pesar de que concibamos los mecanismos como neutrales, v. § 3.3), no me extenderé en este punto.

8.3.4 Relación entre atención y lenguaje.

Nuestro interés se centra en identificar propiedades compartidas tanto por los mecanismos de la atención como del lenguaje. Así pues, la operación de selección atencional puede relacionarse con mecanismos lingüísticos: la selección de las piezas léxicas en el mecanismo de *selección* (v. § 9.1) y la selección de los núcleos de las estructuras (sintagmas o fases) (v. § 9.3). De hecho, para uno y otro caso, se propondrá el uso de ritmos *gamma* y *beta*, relacionados con la atención *bottom-up* y *top-down*

respectivamente, por tratarse en el primero de un procesamiento más local, y en el segundo de un proceso que requiere mayor participación de las funciones ejecutivas. Además, se defenderá que los mecanismos que regulan la temporalidad de la atención (mediante oscilaciones *theta*) pueden regular asimismo la temporalidad del procesamiento lingüístico (v. § 9.4.4). En apoyo de esta hipótesis, nos encontramos con el hecho de que tanto en el procesamiento lingüístico como en el atencional se han identificado tres fases con correlatos electrofisiológicos similares (Pulvermüller 2010, Luck y Kappenman 2012) y asociadas al procesamiento de objetos de complejidad similar. Desde la neurolingüística, se han identificado tres fases al comienzo del procesamiento (v. tabla 1 basada en el modelo de Friderici 2002 *et seq.*):

Tabla 2 Fases del procesamiento lingüístico simplificadas.

Lenguaje			
Fase	Tiempo	ERP	Computación
Fase 0	0-120ms	N100, MMN	Rasgos
Fase 1	120-200ms	ELAN	Sintaxis local
Fase 2	300-500ms	LAN, N400	Sintaxis/semántica

Cuando se habla de operaciones atencionales, es común asociar la orientación a un componente electrofisiológico (v. Luck y Kappenman 2011). La idea general es que, en un primer estadio “pre-perceptivo” (a los 100ms de la presentación del estímulo), se atienden locaciones; luego (a los 200ms), en un estadio “perceptivo”, rasgos; y por último (a los 400ms), en lo que sería una fase “post-perceptiva”, se atienden objetos. Cada una de estas tres fases se corresponde con un efecto sobre determinado ERP, básicamente modulando su amplitud (generalmente, se aumenta mediante influencia *top-down* la señal en las regiones que procesaría la información). Así, la fase 1 se asocia al P1 (funcionalmente ligado a la inhibición de la información irrelevante) y el N1 (vinculado al procesamiento de la información relevante); la fase 2, al P2 (en regiones anteriores) y a la *selection negativity* (en regiones posteriores); y la fase 3, al P3 (asociado a la consciencia) y el N400 (relacionado con la semántica (Luck y Kappenman 2011, Chica y Checa 2013).

Tabla 3 Fases de la orientación atencional simplificadas.

Atención			
Fase	Tiempo	ERP	Computación
Fase 1	100ms	P1, N1 (o N100)	Prereceptiva
Fase 2	200ms	P2	Perceptiva
Fase 3	300-400ms	P3, N400	Postreceptiva

La comparación de estas fases lingüísticas y atencionales pone de manifiesto que ambos procesos comparten rasgos significativos, tanto en lo que respecta al tiempo como a los correlatos electrofisiológicos y a las computaciones que se les atribuyen sobre representaciones de una complejidad creciente. De este modo, pueden relacionarse la fase 0 lingüística con la fase 1 atencional; la fase 1 lingüística con la 2 atencional; y la fase 2 lingüística con la 3. Así pues, las tres fases del lenguaje y de la atención quedan temporalmente espaciadas por unos 100ms la una de la otra: la fase 0 lingüística ocurriría hasta los 100ms, de forma equivalente a la fase 1 atencional; tanto la fase 1 lingüística como la fase 2 atencional tendrían lugar hasta los 200ms; y, finalmente, la fase 2 lingüística y la fase 3 atencional se producirían en torno a los 300ms, o un poco más tarde. Asimismo, diferentes fases atencionales y lingüísticas comparten la modulación de componentes: el N1 es compartido por la fase 0 lingüística y la fase 1 atencional; y el N400 aparece tanto en la fase 2 lingüística como en la fase 3 atencional.

Además, a través de las diferentes fases, ya sean lingüísticas o atencionales, se escala en la complejidad del objeto procesado. En neurolingüística, se cree que se pasa de procesar rasgos a una sintaxis más local y a una sintaxis más compleja. De forma parecida, en la atención se pasa de atender locaciones a rasgos y a objetos. Siguiendo con la analogía, así como en el lenguaje el procesamiento de una fase sirve de *input* para la siguiente, en la atención se ha defendido que la atención a una locación (fase 1) es un requisito para poder atender a rasgos (fase 2) que, integrados, acaban formando el objeto atendido (fase 3). Por todo lo dicho, existen también correspondencias significativas a nivel funcional.

Es interesante notar que, a pesar de que la relación entre oscilaciones y ERP no está clara (v. Bastiaansen *et al.* 2011), las separaciones temporales entre las fases de entre

100ms o 200ms se corresponden más o menos con un ritmo a frecuencia *alpha* o *theta*, respectivamente. Crucialmente, las oscilaciones *theta* se han identificado como un mecanismo para organizar temporalmente los procesos atencionales (v. § 9.4.4). Si la organización temporal del procesamiento lingüístico y atencional coinciden, parece plausible que la misma oscilación *theta* sirva para organizar temporalmente los patrones de generación de estructura en el lenguaje.

8.4 Consciencia

Una definición accesible de la consciencia es la que propone Morgado (2013:748): “la consciencia es el estado de la mente que permite que nos demos cuenta de las cosas que pasan, aquello que se pierde cuando dormimos o nos anestesian”. Con algo más de detalle, podríamos decir que la consciencia habilita la experiencia del yo en el mundo, en la cual se amalgaman perceptos, emociones y recuerdos en un todo coherente⁴⁴. Este todo coherente, que define el estado consciente, está inmerso en lo que Tononi y Edelman (1988) describen como un flujo, cuyo contenido va cambiando rápidamente. A pesar de que este flujo lleva a una experiencia subjetiva, la consciencia tiene la propiedad de la reportabilidad (Baars 2005). Es decir, podemos comunicar aquello de lo que somos conscientes, pero no podemos dar cuenta de aquello que no hemos experimentado conscientemente. De hecho, si recordamos la relación entre memoria declarativa y reportabilidad, no debería sorprendernos que Baars (2005) defina el estado consciente como el mantenimiento de memorias breves.

Al abordar el estudio de la consciencia desde la neurociencia cognitiva, es común distinguir dos preguntas fundamentales: el *soft problem* y el *hard problem* (Morgado 2013). El *soft problem* se limita, más o menos, a hallar los “correlatos neuronales de la consciencia”, que Koch (2004:16) define como “minimal set of neuronal events and

⁴⁴ Un revisor aconseja distinguir entre consciencia y “awareness”, que, hasta donde sé, ni está clara ni se explota, por lo general, en la bibliografía. De sus comentarios se desprende que la consciencia podría ser un estado mental más elevado, aparentemente bastante exclusivo de humanos y más relacionado a la experiencia del yo, mientras que la “awareness” sería más primitiva y estaría al alcance de otros animales. Intuitivamente, diría que esa distinción podría reducirse a una consciencia con mayor o menor conexión con el sistema de control ejecutivo (a su vez, más o menos desarrollado), de donde puede surgir esa impresión del “yo” (para nuestra decepción, posiblemente poco más que un subproducto de memoria y actividad de regiones frontales). Esto entronca con el “hard problem” de la consciencia, cuya resolución queda fuera de los objetivos del presente trabajo, de forma que no haré ninguna distinción entre consciencia y “awareness”, asumiéndose además que el dominio cognitivo aquí descrito cuenta con homólogos en otras especies.

mechanisms sufficient for a specific conscious percept”. En este sentido, la experiencia consciente parece ir acompañada de un diálogo sostenido entre regiones de orden superior y regiones inferiores en que se aprovecha el tálamo para transmitir el *feedback* (Morgado 2013). En cambio, el *hard problem* trata de dar respuesta a cómo los correlatos neuronales de la consciencia trascienden para transformarse en un “yo” en nuestra mente. Aquí entramos en cuestiones como el libre albedrío o la voluntad (que conectan a su vez con las funciones ejecutivas y) que, considero, no estamos en disposición de responder todavía. De hecho, por desalentador que sea desde un punto de vista “moral” o “humano”, puede que esa ilusión del “yo en el mundo” que tenemos sea meramente un subproducto de los mecanismos de bajo nivel de la consciencia y que el *hard problem* sea una pregunta vacua. Así las cosas, no estimo de especial utilidad abundar en la distinción de los problemas *hard* y *soft*, de modo que me limitaré a ofrecer una síntesis de las mejores hipótesis acerca de la consciencia y de cuáles son los mecanismos de bajo nivel. A continuación se esbozarán las ideas principales, mientras que en las secciones siguientes se desarrollarán.

La neurociencia cognitiva ha señalado dos propiedades clave de la consciencia: la de “diferenciación” y la de “integración” de los estados conscientes (Tononi y Edelman 1998). Esta última propiedad encaja con cierta arquitectura cognitiva donde existe procesamiento modular a nivel más local y procesamiento general a nivel global (quizás bajo el control de la atención, como se discutirá más abajo y en § 8.4.2). Con “integración” nos referimos al hecho de que las escenas conscientes están unificadas, esto es, cada estado consciente no puede descomponerse en experiencias independientes (Tononi y Edelman 1998). En este sentido, lo que serían múltiples procesamientos locales en origen acaban integrándose globalmente mediante la consciencia. Por ejemplo, si llevamos a cabo una tarea visuoespacial donde a cada hemisferio se le presenta un problema, combinaremos la información en una sola experiencia consciente. Entonces, seremos incapaces de resolver el problema de forma paralela y tendremos más dificultades.

Por consiguiente, se puede afirmar que la unicidad de la consciencia conlleva límites: no podemos realizar múltiples tareas que no estén automatizadas al mismo tiempo, tampoco tomar múltiples decisiones conscientes en un intervalo corto de tiempo (lo que se conoce como *psychological refractory period*), ni ser conscientes al mismo tiempo de *inputs* incongruentes (como en experimentos de *binocular rivalry*). No obstante, la consciencia habilita un potencial computacional que de otra forma nos estaría

vedado y que puede contribuir a otros dominios cognitivos como, por ejemplo, la memoria de trabajo (v. § 8.2.4.2).

Al calificar la consciencia como “diferenciada”, Tononi y Edelman (1998) se refieren a que podemos experimentar cualquiera de los muchísimos estados conscientes posibles en un lapso breve de tiempo y pasar rápidamente de un estado a otro. Al experimentar cada uno de estos estados, se podría estar llevando a cabo una operación de carácter atencional (v. § 8.3.1.2), en la cual se selecciona un subconjunto de toda la información disponible. A pesar de la importancia de la diferenciación (por su conexión con la atención y mecanismos oscilatorios como la inhibición y la modulación de ganancia, v. §§ 5.4.5 y 5.4.2, respectivamente), es la propiedad de la integración la que mejor sintetiza la concepción de la consciencia de más calado en neurociencia cognitiva. Se entiende que la consciencia es, en esencia, la capacidad de hacer global lo local, esto es, de poner en común múltiples representaciones u operaciones que de otro modo se llevarían a cabo de forma diferenciada o aislada. Así, determinada información se vuelve accesible para varios sistemas. La información disponible globalmente en el *workspace* común es lo que experimentamos subjetivamente como un estado consciente (Dehaene y Naccache 2001).

Pero no todos los procesos pueden o consiguen ganar el acceso a la consciencia en determinadas circunstancias (v. § 8.4.1). Por ejemplo, al leer estas líneas, estamos realizando cantidad de movimientos oculares de los que no nos damos cuenta. Que pasen desapercibidos no significa, sin embargo, que no exista un rico procesamiento subliminal en regiones frontales y subcorticales que controlen esos actos motores. La idea general es que los procesos locales, relativamente más simples y específicos, no pueden o no siempre conquistan la consciencia. Para hacerlo, deben volverse globales y, así, alcanzar un nivel superior en lo que se consideraría una suerte de jerarquía del procesamiento. Así pues, una teoría de la consciencia, como resumen Dehaene y Naccache (2001), debe dar cuenta de tres observaciones empíricas:

- Es posible una considerable cantidad de procesamiento sin que intervenga la consciencia (v. § 8.4.1). Simplificando, existe el procesamiento inconsciente o preconsciente.
- La atención parece un prerequisite para la consciencia (v. § 8.4.4). Cuando Tononi y Edelman (1998) señalan la “diferenciación” de los estados conscientes, están efectivamente apuntando a que las representaciones de los estados conscientes son *seleccionadas* y *amplificadas* a expensas de otras. Según

Baars (2005), además de la atención, se requeriría del control ejecutivo (aunque algunos autores lo conciben como parte del sistema atencional en sí).

- La consciencia es necesaria para algunas tareas cognitivas específicas (v. § 8.4.3), en que se requiere el mantenimiento duradero de la información, combinaciones nuevas de operaciones o la generación espontánea de comportamiento intencional (y el lenguaje, añadiría) (Baars 2005). Esto es, la consciencia habilita potencial computacional que de otra forma no estaría disponible (y que se asemeja sospechosamente al atribuido a las funciones ejecutivas).

La teoría que respeta e integra estas observaciones es, como apuntábamos arriba, la del *global workspace* (GW): determinados procesos preconscientes (observación i) son seleccionados y amplificadas mediante mecanismos atencionales (observación ii) y puestos en común para otros sistemas (§ 8.4.2) en un espacio indefinido y distribuido gracias a conexiones a larga distancia, lo cual habilita procesamiento de mayor complejidad del que somos capaces a nivel inconsciente (observación iii). Como venimos apuntando, la hipótesis del GW asume determinada arquitectura cognitiva. Dehaene *et al.* (1998) parten de la premisa teórica de que hay dos espacios computacionales distintos: uno modular y uno global. Respecto de los procesadores modulares o dedicados, Dehaene y Naccache (2001) destacan la encapsulación de información, la especificidad de dominio y el procesamiento automático. Estos sistemas, paralelos y distribuidos a lo largo y ancho de la corteza cerebral, están especializados en un determinado tipo de *input*, son de escala espacial variable (desde columnas corticales hasta áreas) y de modalidad variable (como V1, V5, o neuronas visuotáctiles en la corteza intraparietal lateral), no requieren de la atención y constan de circuitos bien delimitados donde imperan las conexiones locales y a media distancia (Dehaene *et al.* 1998, Dehaene y Naccache 2001). En cambio, el espacio global, descrito con más detalle en § 8.4.2.1, estaría compuesto por neuronas talamocorticales, capaces de intercambiar información con neuronas homólogas, mediante proyecciones horizontales y a larga distancia. Estas neuronas no se concentrarían en una región clave, sino que estarían distribuidas.

De hecho, podríamos concebir el GW como una gran asamblea de neuronas, que es más el resultado de la coherencia de la actividad neuronal (mediante la sincronía proporcionada por oscilaciones) que de las puras conexiones neuroanatómicas. Las conexiones talamocorticales recíprocas serían imprescindibles no sólo en el sentido puramente anatómico, sino por su contribución en el acoplamiento temporal de la actividad entre poblaciones distantes. Basta alterar la actividad talámica, como cuando nos anestesian, para hacer lo propio con los estados de consciencia (Morgado 2013).

Todas estas cuestiones se desarrollarán más pormenorizadamente en las secciones que siguen.

8.4.1 Procesamiento inconsciente o preconscious.

Podemos considerar que la consciencia es el resultado final del procesamiento cerebral (Morgado 2013). Por lo tanto, antes de alcanzar ese pináculo existe todo un procesamiento inconsciente o “preconscious” hasta cierto nivel. Esto hace imperativo delimitar la consciencia y explicar por qué algunas representaciones mentales la alcanzan y, en cambio, otras no (Dehaene y Naccache 2001) (v. § 8.4.6 sobre el sustrato neuronal). A este respecto, cabría diferenciar entre i) información que tiene “inherentemente” vedado el acceso a la consciencia, posiblemente porque las neuronas relevantes no están interconectadas con el GW; y ii) información que, en una suerte de ascenso en la jerarquía del procesamiento, puede acabar accediendo a la consciencia si se dan ciertos requisitos (que pueden cumplirse o no dependiendo del estado cerebral). Podríamos considerar al procesamiento del primer tipo totalmente inconsciente y el del segundo tipo como “preconscious”, puesto que no alcanza la consciencia pero tiene opción hacerlo.

En relación a la información inherentemente vedada a la consciencia, se ha observado que la estimulación de regiones de la corteza parietal, los ganglios basales o el cerebelo no lleva a la experiencia consciente (Baars 2005). Asimismo, sistemas de menor orden como los que controlan la presión arterial en el tronco cerebral o la mirada en el colículo superior parecen del todo independientes de la consciencia (Dehaene y Naccache 2001). Tampoco podemos ser conscientes de los mecanismos o computaciones cerebrales, sino sólo de su producto, en el mejor de los casos.

También hay regiones cuya estimulación sí puede llevar a la experiencia consciente, como las regiones visuales. Normalmente estas regiones forman parte de redes cortico-talámicas y su actividad se extiende hacia regiones fronto-parietales (Baars 2005). Sin embargo, el acceso denegado a la consciencia de cualquier tipo de información puede deberse a una causa común: la falta de sincronía a escala global (v. Buzsáki 2006). Por razones expositivas, me centraré en el procesamiento de tipo “preconscious”, puesto que es el más cercano al procesamiento consciente que implica el lenguaje y es más fácil de comprender.

Según Dehaene y Naccache (2001), hay multitud de procesos que hemos considerado “preconscious”: perceptivos, motores, semánticos... Por ejemplo, existe el

efecto que se conoce como *masked priming*, en que un estímulo presentado (como una palabra visual) no alcanza la consciencia pero sí facilita el procesamiento de un estímulo posterior (como la semántica de la palabra siguiente). A pesar de que el procesamiento preconsciente parezca rudimentario (v. Tononi y Edelman 1998), la inconsciencia puede alcanzar niveles postreceptivos, esto es, semánticos o conceptuales. Visto de otro modo, la consciencia no es condición indispensable para computaciones de cierta complejidad. Así pues, también existe procesamiento inconsciente en la cognición de alto nivel. A veces, esto puede deberse a que el procesamiento se haya automatizado a través del aprendizaje. Por ejemplo, un aficionado a los videojuegos no es consciente de la cantidad de movimientos, precisos, rápidos, combinados, etc. que ejecuta con los dedos en el teclado o en un mando, a pesar de que la complejidad que entrañan puede abrumar a un novato y requieran de un gran esfuerzo consciente para aprenderse.

En definitiva, si enmarcamos estas observaciones en la arquitectura global-modular del cerebro, la idea principal es que el procesamiento no consciente se produce en módulos especializados (y, posiblemente, sin esfuerzo mental, Dehaene *et al.* 1998). Estos procesadores locales ganan acceso a la consciencia cuando se sincronizan con las neuronas que forman parte del GW.

8.4.2 Consciencia como unificación.

Aunque bajo diferentes nombres (*dynamic core* en Tononi y Edelman (1988); *global access hypothesis* en Baars 2005; *global workspace* en Dehaene *et al.* 1998), la concepción esencial de la consciencia como unificación es la misma para los modelos más relevantes: una computación local se adueña de un espacio global y pasa a ser experimentada conscientemente.

8.4.2.1 El *global workspace*.

El espacio computacional global (GW a partir de ahora, por *global workspace*, Dehaene *et al.* 1998) estaría compuesto por neuronas corticales distribuidas, proyectando horizontalmente y a larga distancia hacia neuronas homólogas, e interconectadas a través del tálamo. A pesar de que no se concentrarían en una región clave, estas neuronas tenderían a ubicarse en las LII-LIII, de donde emergen la mayoría de conexiones cortico-corticales (incluidas las que atraviesan el cuerpo caloso), especialmente densas en el dlPFC y la corteza parietal inferior, así como en la LV, desde donde se originan las

proyecciones cortico-talámicas (que podrían ser las principales responsables de conferir estabilidad al GW gracias a la actividad autosostenida de que son capaces, Dehaene *et al.* 1998).

8.4.2.2 El acceso de los módulos al espacio de trabajo global.

A este GW proyectarían los módulos, cuyo procesamiento normalmente es automático, inconsciente y aislado. Estos podrían acceder, con restricciones, al GW. Al ampliarse el *input* de determinados módulos, su información se movilizaría hacia el GW a expensas de la contribución de otros. De este modo, cuando una representación accede al GW, el resto quedaría inhibido⁴⁵. No todos los módulos serían capaces de moverse al GW. Según Dehaene *et al.* (1998) y Dehaene y Naccache (2001), habría cinco sistemas principales interconectados por el GW: i) sistemas perceptivos (de alto nivel) que contienen representaciones del presente del entorno (incluían el área de Wernicke); ii) sistemas motores que representan el futuro del comportamiento al preparar el control y ejecución de acciones y abarcan el área de Broca que permite la reportabilidad; iii) sistemas de memoria a largo plazo que representan el pasado y permitirían devolver al GW a un estado previo; iv) sistemas de evaluación que valoran la representación del GW como positiva o negativa en función de la experiencia; y v) circuitos atencionales o *top-down* que se ocupan de la movilización selectiva de módulos hacia el GW.

8.4.2.3 Lo local haciéndose global.

Una vez movilizado el procesamiento del módulo al GW (si bien con esfuerzo mental según Dehaene *et al.* 1998), podría trascenderse la encapsulación de la información en ese procesador específico. La información de un módulo, normalmente aislada, pasaría a estar disponible para los demás. En consecuencia, la información modular se vuelve susceptible de recombinarse y procesarse de nuevas formas. En este sentido, el GW proporciona, en palabras de Dehaene y Naccache (2001), un protocolo de comunicación común.

⁴⁵ Quedaría inhibido en el sentido de no acceder al *workspace*, no porque haya en juego un mecanismo de inhibición como tradicionalmente se atribuye a *alpha* que interfiriese en el procesamiento normal de las regiones, sino que bastaría un grado de sincronía menor, de peor alineación con las ventanas temporales que habilitara *alpha*, en la situación de competición que se discute en § 5.4.4, para que el resto de representaciones se quedaran en un espacio preconscious.

8.4.2.4 Actualización del GW.

Lejos de ser constante, la representación que se hace con el GW dura poco, y se va actualizando de forma espontánea o bajo el control de la atención (que puede resolver competiciones entre módulos, quizás sometida al sistema de control ejecutivo). De esta forma, podemos explicar el flujo de estados conscientes uniformes que experimentamos y que Tononi y Edelman (1998) relacionaban con la propiedad de la diferenciación de la consciencia.

8.4.3 El poder de la consciencia.

La consciencia habilita computaciones que de otra forma nos estarían vedadas y permite plantear problemas generales que no podrían solucionarse mediante procesadores encapsulados. De acuerdo con Baars (2005) (cuyas palabras prefiero reproducir que parafrasear dada la cantidad de información que condensan bien):

- “1. Conscious perception enables access to widespread brain sources; unconscious sensory processing is much more limited
2. Conscious perception, inner speech, and visual imagery enable working memory functions; there is no evidence for unconscious access to working memory
3. Conscious events enable almost all kinds of learning: episodic and explicit learning, but also implicit and skill learning
4. Conscious perceptual feedback enables voluntary control over motor functions, and perhaps over any neuronal population and even single neurons
5. Conscious contents can evoke selective mechanisms (attention) and be evoked by it
6. Consciousness enables access to the “observing self” — executive interpreters, involving parietal and prefrontal cortex” (Baars 2005:47)

De arriba, llama la atención la relación de la consciencia con otros dominios cognitivos. Al parecer, conecta con la memoria de trabajo, la atención y el control ejecutivo. Puesto que la relación con estos dos últimos se aborda en §§ 8.4.4-8.4.5, nos centraremos ahora en la relación entre consciencia y memoria de trabajo. Baars (2005) afirma que el GW es una “fleeting memory capacity” que interconecta sistemas. El mantenimiento activo de un patrón neuronal (posiblemente llevado a cabo por el dlPFC según Baars 2005) permitiría que este siguiera disponible para otros sistemas y pudiera, por ende, influir en ellos. Por lo tanto, algunos autores conciben el GW como el equivalente al *buffer* que encontraríamos en modelos de memoria de trabajo como el de Baddeley (2012). Así las cosas, es esperable que la consciencia amplíe el poder

computacional de la mente si, a un nivel muy rudimentario, se considera que el núcleo del sistema es el mismo que el de la memoria de trabajo. Aparte, la memoria de trabajo es de naturaleza explícita, lo cual la lleva a compartir además la propiedad de la reportabilidad que se atribuye a la experiencia consciente.

8.4.4 Consciencia y atención.

La relación entre consciencia y atención es objeto de no poca discusión. Las opiniones varían extremadamente: unos creen que la atención y la consciencia son prácticamente opuestas; otros (entre los que me incluyo) defienden que la consciencia no podría existir sin (los mecanismos que se consideran de) la atención. Si descendemos realmente a los mecanismos por los que opera cada sistema y los liberamos de etiquetas vagas, la consciencia y la atención resultan estar interconectadas. En la consciencia podemos considerar que una representación es *seleccionada y/o amplificada* cuando alcanza el GW. El mecanismo de seleccionar una representación mediante la amplificación de su señal y la eficacia con que esta se transmite a otras regiones transitoriamente es justamente la operación básica de la orientación de la atención (v. Posner 1994). Por tanto, parece coherente la idea de Dehaene y Naccache (2001) de que la atención abre la puerta a la consciencia, ejerciendo una modulación *top-down* de los procesos modulares que acaban llevándose al GW (v. Baars 2005) y pudiendo ser la amplificación de la señal (atencional) un prerrequisito para la experiencia consciente.

Es más, sin mecanismos como la *coincidence detection+gain modulation* que suelen asociarse a la atención no hay consciencia, pero es que sin esos mismos mecanismos tampoco hay atención. Esto es, el acceso a la consciencia y la atención se construyen sobre las mismas operaciones de bajo nivel (implementadas por las mismas oscilaciones, v. § 8.4.7). Como indican Merikle y Joordens (1997:235), “perception with vs. perception without awareness and perception with vs. perception without attention are equivalent ways of describing the same underlying process distinction”. Algunos datos sugerentes de la interdependencia de la atención y la consciencia muestran que ambos procesos pueden tener el mismo efecto sobre la actividad neuronal de determinadas poblaciones. Kreiman (2014) nota que en experimentos de *binocular rivalry* se produce un aumento de la señal BOLD y de los disparos de neuronas en regiones sensoriales primarias, como V1, cuando se resuelve la dualidad. Este efecto se puede explicar indistintamente mediante influencias *top-down*, tanto si las achacamos a la modulación

de la atención, como si lo achacamos a la consciencia. Aunque, evidentemente, la presente discusión no resuelve cuál es la auténtica relación entre consciencia y atención, ofrece razones para creer que los dominios están interconectados a un nivel mecanístico.

8.4.5 Consciencia y control.

Las funciones ejecutivas necesitan ser capaces de integrar información de orígenes diversos, como en la toma de decisiones, la producción de discursos o la combinación nueva de operaciones (Baars 2005). Dicho de otro modo, una mente estrictamente modular se queda corta para las funciones ejecutivas. Si a este requisito le sumamos que la manera del cerebro de trascender la modularidad es mediante la consciencia, llegamos a la conclusión de que las funciones ejecutivas precisan de (mecanismos de) la consciencia. El control requiere de una combinación global (y flexible) de procesos, lo cual es principalmente lo que la consciencia habilita. Ahora bien, ¿precisa la consciencia del sistema de control ejecutivo?

La tentación primera, y no por ello errónea, puede ser atribuir el control de qué contenidos alcanzan la consciencia y cuáles no al sistema de control ejecutivo, estableciéndose así una interdependencia entre ambos dominios cognitivos. Básicamente, el control ejecutivo dirigiría el flujo de información entre sistemas y “decidiría” a qué procesos o representaciones se les da prioridad a expensas de otros (v. § 8.5). Esta selección de procesos es algo que necesita la consciencia, puesto que sólo una representación global se adueña del *workspace* mientras las otras son inhibidas.

En cualquier caso, plantear la relación entre consciencia y control ejecutivo acaba llevando a cuestiones filosóficas, a cuestionarse la existencia misma del sistema de control ejecutivo y, en última instancia, a toda una visión, determinista o no, del universo. No estamos en disposición de dilucidar nada en este sentido. Aun así, como ocurriera en el caso de la atención, no parece irracional considerar que vuelve a existir una interdependencia entre la consciencia y el control ejecutivo.

8.4.6 Sustrato neuronal.

En primer lugar, puede que deba diferenciarse entre el sustrato neuronal de los contenidos de la consciencia (dónde se codifican las representaciones que experimentamos subjetivamente) y el sustrato neuronal de la consciencia en sí (dónde tienen lugar los mecanismos que convierten esa representación en nuestra experiencia).

Sirviéndonos de un paralelismo para ilustrarlo, algunos modelos del lenguaje localizan, por un lado, el contenido conceptual de las piezas léxicas en las áreas de asociación y, por el otro lado, localizan las operaciones por las que esas piezas se combinan en una red fronto-temporal más específica (Broca-Wernicke) (v. § 8.1.2). Una división similar podría realizarse en lo que respecta al sustrato de la consciencia. De hecho, creo que los contenidos de la consciencia y los contenidos del lenguaje podrían solaparse hasta cierto punto (v. § 9.2.2).

8.4.6.1 Contenidos de la consciencia.

Es sobre el sustrato neuronal de los contenidos de la consciencia donde suele haber más consenso. Según Dehaene y Naccache (2001), este tipo de representaciones está codificada en los múltiples procesadores modulares. Un primer ejemplo, bastante transparente, es el de las múltiples áreas perceptivas que pueden movilizarse al GW, auditivas, visuales, etc. (Dehaene y Naccache 2001). Otro ejemplo más detallado es la codificación de información sobre caras en la *fusiform face area*, como apoya el incremento de la actividad de esta región en experimentos de *binocular rivalry* cuando se percibe una cara frente a un estímulo alternativo. De forma parecida, la percepción del movimiento se asocia a la activación específica del área V5 (Dehaene y Naccache 2001) (v. § 9.1.2 sobre el sustrato del léxico).

Con todo, estas regiones, donde básicamente se codifican representaciones sensoriales o motoras, no son las únicas interconectadas en el GW. También se acoplan otros sistemas, supuestamente independientes de la consciencia, de tipo atencional, evaluativo, de memoria a largo plazo... (Dehaene y Naccache 2001). Por consiguiente, existe la posibilidad de sumar las representaciones y procesos de dichos sistemas a los contenidos de la consciencia e incorporar su sustrato neuronal al de estos. No obstante, creo que la aportación de esta clase de sistemas, como el atencional, es más mecanicista o “activa”, por lo que la relación entre su localización y la de los contenidos de la consciencia no me parece tan directa.

Podemos encontrar un rico resumen del sustrato de los contenidos de la consciencia en Dehaene y Naccache (2001). Sin embargo, es tan amplio que acaba conectando a la misma los principales dominios cognitivos, perceptivos, motores, de memoria, de control ejecutivo y de atención, de modo que se acaba identificando con el

sustrato de los contenidos de la consciencia casi todo el cerebro, casi todos los procesadores independientes o módulos:

“Temporal and parietal circuits provide a variety of highlevel perceptual categorizations of the outside world. Premotor, supplementary motor and posterior parietal cortices, together with the basal ganglia (notably the caudate nucleus), the cerebellum, and the speech production circuits of the left inferior frontal lobe, allow for the intentional guidance of actions, including verbal reports, from workspace contents. The hippocampal region provides an ability to store and retrieve information over the long term. Direct or indirect connections with orbitofrontal cortex, AC[C], hypothalamus, amygdala, striatum, and mesencephalic neuromodulatory nuclei may be involved in computing the value or relevance of current representations in relation to previous experience. Finally, parietal and cingulate areas contribute to the attentional gating and shifting of the focus of interest. Although each of these systems, in isolation, can probably be activated without consciousness, we postulate that their coherent activity, supported by their strong interconnectivity, coincides with the mobilization of a conscious content into the workspace.” (Dehaene y Naccache 2001:26-28)

8.4.6.2 De la propia consciencia. ¿Dónde se ejecutan sus mecanismos?

La controversia sobre cuál es el sustrato neuronal de la consciencia surge de un problema que es, en parte, de escala (Tononi y Edelman 1998). No se puede hablar de consciencia a escala celular, puesto que implicaría dotarlas de una propiedad que no pueden tener (Tononi y Edelman 1998). Sin embargo, para autores como Morgado (2013), ampliar la escala y buscar una región donde se enlace toda la información que integra una experiencia consciente carece de apoyo empírico. Nunca se habría identificado una región de este tipo. En consecuencia, aunque todo parece indicar que la consciencia es un proceso más bien de escala global, no es posible identificar una red concreta de regiones como sustrato de la consciencia. Según Dehaene y Naccache (2001), el GW es variable, puesto que en diferentes momentos se acoplan diferentes regiones, por lo que no puede ser un conjunto fijo de áreas cerebrales.

Por lo tanto, el sustrato de la consciencia se puede definir por el tipo de actividad neuronal, más que por su localización (Dehaene y Naccache 2001). Para un momento dado, consideraremos que el sustrato de la consciencia es el conjunto de áreas con actividad correlacionada. De hecho, como explicaremos en § 8.4.7.1, el mecanismo principal de integración puede ser proporcionado por la sincronía mediante oscilaciones. Las neuronas que entran en este tipo de actividad sincrónica requieren de ciertas características. Dehaene y Naccache (2001) dan tres requisitos principales para las neuronas que se puedan acabar sincronizándose en el GW: i) deben ser capaces de representar la información activamente en asambleas neuronales; ii) debe haber

conexiones bidireccionales entre estas asambleas y el resto de neuronas del GW para que pueda establecerse así un loop de amplificación sostenido; y iii) las neuronas del GW deben participar en esos loops durante cierto tiempo. El primer criterio excluye la información que está presente en el sistema nervioso en forma sólo latente, como en los patrones de conexiones anatómicas o en el fortalecimiento de huellas de memoria (Dehaene y Naccache 2001). El segundo criterio parte de la premisa de que la consciencia requiere del establecimiento de actividad reverberante en un *loop*. Para establecer este tipo de diálogo neuronal, se requiere de unidades con conexiones bidireccionales, de forma que quedarán excluidas del GW las neuronas que carezcan de ellas. En tercer lugar, cabe explicar por qué las neuronas de este tipo (que codifican activamente y cuentan con conexiones bidireccionales entre regiones de alto y bajo nivel) no están contribuyendo constantemente a la experiencia consciente. Dicho de otro modo, aun pudiendo acceder a la consciencia ... ¿por qué tienen temporalmente vedado el acceso en determinadas circunstancias? De acuerdo con Dehaene y Naccache (2001), las neuronas del GW deben participar en la asamblea durante un periodo de tiempo mínimo. A este respecto, podemos fijar dos umbrales: i) el necesario para que el estímulo pueda provocar actividad neuronal diferenciada, y ii) el umbral de la consciencia, que necesita de una duración mayor para que esta representación neuronal pueda movilizarse al GW (Dehaene y Naccache 2001). En resumen, el sustrato neuronal de la consciencia es variable y depende de la sincronía a escala global de células cuya comunicación bidireccional dura lo suficiente.

A pesar de que estas neuronas están distribuidas por prácticamente toda la corteza, es cierto que abundan en determinadas regiones. La mayor concentración de neuronas del GW en el PFC y el ACC (Dehaene y Naccache 2001) puede dar pie a una hipótesis de carácter más locacionista para el sustrato neuronal de la consciencia. Sin embargo, el tálamo es tan o más relevante que estas áreas, el *upper brainstem*, los sistemas reticulares ascendentes y los implicados en el *arousal* (de nuevo el tálamo entre ellos), de cuya integridad depende la consciencia. Las conexiones a través del tálamo pueden interconectar los diversos módulos y la estructura actuaría como un punto de convergencia o espacio global requerido por la consciencia. Estos sistemas no codifican la experiencia consciente, pero son cruciales para el mantenimiento de un estado cerebral de sincronía selectiva a gran escala que da lugar a la consciencia (con el tálamo y el TRN ejerciendo posiblemente un papel regulador mediante oscilaciones lentas, v. Min 2010). En definitiva, a la vista de que la consciencia depende de tal cantidad de estructuras

corticales y subcorticales, localizar la consciencia básicamente en estructuras frontales me parece incompleto, hasta arbitrario, por más que se tienda a localizar en ellas el pináculo de la cognición (v. § 4.1).

8.4.7 Mecanismos.

En este punto debemos distinguir entre la actividad correlacionada con la consciencia y los mecanismos que realmente subyacen a esa actividad. Con “actividad correlacionada” me refiero a observaciones como la siguiente: la percepción consciente evoca una actividad más amplia e intensa que el procesamiento inconsciente (Baars 2005). Por ejemplo, Dehaene *et al.* (2001) muestran que las palabras visuales percibidas inconscientemente evocan actividad confinada a áreas corticales dedicadas al reconocimiento de palabras, mientras que la percepción consciente de esas mismas palabras va acompañada de actividad más global y distribuida, alcanzándose zonas de mayor nivel en las cortezas parietal y prefrontal. Este tipo de observaciones acostumbra a interpretarse como “correlatos neuronales de la consciencia” (Crick y Koch 1990).

Aunque la globalización de la actividad neuronal sea un evento neuronal que ocurre cuando se procesa conscientemente algo, no se puede decir que se trate de un mecanismo de la consciencia. En otras palabras, esa observación no explica por sí sola la implementación de las operaciones que consiguen la globalización de la actividad. Usando un paralelismo traído de la neurolingüística, se observa un componente ELAN originado en regiones temporales y frontales cuando, supuestamente, se procesan las relaciones sintagmáticas locales (v. § 8.1.2). Ese ELAN es una actividad correlacionada con la fase del procesamiento en que se construiría esta estructura local, pero no es el mecanismo por el cual se construye. Por lo tanto, y a pesar de que no sea infrecuente confundirlos, prefiero distinguir entre actividad correlacionada y mecanismos. Aunque la actividad correlacionada con la consciencia tiene que ser coherente con los mecanismos propuestos, no se usará como referencia para proponer una implementación de operaciones al nivel de análisis utilizado en la presente tesis. A continuación realizamos un breve resumen.

La experiencia consciente se correlaciona con la actividad de las neuronas que codifican específicamente el contenido que alcanza la consciencia, y que se localizan en regiones de mayor nivel en la jerarquía de procesamiento (Kreiman 2014). Estas regiones, además, se sincronizan con regiones anteriores, generándose un aumento global de la

sincronía (Dehaene y Naccache 2001) en el que están especialmente implicadas las PFC, ACC y la corteza parietal. El aumento de sincronía global trae consigo un aumento de actividad, una mayor intensidad de la misma. Según Baars (2005), la consciencia se correlaciona con actividad más amplia y duradera, mientras que los correlatos de la falta de experiencia consciente son una actividad más circunscrita a regiones posteriores o de menor nivel, una falta de sincronía a nivel global, una menor actividad talamo-cortical y un menor flujo sanguíneo (v. también Tononi y Edelman 1998).

Otra posibilidad es que, para la falta de experiencia consciente, no se dé una ausencia de sincronía, sino una sincronía disfuncional, demasiado lenta (Baars 2005). Este puede ser el caso de los sueños de onda lenta, en los que se bloquea la conectividad funcional de las redes talamo-corticales. En la vigilia, en cambio, cuando se alcanza la consciencia, puede haber sincronía regulada por oscilaciones más rápidas que habilitarían la experiencia consciente. Sin embargo, en § 8.4.7.1.2 se propondrá que la consciencia se vale tanto de oscilaciones rápidas (para sus contenidos) como de oscilaciones lentas (para globalizarlos).

8.4.7.1 Auténticos mecanismos.

Para desentrañar los mecanismos de la consciencia, debemos identificar cuáles son capaces de “integrar” y “diferenciar” información ampliamente (Tononi y Edelman 1998). La idea principal es que se requiere de la sincronía, seguramente mediante oscilaciones, tanto por la función integradora que aportan las descargas simultáneas de las neuronas como por la diferenciación que podrían proporcionar los ciclos de inhibición (especialmente de oscilaciones lentas) o la falta de alineación de los disparos de las neuronas con la fase receptiva de la oscilación (v. § 5.4.4 para los mecanismos inhibitorios o de desección de las oscilaciones). Una visión “radical”, como la de Morgado (2013), es que no puede haber consciencia sin sincronía aunque sí haya sincronía que no lleve a la experiencia consciente. La sincronía permitiría establecer un diálogo a escala cerebral entre regiones anteriores y posteriores (Tononi y Edelman 1998), entre los diversos módulos o regiones interconectadas a través del GW. Gracias a esta sincronía, se formarían asambleas neuronales (más bien macroasambleas) que en determinado momento constituirían el GW. Es decir, se obtendría la operación de la “integración” de la consciencia. El modo natural o por defecto del cerebro para obtener y regular la sincronía son las oscilaciones, siendo el tálamo un elemento clave en el establecimiento

de oscilaciones a gran escala (Palva y Palva 2011). Así pues, las oscilaciones que den lugar a las asambleas que gobiernan el espacio global de la consciencia se mantendrían en circuitos talamo-corticales, con participación, posiblemente, de algunas regiones frontales (v. § 8.4.6).

Pero además de integrar información, necesitamos poder diferenciarla (Tononi y Edelman 1998). Los estados inconscientes se pueden caracterizar por “hipersincronía” a banda lenta, mientras que los estados conscientes tienden a asociarse a oscilaciones más rápidas. Ya apuntamos que un posible mecanismo para obtener esta diferenciación es la inhibición mediante ritmos lentos (controvertida y discutida en § 5.4.5), o la falta de alineamiento de los disparos de las neuronas con la fase receptiva de la oscilación (v. § 5.4.4). El mecanismo inhibitorio mediante ritmos lentos ha sugerido a algunos autores que la consciencia necesita un grado de sincronía moderado y a frecuencia rápida, más que cualquier tipo de sincronía que permita integrar información. Se cree que las oscilaciones lentas inhiben la cooperación de los miembros de lo que se ha llamado arriba macroasamblea (Baars 2005), igual que lo haría la falta de coherencia que se observa entre regiones anteriores y posteriores en estados inconscientes.

8.4.7.1.1 La sorprendente asociación de una oscilación rápida con el mecanismo global por excelencia.

La conclusión más inmediata es que sólo llevarán a la consciencia las neuronas talamo-corticales que sean capaces de formar una asamblea mediante sincronía de un modo lo bastante rápido, fuerte y distribuido, y cuya señal esté suficientemente diferenciada de la del resto de neuronas. Las oscilaciones lentas mantendrían fuera de la consciencia la información procesada en las regiones donde tiene lugar. Pero esta visión de ritmos rápidos para la consciencia y de ritmos lentos para la inconsciencia queda en tela de juicio cuando se consideran diversos modelos que tratan de explicar la consciencia mediante oscilaciones. A pesar de que la mayoría han correlacionado la consciencia con las oscilaciones rápidas, como *gamma* (v. Gray y Singer 1989, Engel y Singer 2001, que fueron los primeros en atribuir significancia funcional al ritmo), también hay modelos que han correlacionado la consciencia con oscilaciones lentas, como *alpha* (v. Gallotó *et al.* 2017 para una revisión).

De hecho, si recordamos los mecanismos que proporcionan las oscilaciones a diferente frecuencia desde un punto de vista más neutral, las rápidas se ocupan del

procesamiento local y las lentas, de lo global. Por consiguiente, el mecanismo de la consciencia de integración o movilización de contenidos al GW, que básicamente consiste en hacer *global* lo local, debería descansar sobre oscilaciones lentas. A pesar de la tendencia a relacionar oscilaciones lentas con la inconsciencia, hay ritmos como *theta* que son importantes durante el procesamiento consciente, como en procesos o tareas de memoria⁴⁶. Además, se cree que, por lo general, las oscilaciones rápidas no dan abasto para sincronizar grandes regiones cerebrales (dejando a un lado circuitos con conexiones muy mielinizadas). Por último, el ritmo más típico de las estructuras en que se implican el tálamo y el TRN es *alpha*, cuando este ritmo no se considera propio de la consciencia, como mínimo en lo referente a la función integradora.

8.4.7.1.2 Oscilaciones rápidas para los contenidos de la consciencia y oscilaciones lentas para los mecanismos de la consciencia.

Para conciliar las hipótesis conflictivas de arriba, propondré que las oscilaciones *gamma* pueden estar detrás de los contenidos de la consciencia (la función de *beta* no está nada clara, v. Gallotto *et al.* 2017), mientras que las oscilaciones *alpha* pueden estar detrás del mecanismo de la consciencia en sí. Visto de otra forma, si la consciencia consiste en hacer que lo local sea global, podemos pensar que la consciencia consiste en hacer que las oscilaciones *gamma*, responsables de lo local, se acoplen mediante oscilaciones *alpha*, responsables de lo global.

El ritmo *alpha* es típico del tálamo y las capas corticales profundas (v. §§ 6.1 y 6.3), habiéndose considerado ambas estructuras como elementos definitorios del sustrato neuronal de la consciencia (v. Min 2010, aunque en él se ponga el acento en la función de *gamma*). Cuando hablábamos del sustrato de la consciencia, se defendió la necesidad de diferenciar entre el del contenido de la consciencia y el de los mecanismos en sí. Asimismo, al describir la arquitectura cerebral en que se enmarcaba la hipótesis de la unificación por parte de la consciencia, se diferenciaron dos espacios computacionales distintos: modulares y globales. Siguiendo con esta línea de dualidades, al identificar los ritmos implicados en la consciencia podemos diferenciar los lentos de los rápidos. Una manera coherente con los principios y funciones básicas de los ritmos (v. §§ 5.4 y 7.1) de dar sentido a todas estas dualidades es considerar que las oscilaciones rápidas están detrás

⁴⁶ Se discutió en § 5.4.5 lo cuestionable que es caracterizar un ritmo como inhibitorio por naturaleza, cuando todos los ritmos (incluso los de frecuencias altas) proporcionan pulsos de inhibición.

de los contenidos de la consciencia, procesados en origen en módulos, mientras que las lentas están detrás de la globalización o la movilización de los mismos al GW. Por tanto, la globalización de la consciencia podría consistir, a un nivel puramente teórico, en un acoplamiento inter-frecuencia de *gamma* y *alpha* (v. Roux *et al.* 2013). Existiendo *gamma* de modo más local, con y sin consciencia, el papel de *alpha* en la implementación del mecanismo me parece más importante.

Esta hipótesis, sin embargo, es más un intento de cuadrar todo lo revisado que lo que se encuentra en la mayoría de estudios precedente (donde, en realidad, siguen sin comprenderse las funciones de los ritmos a múltiples frecuencias en relación con la consciencia). Creo que, teniendo en cuenta el carácter local de *gamma*, su función de BBS, y su presencia en las regiones donde se hallan los contenidos de la consciencia, puede interpretarse que este ritmo subyace a la representación que puede movilizarse al GW y que es, por lo tanto, un candidato a contenido de la consciencia. Por el contrario, una oscilación lenta, potencialmente *alpha*, podría sincronizar a gran escala varios ritmos *gamma* que se integren en la experiencia consciente. Esto me parece coherente con las oscilaciones características de los circuitos talamo-corticales, caracterizados por ritmos lentos (v. § 6.3) y con la función del ritmo en su vertiente no inhibitoria. Además, estudios como Roux *et al.* 2013 han demostrado que la oscilación *alpha* es capaz de sincronizar múltiples ritmos *gamma*, integrándolos, posiblemente, en el todo coherente que requiere la consciencia.

A pesar de que esta hipótesis parezca elegante, cabe admitir que la mayoría de trabajos sobre la consciencia y *alpha* apuntan a una función inhibitoria del ritmo. En este sentido (v. Gallotto *et al.* 2017), se cree que las oscilaciones *alpha* bloquean, cuando su presencia es lo bastante potente (es decir, cuando la amplitud del ritmo es suficiente), el acceso de la información a la consciencia. Una causa puede ser la imposición de un estado de menor excitabilidad cortical (recuérdese que la actividad que alcanza la consciencia debe alcanzar cierto umbral). Por ejemplo, encontrar *alpha* antes de presentar un estímulo al sujeto predice que el mismo no se percibirá de forma consciente.

No obstante, hay otros estudios en los que se defiende que *alpha* habilita las ventanas temporales en las que se integran las representaciones en el GW de la consciencia. Es decir, los contenidos de la consciencia se globalizan en la fase del ritmo *alpha*, lo cual apoya la hipótesis aquí postulada. En esta línea, VanRullen (2016) defiende que la percepción (y la cognición) funciona de forma periódica, en ventanas temporales

que se suceden rítmicamente. Para hacerlo más visual, usa la comparación con la sucesión de fotogramas (*snapshots*) de una película. Crucialmente, el ritmo al que se suceden esos fotogramas, que son lo que percibimos y alcanza la consciencia, parece ser predominantemente *alpha*. Por lo tanto, la fase del ritmo *alpha* dicta los periodos en que se favorece la percepción y el acceso a la consciencia. Se defiende que la información o estímulos que caen dentro de un ciclo son integrados, mientras que lo que cae en diversos ciclos se diferencia. De este modo, el flujo de la consciencia, caracterizado por la sucesión de representaciones integradas, está temporalmente fragmentado a frecuencia *alpha*.

Tal como lo interpreto, esto equivale a asociar la operación de unificación de la consciencia a *alpha*. Es en la fase receptiva del ritmo, sostenido en las amplias redes talamo-corticales, que los perceptos acceden al GW. Aunque se pueda argumentar que en la fase no receptiva del ritmo este acceso está bloqueado, lo cual va en la línea de la función inhibitoria de *alpha*, sigue siendo esta oscilación la que dicta la temporalidad del procesamiento consciente y siguen siendo las fases receptoras de la oscilación donde ocurre el mismo. En la misma línea, Samaha y Postle (2015) realizan un experimento del que se puede inferir que dos estímulos, presentados dentro de un mismo ciclo *alpha*, llegan a la consciencia como una sola experiencia; en cambio, esos dos mismos estímulos, con una mayor separación temporal (o procesados por alguien con una frecuencia *alpha* intrínseca mayor), son percibidos conscientemente como dos perceptos distintos. De nuevo, volvemos a encontrarnos con que *alpha* viene a unificar la información en el espacio global de la consciencia.

En conclusión, a pesar de que no haya consenso en la literatura, y sea una hipótesis contra la que, bajo cierta interpretación, se puedan esgrimir ciertos datos de algunos estudios, la hipótesis de que la consciencia pueda depender de la incrustación de *gamma*, responsable de los contenidos de la consciencia, en *alpha*, responsable de la integración en el GW, cuadra con los ritmos, con los principios de su interacción y alcance y con los mecanismos que se les ha atribuido de forma neutral en las secciones precedentes.

8.4.8 Relación entre consciencia y lenguaje.

A un nivel superficial de análisis, podemos afirmar, con poco riesgo a equivocarnos, que el procesamiento lingüístico es consciente o incluso que requiere de la consciencia. La consciencia no sólo parece un requisito para el lenguaje, sino también para otros procesos cognitivos que, en la presente tesis, hacen de pilares de las

capacidades lingüísticas: el mantenimiento activo de información (v. § 9.3), la combinación nueva de operaciones (v. § 9.2), y el comportamiento intencional, del cual la creatividad del lenguaje es un buen ejemplo. Visto de otro modo, la consciencia habilita el acceso a recursos cognitivos más amplios y que parecen necesarios para el lenguaje, como la memoria de trabajo, ciertos tipos de aprendizaje, el control voluntario de la acción o, en última instancia, la experiencia del yo⁴⁷.

Es tal la interconexión entre lenguaje y consciencia que uno de los rasgos definitorios de las experiencias conscientes es que sean reportables, esto es, que puedan comunicarse a través del lenguaje. Igualmente, un rasgo definitorio de las piezas léxicas (v. § 9.1) es que son reportables, que es también una propiedad fundamental de la memoria *declarativa* de tipo semántico con la que las identificamos (recuérdese que este subsistema de memoria opera conscientemente, mientras que la implícita lo hace a nivel inconsciente). En esta línea, Baars (2005) define el estado consciente como el mantenimiento de memorias breves, que entronca con la visión de los ítems léxicos que daremos en § 9.1. De hecho, el GW de la consciencia comparte propiedades con el *buffer* de la memoria de trabajo del modelo de Baddeley (v. § 9.2).

Además, la consciencia y el lenguaje parecen compartir lo que en neurociencia cognitiva se ha considerado un *hard problem* que todavía está por resolver. La teoría lingüística, como se discutió en § 2.4, se pierde en la pregunta de por qué decimos lo que decimos, de dónde procede nuestra creatividad lingüística. Asimismo, los investigadores de la consciencia se encuentran con el problema de cómo los correlatos de la consciencia trascienden para dar lugar al yo. Aunque no sean lo mismo, creo que ambos misterios conectan con la naturaleza del sistema de control ejecutivo, nuestra voluntad (o la ilusión de la misma) y problemas filosóficos y científicos profundos.

Yendo ahora a un nivel de análisis más detallado, existen atractivos paralelismos entre el sustrato neuronal de los contenidos de la consciencia y el sustrato neuronal del

⁴⁷ Uno de los revisores advierte de experiencias lingüísticas y hasta la emisión juicios gramaticales durante el sueño. Esto no debería suponer un contraargumento a la asociación que se establece en la tesis entre consciencia y *ensamble* porque, especialmente en la fase REM, podemos considerar que existe una suerte de consciencia interna, aunque no la alcancen las señales externas por lo general (de hecho, cabría esperar que el patrón de actividad talamocortical fuera similar al de la vigilia en esa fase del sueño). Es más, si una de las propiedades de la consciencia es la reportabilidad, el caer en una inconsciencia absoluta durante el sueño impediría que lo contáramos al día siguiente (en lo cual influye el momento en que despertamos) e hiciéramos comentarios como el del revisor al respecto. En todo caso, la gramaticalidad que se decidiría en este espacio global sería más profunda que los contrastes sintácticos con que jugamos los lingüistas, y tendría que ver con la estructuración y organización del pensamiento a un nivel mucho más general. Para otras constricciones, procedentes de sistemas periféricos, v. § 12.

contenido conceptual de las representaciones léxicas (v. Pulvermüller y Fadiga 2016). De hecho, que el lenguaje y la consciencia echaran mano de representaciones conceptuales almacenadas en sistemas independientes me parecería de un diseño del todo ineficiente, ilógico y contrario al proceso de formación de conceptos.

A un nivel mecanístico, hay claros solapamientos entre la neurociencia cognitiva y la lingüística teórica. La función de la consciencia, tal y como se entiende en neurociencia cognitiva, es equivalente a la función de la operación combinatoria básica del lenguaje, *ensamble*, según se defiende en lingüística teórica. Desde la neurociencia cognitiva, se ha definido la función básica de la consciencia como la integración de contenidos diversos, movilizados desde sistemas más modulares a un espacio global común. Igualmente, en Hauser *et al.* (2002) se apunta la hipótesis, desarrollada en Boeckx (2010), de que los humanos son especialmente capaces de recombinar información que se encontraría encapsulada en los sistemas de otros animales, trascendiéndolos. Desde la lingüística se defienden, pues, ideas que desde hace décadas se han aplicado a la consciencia en estudios de neurociencia cognitiva, de modo que cuando se habla de *ensamble* recientemente en nuestro ámbito se tiene en mente algo semejante a la operación de “integración” de Tononi y Edelman (1998), como se apunta en Boeckx (2014) y Boeckx y Burraco (2014).

8.5 Control ejecutivo

El control ejecutivo tiene la función de regular otros procesos, de forma mayormente inconsciente, y encaminar nuestro comportamiento hacia la consecución de determinado objetivo (Carmona y Moreno 2013). Así pues, no es de extrañar que de entrada se le atribuya un amplio abanico de funciones: iniciar, inhibir, planificar (secuenciando los pasos y manteniéndolos junto con el objetivo en la memoria de trabajo), coordinar y supervisar las acciones, regular las respuestas atencionales y emocionales (incluso simulando mentalmente sus resultados antes de ejecutar las acciones) y evaluar los resultados. Mediante estos procesos surge lo que podemos llamar toma de decisiones, razonamiento, resolución de problemas y planificación, o lo que algunos, de forma aún más general, han englobado (parcialmente) bajo la inteligencia fluida (deducir, inducir, identificar relaciones abstractas, etc.) (v. Duncan 2010). En términos igualmente vagos, las funciones ejecutivas se asignan prototípicamente a la corteza prefrontal, aunque en

realidad estén implicadas también otras estructuras corticales y subcorticales (Carmona y Moreno 2013).

El lector habrá notado que este tipo de aproximación al control ejecutivo es demasiado vaga y “desde arriba”. Estamos frente a procesos muy complejos que intentan explicarse mediante tareas demasiado sencillas, como las típicas de *Stroop* y *Wisconsin Card Sort Task* (v. Miller y Cohen 2001). Es más, el propio término “control” sugiere que hay una suerte de “voluntad” tras el mismo, lo cual lleva al problema del homúnculo e incluso a cuestiones metafísicas (v. § 8.4). Estimo mejor esquivar cuanto se pueda este tipo de problemas y marcarse como objetivo, más modestamente, aclarar algo sobre los mecanismos cerebrales del control ejecutivo. Para ello, de poco nos sirve el amasijo heterogéneo de procesos de altísimo nivel, como el “razonamiento”, que en mi opinión somos incapaces de explicar individualmente.

8.5.1 Buscando puntos en común en las funciones ejecutivas.

En consecuencia, primero deberíamos encontrar qué tienen en común todos los procesos citados. De acuerdo con Carmona y Moreno (2013), recurrimos a las funciones ejecutivas cuando necesitamos sobreponernos a conductas automáticas. Esto es, las funciones ejecutivas nos dotan de un comportamiento *flexible* que evita que seamos máquinas de respuestas reflejas a los estímulos y podamos adaptar nuestro comportamiento con miras a la consecución de un objetivo. Aunque de esta forma el control ejecutivo se imponga sobre el procesamiento inconsciente, los procesos ejecutivos en sí son mayormente inconscientes (Carmona y Moreno 2013).

Los comportamientos automáticos pueden considerarse procesamiento de tipo *bottom-up* donde el estímulo sensorio activa un circuito “hardwired” que mapea hacia determinada respuesta (Miller y Cohen 2001). En cambio, el control que se ejerce desde el sistema ejecutivo puede considerarse un procesamiento de tipo *top-down* en que se favorecen determinados procesos de menor nivel a expensas de otros (que podrían ser los preferidos por el *bottom-up*). Un requisito para superar la automaticidad es establecer relaciones menos rígidas entre estímulos y respuestas. El control ejecutivo controlaría el flujo de la información sensorial, detectaría cuando un comportamiento automático es inadecuado para el contexto o la meta y lo inhibiría. Hecho esto, evaluaría diferentes alternativas controladas a partir de la experiencia previa y de la simulación mental.

Finalmente, seleccionaría la mejor alternativa de cara a determinado objetivo y se encargaría de que se ejecutara. Durante su ejecución, supervisaría los errores y aplicaría las correcciones necesarias.

Así pues, podemos resumir la función del control ejecutivo en (des)favorecer el flujo de información en unos circuitos a expensas de otros, activando un mapeo estímulo-respuesta alternativo (Carmona y Moreno 2013). Básicamente, lo que hace es organizar otros procesos de menor nivel. Además de esta modulación de la actividad *top-down* (v. § 8.3) a la que apuntan Miller y Cohen (2001) y de la formación de reglas, es posible desentrañar otros mecanismos subyacentes a las funciones ejecutivas complejas. Diamond (2013) ha identificado como procesos fundamentales: la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (que pueden a su vez relacionarse con otras funciones de menor nivel como el *shifting* atencional, la actualización de la memoria de trabajo, etc.). De acuerdo con Diamond (2013), los tres constituyen una familia de procesos *top-down* cuya ejecución requiere concentrarse y prestar atención, realizando un esfuerzo mental innecesario para los procesos automáticos que escapan del control ejecutivo.

Por lo tanto, parece que el control ejecutivo no es un sistema independiente, sino que se encuentra entremezclado con el resto de dominios cognitivos que ya hemos analizado: atención, memoria (de trabajo) y consciencia (en mi opinión, la misma idea puede extenderse al lenguaje). Una posible interpretación es que el control ejecutivo toma funciones de unos y otros sistemas, por lo que parecería razonable pensar que lo que subyace al control ejecutivo son simplemente mecanismos generales de tipo *top-down* usados en diversos dominios cognitivos. En este sentido, tendría cierta lógica concebir el sistema ejecutivo como el reflejo de la convergencia del resto de dominios o como uno cuya naturaleza queda más lejos de nuestra comprensión que la de ningún otro.

Una interpretación alternativa de la interrelación de sistemas es entender que los demás dominios cognitivos parasitan funciones ejecutivas. Esto es, los demás dominios cognitivos consisten en mecanismos simples gobernados por el sistema de control. Con independencia de estos puntos de vista, se adoptó como premisa (v. § 3.3) que los mecanismos eran neutrales, más característicos de estructuras que de funciones cognitivas. Sin embargo, establecer relaciones con procesos de mayor nivel ayuda a aclarar las funciones de los ritmos, y, hecho esto, parece innegable que algunos mecanismos parecen más definitorios de unos dominios cognitivos que de otros.

8.5.2 Inhibición.

El control ejecutivo puede *inhibir* predisposiciones internas o externas, pudiendo controlar así la atención (*top-down* vs exógena), el comportamiento (controlado vs automatizado), los pensamientos y las emociones. Es decir, el control ejecutivo nos permite “elegir” cómo (no) actuamos (Diamond 2013) con la mira puesta en determinado objetivo (comportamiento voluntario) en lugar de hacerlo automáticamente. La inhibición permitiría ignorar información (sensorial) que causara interferencias para favorecer así las representaciones que seleccionamos, orientando la atención hacia ellas (v. § 8.3.3 sobre mecanismos atencionales). En otras palabras, el control ejecutivo permite activar la atención endógena (voluntaria, guiada por objetivos) a expensas de la atención exógena. A pesar de que solemos explicarlos a nivel perceptivo, estos mecanismos atencionales pueden actuar sobre reglas, representaciones mentales internas que distraigan o impliquen emociones o tentaciones que entorpezcan la consecución del objetivo (v. Ward 2015).

8.5.3 El trabajo de la memoria.

Las funciones ejecutivas necesitan del mantenimiento activo de representaciones, lo cual se consigue gracias a la memoria a corto plazo (o la de trabajo). Recordemos que el control ejecutivo encauza nuestras acciones hacia la consecución de un objetivo, de modo que no podemos perder de vista ese objetivo. La manera de hacerlo es manteniéndolo en la memoria de trabajo. Mientras llevamos a cabo los pasos necesarios para cumplir el objetivo elaboramos y supervisamos una secuencia de acciones que se desarrollan en el tiempo. Para no perdernos en ella y darle sentido, volvemos a necesitar la memoria de trabajo (Diamond 2013), que incluso puede servirnos para simular mentalmente la resolución del problema antes de ejecutar las acciones (Ward 2015). La secuencia de acciones que ejecutamos, sobreponiéndonos a la automaticidad, está igualmente basada en nuestra experiencia en situaciones similares. Recuperar esa información, manipularla activamente y recombinarla es, una vez más, un proceso que requiere de la memoria de trabajo. En suma, parece que el control ejecutivo no podría existir sin la capacidad del mantenimiento activo de información que proporciona la memoria de trabajo.

Una posible conexión entre memoria de trabajo y control ejecutivo es que este es el componente del “working” mientras que aquella sería puramente el componente del “memory” (v. Miller 2013 y § 8.2.4). Entonces, una visión complementaria es que la

memoria de trabajo necesita igualmente al sistema de control ejecutivo para ser algo más que el mantenimiento a corto plazo de información. Sin embargo, los mecanismos del control ejecutivo para manipular y organizar la información se desconocen, más allá de asociarlos a la actividad de regiones frontales y de cómo esta influye sobre otras regiones de menor orden.

8.5.4 Flexibilidad cognitiva. *Shifting* atencional o actualización de la memoria de trabajo.

La flexibilidad cognitiva consiste en poder adoptar diferentes puntos de vista y adaptar la conducta a circunstancias cambiantes (Diamond 2013). Para ello, se precisa de los procesos básicos de inhibición y memoria de trabajo. Imaginemos que necesitamos aplicar un nuevo plan para resolver un problema: para ser flexibles, necesitaremos inhibir el antiguo plan (inhibición atencional), cargar el nuevo en la memoria de trabajo y trabajar con él.

Es posible profundizar en la conexión entre flexibilidad, atención y memoria de trabajo (Diamond 2013), dando así con un(os) mecanismo(s) de menor nivel ya conocido(s) en esos otros dominios cognitivos: el *shift* atencional o la actualización (*update*) de los contenidos de la memoria de trabajo. Es decir, el control ejecutivo es capaz de controlar qué representación se está adueñando del espacio global y pasa a guiar la conducta, yendo de una a otra cuando es necesario. Esta operación entronca, a mi juicio, con los modelos de la consciencia descritos en § 8.4 (v. § 8.4.5 sobre relación entre consciencia y control ejecutivo).

8.5.5 Reglas.

Miller y Cohen (2001) señalan que tenemos la capacidad de controlar el comportamiento en función de objetivos lejanos. De este modo, tenemos mecanismos para superar las reacciones habituales o reflejas y orquestar nuestro comportamiento en función de nuestros objetivos. Estos mecanismos cognitivos tienen la función de controlar operaciones de menor nivel de tipo sensorio, mnésico y motor con un objetivo común. Están, además, esculpidos por la experiencia y se basan en ella para predecir resultados futuros. Necesitamos un sistema que sea capaz de adquirir las normas, qué objetivos tenemos y con qué medios se consiguen. En este sentido, Ward (2015) define las reglas

como mapeos de tipo “if-then”, de modo que si tenemos cierto objetivo (*if*), tenemos que conseguirlo por ciertos medios (*then*). El sistema de control tiene que saber extraer los rasgos relevantes de la experiencia relacionados con nuestro objetivo para poder usarlos en el futuro.

Tal formación de reglas se atribuye comúnmente a la corteza prefrontal, aunque la implicación de los ganglios basales podría ser crucial. Miller y Cohen (2001) revisan estudios con monos, en que se observa que una función principal del PFC es extraer información de regularidades de la experiencia, para formar así normas que puedan guiar el pensamiento y la acción en el futuro. La PFC es un conjunto de áreas neocorticales que conecta con prácticamente todos los sistemas neocorticales sensorios, motores y con muchas estructuras subcorticales. Esta infraestructura permite sintetizar información diversa, necesaria para el comportamiento complejo, y formar, a partir de ella, reglas generales con que organizar el comportamiento.

8.5.6 Sustrato neuronal.

En la actualidad, el control ejecutivo se atribuye prototípicamente a regiones de la corteza frontal. Sin embargo, como recuerdan Carmona y Moreno (2013), históricamente el lóbulo frontal se había considerado “silencioso”, por no saber atribuírsele ninguna función concreta. Tan poca importancia se le daba que, de hecho, se practicaban lobotomías sin muchos miramientos. Todo esto empezaría a cambiar con el caso de Phineas Gage, que llevaría a considerar la corteza frontal el asiento de lo que vagamente se etiquetaría como personalidad (v. Carmona y Moreno 2013). Otros estudios, en que se estimulaban regiones precentrales y se observaba la respuesta motora de animales, llevarían a distinguir la corteza precentral, caracterizada por computaciones de carácter motor; de la corteza prefrontal, que podría considerarse la corteza de asociación frontal (Carmona y Moreno 2013). Los trabajos de Luria inspirarían una parcelación mayor de la corteza prefrontal. Por ejemplo, se distinguirían tres divisiones anatómico-funcionales (v. Carmona y Moreno 2013): la orbitofrontal se encargaría del control social; la cingulada, de la iniciación de conductas dirigidas a objetivos; y la dorsolateral, de organizar, planificar y revisar la conducta.

Con más detalle, Carmona y Moreno (2013) resumen que la dlPFC está asociada a la formación de reglas, la flexibilidad y la organización de la conducta cuando nos sobreponemos a respuestas automáticas. Este control cognitivo es considerado “cold”

(Ward 2015) por estar poco asociado a lo afectivo. Por otro lado, la corteza orbitofrontal está asociada a la inhibición conductual y emocional (Carmona y Moreno 2013), una parte del sistema conocida como “hot” (Ward 2015) porque implica lo emocional (una relación reforzada anatómicamente por las conexiones con estructuras límbicas y frontales ventromediales). Por último, la corteza cingulada parece relacionada con la guía de la conducta a partir de la motivación y los intereses (Carmona y Moreno 2013), lo cual puede interpretarse como lo que subyace a la puesta en marcha de planes.

En contraste con estos pocos territorios funcionales, nos encontramos con que la PFC es, citoarquitectónicamente, bastante heterogénea, abarcando las BA 8, 9, 10, 11, 12, 32, 55, 45, 46 y 47. Sólo ha sido posible asociar computaciones específicas a unas pocas regiones: de carácter lingüístico a las BA 44 y 45 y de control de los movimientos oculares a la BA8 (Carmona y Moreno 2013). Al margen de estas dificultades para la localización funcional, se está más convencido de que, tanto por su posición en el cerebro como por su conectividad, la PFC es idónea para orquestar el resto de procesos de menor nivel. La PFC es la región más interconectada con el resto del cerebro, dándose una convergencia que permite integrar información interna (como del sistema límbico) e información externa (de sistemas sensoriales) para guiar las acciones (a través del sistema motor). En este sentido, la PFC crearía mapas de flujo (como una suerte de planos de vías de tren) donde se controlaría la transmisión de la información entre los distintos sistemas de *input* y de *output* (Carmona y Moreno 2013).

8.5.7 Mecanismos y Oscilaciones.

Al descomponer las funciones ejecutivas en mecanismos de menor nivel, estos resultan redundantes con los de otros dominios cognitivos. Por ejemplo, hemos identificado como un mecanismo definitorio de las funciones ejecutivas la inhibición, que está estrechamente vinculada a la atención (en lo que respecta a la desección); hemos otorgado la flexibilidad cognitiva a la actualización de una representación en la memoria de trabajo, pudiendo atribuirse esto también al *shifting* atencional (e incluso pudiendo relacionarse con la actualización del contenido en el GW de la consciencia); etc. Es más, no está claro hasta qué punto se integran estos diversos dominios. Tal falta de especificidad, o el alto nivel de integración con otros dominios cognitivos, es algo que está igualmente reflejado en las investigaciones sobre la relación del sistema ejecutivo o las estructuras frontales con las oscilaciones cerebrales. Hasta donde sé, suelen buscarse

correlatos oscilatorios de operaciones que pueden entenderse como atencionales, de memoria o, en general, de modulación *top-down*. En coherencia con estas redundancias, la función atribuida a ciertos ritmos cuando se investiga sobre el sistema ejecutivo es la misma o muy similar a la que se atribuye a esos mismos ritmos cuando el estudio es sobre otros dominios cognitivos.

A pesar de todo, es posible establecer enlaces entre mecanismos y actividad oscilatoria en que están implicadas las estructuras frontales, que parecen ser el sustrato neuronal principal de las funciones ejecutivas, con independencia de si son compartidos por otros sistemas. Por ejemplo, para el control del flujo de información y la influencia *top-down*, se ha propuesto que las oscilaciones *beta* se sincronizan entre áreas frontales y posteriores, en la selección (atencional) de estímulos o representaciones (Benchenane *et al.* 2011). A través de las conexiones con las capas profundas, se podría comunicar el *feed-back* a áreas inferiores en la jerarquía, modular la actividad que tiene lugar en ellas (como *gamma* en las capas superficiales) y seleccionar la información de la región con la que se acopla el ritmo. Esta función de *beta* resulta redundante con la atribuida al ritmo en la selección de la atención endógena.

Asimismo, conforme a la hipótesis de la CTC y los ritmos que caracterizan estas estructuras, se ha observado un acoplamiento de la PFC y estructuras relacionadas con el hipocampo a banda *theta* (Benchenane *et al.* 2011) o, más en general, con estructuras donde habría *buffers* de memoria, como la corteza temporal para la verbal y la corteza parietal para la visual (Kawasaki *et al.* 2010). Esta oscilación *theta* puede cumplir funciones atribuidas comúnmente a la memoria de trabajo y revisadas en § 8.2.6 como organizar secuencialmente las asambleas neuronales que se mantienen en la memoria de trabajo, poner en comunicación las áreas relevantes, transmitir la manipulación de esa información ejecutada por estructuras frontales, seleccionar qué representaciones se recuperan, etc.

Además, en las estructuras donde se mantendría (e inhibiría) información se han observado oscilaciones *alpha* (Kawasaki *et al.* 2010). Estos autores vuelven a registrar que las regiones frontales se acoplan a sistemas supeditados a las funciones ejecutivas mediante ritmos *theta*, los cuales a su vez se acoplan a los ritmos *alpha* más locales (en la corteza temporal para la memoria verbal, y en la parietal para la visual). Una función de este ritmo *alpha* podría ser la supresión de información o la inhibición del procesamiento en ese área (v. § 5.4.5), que podría corresponderse en ocasiones con los

automatismos que superamos gracias a las funciones ejecutivas. Asimismo, la oscilación *alpha* se ha asociado a la actualización de los contenidos de la memoria de trabajo (Dippopa y Gutkin 2013), lo cual puede estar detrás de la flexibilidad cognitiva (con la que nos sobreponemos a conductas automáticas).

Por último, las reglas, que podrían servir para organizar el comportamiento, pueden depender de la formación de ensamblajes neuronales en regiones frontales mediante *beta* (Buschman *et al.* 2012). Estos autores notan que, en una tarea donde el comportamiento de los monos tiene que regirse por una de dos reglas (guiarse en la tarea por el color o la orientación del estímulo) la regla que guía el comportamiento en determinado momento depende de la formación de una asamblea neuronal a banda *beta*, gracias a la cual se integra un conjunto específico de neuronas. Además, la propia naturaleza dinámica de la oscilación facilitaría pasar de una regla a otra, seleccionando en diversos ciclos las diversas neuronas que pertenecen a una u otra regla.

Por todo lo anterior, en el sistema de control ejecutivo nos encontramos con una amplia variedad de mecanismos (no bien comprendidos) y ritmos a múltiples bandas que interactúan y computan de forma pareja a la identificada en otros sistemas (de los cuales, en ocasiones, el sistema de control ejecutivo se considera un componente). Dejando al margen cuestiones de especificidad (v. § 3.3 sobre la neutralidad de mecanismos), parece posible asociar ciertos ritmos a ciertas funciones ejecutivas, como *beta* al control *top-down* y la formación de reglas; *alpha* a la inhibición de respuestas automáticas o del procesamiento de información irrelevante y a la actualización de la memoria de trabajo (asociada a la flexibilidad cognitiva); y *theta* a la organización o manipulación de la memoria de trabajo, así como al establecimiento de conexiones a larga distancia para el control del flujo de la información de sistemas aparentemente supeditados al de control.

8.5.8 Relación entre control cognitivo y lenguaje.

Las hipótesis que se formulan sobre la relación entre el lenguaje y el control ejecutivo tienden a un enfoque demasiado general poco conciliable con nuestros objetivos. Por ejemplo, Ye y Zhou (2009) revisan que el control ejecutivo podría cumplir funciones en el lenguaje como la resolución de conflictos informativos en el sentido de decidir qué pieza léxica se selecciona, qué lengua utiliza un hablante bilingüe en determinada situación o qué interpretación se asigna a una frase ambigua. Estas funciones del sistema de control en el lenguaje se atribuyen a partir de un nivel de análisis alejado

del empleado aquí. Mientras que la presente tesis se centra en mecanismos y propiedades universales de las estructuras lingüísticas, estudios como el citado trabajan con unidades de naturaleza distinta. Si bien la selección de palabras se puede asociar al mecanismo de *selección* (v. § 9.1), tratar como unidades las oraciones e, incluso, las lenguas queda muy lejos del nivel de análisis centrado en los mecanismos por los que se genera esa oración o que definen la facultad del lenguaje que se pone en uso al hablar una de las lenguas seleccionadas.

A pesar de esto, estimo que el sistema de control ejecutivo es tan necesario para el lenguaje como para el resto de sistemas de la cognición de alto nivel, como la atención, la memoria y la consciencia, de los que, en mi opinión, se vale el lenguaje (v. Hagoort 2005 *et seq.*, § 8.1.2.1.2). Si entendemos que el control ejecutivo consiste en la regulación del resto de procesos de la cognición de alto nivel, el lenguaje es un proceso más que regular. El control ejecutivo puede, por lo tanto, regular la temporalidad o la aplicación de mecanismos que se atribuyen al lenguaje o bien aportar mecanismos complementarios. Además, si la inhibición de la información depende del sistema de control ejecutivo, este debe estar implicado en el procesamiento lingüístico durante el cual el cerebro se encuentra con información distractora de la misma forma que ocurre en cualquier tarea donde se analicen procesos atencionales o de memoria de trabajo, o en cualquier procesamiento en “condiciones naturales”.

Asimismo, si el control ejecutivo es el responsable de la formación de reglas con las que guiar el comportamiento, será igualmente responsable de la formación de reglas lingüísticas (si es que las hubiera). Esta hipótesis cuadra más con una concepción regular del lenguaje, según la cual la construcción de estructura (sintáctica) depende de aplicar ciertas reglas asimiladas a partir de regularidades detectadas durante el proceso de adquisición, de la que discrepo. Tal como se concibe en la presente tesis, la combinatoria sintáctica depende, por el contrario, de la aplicación de mecanismos (oscilatorios) que interactúan de manera natural e inevitable en el cerebro formando una sintaxis neuronal general. Estos mecanismos son más dinámicos y menos rígidos que lo que sugieren las reglas. De hecho, la rigidez de las reglas no cuadra con el aspecto creativo ni la flexibilidad del lenguaje. En este sentido, de la misma forma que no creo que existan reglas para la movilización de contenidos al GW de la consciencia, tampoco creo que las haya para la combinación de piezas léxicas. Incluso si las hubiera, tengo la impresión de

que las reglas son algo mucho más complejo que mapeos entre estímulos y respuestas, estando muy alejadas de la concepción que se tiene actualmente de ellas.

Siguiendo con la argumentación de la dependencia del lenguaje del sistema de control ejecutivo, siendo el control ejecutivo el responsable de la manipulación de la información retenida en la memoria a corto plazo, también debe ser, por lógica, responsable de manipular la información lingüística que mantenemos en la memoria a corto plazo durante el uso del lenguaje. De hecho, la manipulación de esa información es lo que, a nivel muy elemental, puede considerarse la sintaxis de una lengua.

Igualmente, si el control ejecutivo fuera el responsable de la selección de la información que se recupera de la memoria a largo plazo, debería ser el responsable de la selección de las piezas que se recuperan del lexicón (tal vez mediante mecanismos atencionales) o de los elementos sobre los que se aplican operaciones subsiguientes. En la misma línea, si el control ejecutivo gobierna la atención y la atención está bastante interconectada con el lenguaje (v. § 8.3.4), como en la temporalidad del procesamiento, el control ejecutivo debe estar implicado irremediabilmente en el lenguaje.

Por último, si el control ejecutivo es el responsable de la flexibilidad de la conducta o la superación de la automaticidad en las respuestas a ciertos estímulos o situaciones, será, en la misma medida, responsable de la flexibilidad que tenemos cuando usamos el lenguaje y de la aparente libertad con que nos expresamos. Por ejemplo, es imposible predecir qué dirán un par de personas en una conversación, puesto que no parecemos responder automáticamente a las situaciones o expresiones de los demás. De hecho, algunos lingüistas ven en el lenguaje el grado máximo de expresión de esa capacidad creativa que parece caracterizar al hombre.

Por todo lo dicho, parece que la única opción teórica plausible, más allá de cuánto (o cuán poco) se haya podido demostrar en algunos estudios, es que el lenguaje y el sistema de control ejecutivo están íntimamente conectados, y no a un nivel general o especulativo, sino de mecanismos. El lenguaje está tan conectado a las funciones ejecutivas como lo están la atención, la memoria y la consciencia. Una razón directa de tal interconexión se sigue de la hipótesis, postulada en la presente tesis, de que el lenguaje nace de estos diversos dominios cognitivos. Si los mecanismos, poco comprendidos, del control ejecutivo no fueran necesarios para el lenguaje, tampoco deberían serlo para el resto de dominios cognitivos. No obstante la investigación en neurociencia cognitiva sugiere, por ahora, que la interdependencia es muy significativa. Frente a ese panorama,

parece preferible adoptar una postura coherente con lo que se dice para el resto de la cognición, que volver a convertir el lenguaje en una excepción.

8.6 Conclusiones. La interrelación entre los múltiples sistemas y sus operaciones de bajo nivel

Tras la introducción de los diversos dominios cognitivos de mayor nivel, se ha realizado una revisión de sus mecanismos constituyentes y de su implementación en términos de oscilaciones cerebrales, lo cual es afín a las premisas y el nivel de análisis fijado en § 3. El desarrollo de estas cuestiones es consecuente con las estructuras, las dinámicas y las funciones básicas analizadas en las secciones previas, como se mostrará a continuación para la memoria, la atención, la consciencia y el control ejecutivo (discutiéndose luego el caso del lenguaje).

En síntesis, la memoria consiste en codificar, mantener y recuperar representaciones. A ello contribuyen los mecanismos emergentes de las oscilaciones *gamma* y *theta*, así como su interacción. *Gamma* serviría para favorecer la codificación de representaciones distribuidas por gran parte de la corteza, para activar las huellas de memoria y para mantenerlas activas (una vez recuperadas). *Theta*, por su parte, contribuiría a la organización de esas representaciones gracias a la comunicación en estructuras del hipocampo, la discriminación y ordenación temporal de las mismas (mediante mecanismos como la codificación por fase en la interacción *theta-gamma*), etc. Estos mecanismos de la memoria son coherentes con las funciones generales atribuidas a los ritmos en § 7.1. Además, el sustrato neuronal identificado para estos procesos, así como sus dinámicas, cuadran con lo esbozado en capítulos previos: *gamma* se encuentra en las capas superficiales de la corteza y *theta* en estructuras relacionadas al hipocampo (y en los ganglios basales, que también están implicados en procesos de memoria).

En lo que respecta a la atención, se revisó que consiste básicamente en la selección de un subconjunto de información mediante influencias *top-down* y, al mismo tiempo, en la desección del resto de información. Para la implementación de este mecanismo, se ha propuesto como relevante el ritmo *beta*, que reflejaría la modulación y selección *top-down* de la información en el caso de la atención endógena y gobernada por

el sistema de control ejecutivo (que es lo más relacionado al procesamiento lingüístico). El ritmo *gamma* se usaría para el procesamiento *bottom-up* de la información, más local y menos controlado por sistemas de orden superior. Para la desección atencional (aparte de la falta de sincronía de las células que codifican la información irrelevante), también se apunta a *alpha*, lo cual va acorde a la función inhibitoria del ritmo, mientras que la organización de los procesos atencionales se realizaría mediante *theta*. En ambos casos, nos encontramos mecanismos más regulatorios y que se pueden atribuir al sistema de control ejecutivo. Nuevamente, los ritmos y mecanismos apuntados casan con la red dinámica de los capítulos previos: la presencia de *beta* es coherente con las capas corticales profundas que reciben el *feedback* y en las que se ha identificado ese ritmo, así como con estructuras como los ganglios basales (cuya función básica es seleccionar), estructuras frontales del control ejecutivo y ciertos núcleos talámicos que intercomunican estas áreas. También se ha visto que *beta* favorece el mantenimiento del *statu quo*, lo cual, según cómo se interprete, no es sólo mantener un *input*, sino seleccionarlo (v. § 9.3). La presencia de *alpha* es característica de las regiones parietales donde se han ubicado circuitos atencionales, así como del núcleo talámico pulvinar.

La consciencia se ha definido como la capacidad de globalizar el procesamiento local. Para ello, es importante el ritmo *alpha* (acoplado con *gamma* que constituye las representaciones más locales) en redes talamo-corticales, donde el TRN puede ejercer de mediador. Una vez más, esto es coherente con lo característico del ritmo *alpha* en redes que implican el tálamo y el TRN, así como con sus amplias conexiones y la función general que se les atribuyó habilitar el flujo de información a gran escala. Además, *alpha* se ha localizado en las láminas corticales profundas, donde las conexiones con el tálamo son amplias. Por su parte, *gamma* puede estar asociado al procesamiento consciente, lo cual se ha atribuido más a la codificación y al mantenimiento de representaciones del contenido de la consciencia. La función de *alpha* en este punto se relaciona con el procesamiento activo y la comunicación de regiones distantes.

Por último, el control ejecutivo consiste en múltiples mecanismos, no del todo bien comprendidos, como el control del flujo de información, la inhibición, el control de la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, la formación de reglas, etc. Para implementarlos, se utilizan ritmos parcialmente redundantes por su implicación en otros dominios cognitivos. Las conexiones a larga distancia, mediante las cuales fluiría la formación entre sistemas, pueden establecerse mediante sincronía a banda *theta* (que, a

su vez, podría organizar otros aspectos del procesamiento implementados mediante ritmos más rápidos), dándose una especial comunicación con estructuras límbicas. Las oscilaciones *beta* serían importantes en la formación de reglas que guíen la conducta y para comunicar información a regiones de menor orden (y mantener representaciones en la memoria de trabajo). *Alpha* podría inhibir el tipo de respuestas automáticas que se superan gracias al control ejecutivo.

Por todo ello, este capítulo respalda la utilidad de relacionar estructuras, dinámicas, funciones generales y operaciones constitutivas de los dominios cognitivos con objeto de que emerja un todo integrado y explicativo, en tanto que se enlazan el cerebro y la mente. De ello se desprende que, conforme a la neutralidad de los mecanismos y en contradicción con el alto grado de modularidad y especificidad del generativismo y parte de la neurolingüística, los diversos dominios cognitivos se hallan entremezclados. En este sentido, la consciencia parece compartir espacios con la memoria de trabajo; la atención actuaría como filtro de la consciencia y como seleccionador en la memoria; el control ejecutivo parece un mismo sistema que gobierna tanto la atención como la memoria (de trabajo), y que, de una forma menos definida, está ligado a la consciencia; etc. De igual forma, los mecanismos y los ritmos que los implementan parecen compartirse: la inhibición, mediante *alpha*, se observa tanto en la atención como en la memoria de trabajo y el control ejecutivo; la modulación *top-down*, mediante *beta*, es utilizada tanto por la atención como por el control ejecutivo; las oscilaciones *theta* sirven para comunicar regiones distantes y organizar representaciones en la memoria, así como para controlar el flujo de información entre sistemas a partir de funciones ejecutivas; las oscilaciones *gamma* permiten formar asambleas en la memoria, los contenidos de la consciencia y los objetos atendidos (exógenamente); etc. En definitiva, en un nivel de análisis centrado en las operaciones básicas, las estructuras y la forma en que se realizan en el cerebro resultan difusas las fronteras entre, como mínimo, la atención, la consciencia, la memoria y el control ejecutivo.

En este contexto de la mente y los mecanismos cerebrales, el lenguaje tiende a verse como una excepción, ya sea desde el ámbito de la lingüística teórica o desde el de la neurolingüística. A pesar de que hay modelos que, con mayor o menos éxito, apuntan a una interrelación del lenguaje con la memoria (v. Ullman 2016, Pulvermüller y Fadiga 2016) o el sistema de control ejecutivo (v. Hagoort 2016), la integración en el resto de la mente es parcial en el sentido de que se contemplan unos dominios cognitivos pero no

otros y no se profundiza en los mecanismos compartidos. Por esto la visión imperante sigue siendo la de un sistema bastante aislado (v. Friederici 2002 et seq.). Por el contrario, en este capítulo se han establecido, para todos y cada uno de los dominios revisados, puntos en común con el lenguaje que indican la existencia de una interdependencia, lo cual viene a apoyar la idea de que los mecanismos básicos del lenguaje, lejos de ser nuevos, son los mismos utilizados para el procesamiento no lingüístico. Por ejemplo: las piezas léxicas pueden depender de la memoria semántica y su sustrato, que implica el hipocampo y está distribuido por las cortezas (mayormente de asociación), que se activan y manipulan como ocurre con el resto de representaciones en la memoria de trabajo (y en el espacio global de la consciencia; v. la hipótesis que desarrollamos en § 9.2); el procesamiento lingüístico y el atencional comparten la temporalidad, en que a intervalos regulares se producen fases en las que se trabaja con objetos de complejidad creciente, y la selección atencional podría estar detrás de la selección de representaciones lingüísticas (en la estructura); el lenguaje parece realizar, en su operación básica, el mismo proceso de globalización e integración de representaciones que desde hace tiempo se atribuye a la consciencia, compartiéndose también con la misma parte de sus contenidos; el comportamiento lingüístico, flexible, necesita de la guía del control ejecutivo en la misma medida que el resto de sistemas mediante mecanismos de inhibición, control de flujo de información, etc. De hecho, haciendo aquí un anticipo *simplificado* y a grandes rasgos, en la tercera parte de la tesis se defenderá que la operación lingüística de *selección* depende de la memoria; el *ensamble*, de la consciencia; la *proyección*, de la atención; y la transferencia, del control ejecutivo.

En lo referente a los mecanismos, la neurociencia cognitiva del lenguaje también está menos desarrollada. La práctica habitual es asociar cierto componente vago del lenguaje con una localización estructural de la red clásica y una señal ERP, que reflejaría el momento en que el proceso tendría lugar. A pesar de que hay modelos que sí entran en mecanismos y oscilaciones, las operaciones que se eligen son demasiado vagas y los paralelismos establecidos con la función de esos mismos ritmos en otros dominios cognitivos son escasos. Respecto de la imprecisión en la concepción de mecanismos, Bastiaansen y Hagoort (2006), uno de los modelos más completos, reduce el procesamiento lingüístico a dos operaciones, la recuperación y la integración de información. En Singer y Friderici (2015) prácticamente todo se limita a la formación de

asambleas de mayor o menor tamaño y estudios como los de Meyer hablan de procesos de difícil correlato en la lingüística teórica.

En lo relativo a la falta de coherencia para las funciones de los ritmos, se ha visto que *alpha* es un misterio para la mayoría, proponiéndose funciones incompatibles con el resto de la neurociencia cognitiva. De *beta* se habla a menudo de una desincronización, cuando en realidad es la sincronía lo computacionalmente más útil y lo que uno suele encontrar en relación con otros dominios cognitivos; aparte, la asociación de *beta* con la sintaxis es demasiado vaga. *Gamma* se relaciona con la formación de grandes asambleas de contenido semántico, cuando por las propiedades del ritmo (rápido y local) su función debería estar más restringida, y *theta* se correlaciona con la memoria (de trabajo) y la recuperación léxica, pero sin ahondar en su papel en la organización de asambleas y otros procesos o en su implicación en las funciones ejecutivas. El ritmo *delta* es el que recibe menos atención y se asocia vagamente a la formación de oraciones y sintagmas prácticamente igual de grandes, de modo que se ignora gran parte de la estructura interna⁴⁸. Una hipótesis interesante, y diferente a la de la codificación por fase más popular, es la discriminación de distintas unidades lingüísticas mediante la multiplexación por división de frecuencia, apuntada ya en Weiss y Mueller (2003). No obstante, aunque se lleva a la práctica con relativo éxito en la fonología (v. Giraud y Poeppel 2012), no se identifican relaciones claras en la sintaxis (v. Ding *et al.* 2015, y § 11.1 para una propuesta que parte de Ramírez 2014).

En definitiva, el desarrollo de la integración del lenguaje con el resto de la cognición y sus mecanismos puede tacharse de pobre en comparación con lo fértil que parece esta vía de investigación cuando uno confronta los demás dominios cognitivos. Seguramente, no se han abordado estas cuestiones por culpa del sesgo a la modularidad y especificidad excesivas, que caracteriza a la teoría lingüística y que ha impregnado la neurolingüística. Desafortunadamente, las disciplinas comparten este rasgo, pero no hacen lo propio con las unidades o los conceptos con que trabaja cada una (v. Poeppel 2012). En este sentido, se ha apreciado que las principales operaciones identificadas por la lingüística teórica no se encuentran, en general, en la neurociencia cognitiva del lenguaje. Tampoco se pronuncia la neurolingüística sobre propiedades (estructurales) y principios del lenguaje aparentemente universales ni se contemplan sus constricciones,

⁴⁸ Para un modelo paralelo en que se recurre a *delta*, véase Murphy (2016b).

como la localidad, mientras que sí se han ofrecido explicaciones para límites cognitivos en otros dominios, como en la memoria de trabajo (v. Lisman e Idiart 1995).

En la tercera parte de la tesis se intentarán subsanar estas lagunas definiendo mecanismos precisos, aunque integrados, en su relación con la lingüística teórica y con la neurociencia de la cognición (§ 9), explicando cómo podrían interactuar para generar una estructura (lingüística) compleja con distintas clases de elementos y propiedades (§ 11) y presentando una propuesta para implementar los límites de localidad en términos de oscilaciones cerebrales (§ 12).

Parte III:
Implementación de
mecanismos,
estructura, principios
y constricciones

9 Implementando mecanismos

En esta tercera parte de la tesis, se propone una implementación de las propiedades definitorias del lenguaje identificadas en la parte I, a partir de la base sobre el cerebro/mente construida en la parte II. En el presente capítulo se formulan hipótesis teóricamente persuasivas sobre una implementación cerebral de los mecanismos del lenguaje identificados en § 2.4.4.1: *selección, ensamble, transferencia y proyección*, cuya génesis se remonta a Ramírez (2014), Ramírez *et al.* (2015) y Ramírez (2015b)⁴⁹. Las propuestas para el resto de propiedades o fenómenos lingüísticos que surgen de la interacción de esos mecanismos, así como de las constricciones que tienen lugar en el proceso, se reservan para capítulos posteriores (v. §§ 11 y 12).

Como se apuntaba, la implementación de los mecanismos del lenguaje que se propone basa en las estructuras (v. § 4), dinámicas (v. §§ 5 y 6), mecanismos (v. §7) y dominios cognitivos (v. § 8) analizados en la parte II. En coherencia con la premisa apuntada en § 3.3, los mecanismos oscilatorios utilizados son neutrales y, por lo tanto, empleados en otros dominios cognitivos de mayor nivel (v. Weiss y Mueller 2003). Esta integración de los mecanismos del lenguaje con los mecanismos de otros dominios cognitivos responde a la concepción no-modular y no-específica del lenguaje (y especialmente de la sintaxis) defendida en § 2. El lenguaje nace así del resto de dominios cognitivos que anteceden al surgimiento de la facultad lingüística, lo cual no sólo resulta en una imagen evolutivamente más congruente y que no obliga a reducir en exceso la complejidad del lenguaje, sino que facilita su integración en la mente y en el cerebro.

Tomar como punto de partida estructuras y mecanismos neutrales nos llevará a definir una red a escala cerebral global bastante diferente a la típica del modelo clásico de neurolingüística (v. § 8.1.1). A pesar de que se trazan algunos paralelismos con ciertos modelos, las disonancias generales con respecto a los mismos son aquí bienvenidas, dadas las limitaciones explicativas de la neurolingüística actual (v. § 8.1.4). En este sentido,

⁴⁹ Para un desarrollo paralelo, véase Murphy (2015, 2016a, 2016b) y Boeckx y Theofanopoulou (2018).

nuestra implementación aventaja a los modelos neurolingüísticos en que se da especial importancia a mecanismos cerebrales, y no sólo al mapeo de las regiones donde se registra cierto componente, y en que, en lugar de hablar de grandes componentes (sintaxis, fonología, etc.), se propone una implementación de los mecanismos constitutivos de la facultad que emula la labor de la neurociencia cognitiva (v. § 8) y respeta la complejidad del procesamiento lingüístico y que permite superar tanto la coherencia entre ritmos y su función en otros dominios cognitivos como el fundamento en la lingüística teórica, que no se cumple satisfactoriamente en modelos que sí contemplan las oscilaciones. Asimismo, este capítulo supera a los trabajos en lingüística teórica en que las operaciones aquí discutidas se fundan sobre cómo ocurre el procesamiento cerebral desde cierto nivel de análisis, en vez de quedarse en un nivel de abstracción excesivo (pese a que desde la comunidad lingüística se asuma que se explica la mente/cerebro reparando sólo en estructuras lingüísticas y sus propiedades).

9.1 *Selección.* Formación de ítems mediante recuperación+mantenimiento mnésicos

La operación de *selección* (Chomsky 1995) consiste en extraer las piezas del lexicón, que más tarde serán combinadas, transferidas, etc. Esta operación, aparentemente simple, puede descomponerse en más operaciones de menor nivel. Defendemos que, lejos de ser específicas del lenguaje, tales operaciones están asociadas a la memoria, pudiendo haber asimismo una implicación de sistemas atencionales y ejecutivos. Se considerará que las piezas léxicas deben ser ensamblajes neuronales, *codificadas* como huellas de memoria durante la adquisición, que *recuperamos* (con una posible implicación de la atención) y que debemos formar (a lo BBS, v § 5.4.3) y *mantener* activas para poderlas manipular luego (mediante el *trabajo* de la memoria de trabajo, que podría estar gobernado por el control ejecutivo, lo cual entronca con operaciones posteriores, v. § 9.3). A muy grandes rasgos, propondré que las representaciones se forman mediante *gamma* en las capas corticales superficiales de la corteza de asociación, posiblemente recuperadas de la memoria semántica mediante el *theta* del hipocampo (en colaboración con estructuras frontales ejecutivas) (v. Lutzenberger *et al.* 1994, Pulvermüller *et al.* 1996, Bastiaansen *et al.* 2008).

9.1.1 Relación con la memoria (y otros dominios cognitivos).

La operación de la *selección* parece tremendamente conectada a la memoria y a las operaciones básicas revisadas en § 8.2: las piezas léxicas sobre las que se aplica son representaciones que se han *codificado* durante la adquisición del lenguaje y que en el uso activo del mismo deben ser *recuperadas y mantenidas* para poder ser combinadas posteriormente. En consecuencia parece más coherente considerar que la selección consiste en un proceso de corte mnésico que engloba suboperaciones (v. Hagoort 2005, Bastiaansen y Hagoort 2006) y no una operación específicamente lingüística y monolítica. Si existe un primitivo en los procesos de memoria, un fuerte candidato son las asambleas neuronales (Hebb 1949, Buzsáki 2010): grupos de neuronas con actividad sincrónica, posiblemente interconectadas anatómicamente, y que forman una representación coherente. Siendo representaciones de esta clase, las piezas léxicas deben descansar sobre asambleas neuronales. Como tales, además de estar sujetas a los mecanismos de codificación, mantenimiento y recuperación, deben formarse y resolver el *binding problem*, haciendo que los múltiples rasgos que las integran se agrupen en una representación coherente (v. § 5.4.3).

Si tenemos en cuenta el principio de que las huellas de memoria se codifican en los lugares donde tiene lugar la actividad (v. §§ 8.1.2.1.5 y 8.2.3), contemplar la codificación (que en sentido estricto no integro en la operación de *selección* más allá de la adquisición, que en la presente tesis se deja al margen) nos aporta información crucial sobre cuál puede ser el sustrato neuronal. Además, las piezas del lexicón deben emerger de la memoria a largo plazo de tipo declarativo (v. § 8.2.2, Ullman 2016), puesto que son representaciones que quedan almacenadas durante años, accesibles a la consciencia y reportables. Más concretamente, la *selección* opera con representaciones de tipo semántico, puesto que las piezas léxicas son información más próxima a hechos que a experiencias y están mayormente desligadas del contexto en que se adquirieron.

La parte específica de los elementos léxicos, que será mínima, se deberá a características como una mayor asociación a elementos perceptivos o motores (tratándose de representaciones asociadas a lo que en lingüística se conoce como forma fonética y su

externalización, v. Pulvermüller y Fadiga 2016)⁵⁰. Asimismo, la *selección* guarda una relación significativa con el procesamiento preconscious (v. § 8.4.1). Esto cobra sentido especialmente a la luz de la implementación de *ensamble* en § 9.2, para lo cual me baso en la operación de globalización de la consciencia. En este sentido, se defenderá que esta operación activa contenidos preconscious que son integrados mediante mecanismos de la consciencia al producirse *ensamble*. Para no enrevesar demasiado la exposición, esta relación con la consciencia se aplaza a § 9.2.2.

9.1.2 Codificación, naturaleza y sustrato neuronal del léxico.

La formación de huellas de memoria declarativa está mediada por el complejo hipocámpico (v. § 8.2.2) en que la información emprende un viaje complejo por estructuras diversas (v. § 4.3). Por consiguiente, a pesar de que en los modelos neurolingüísticos se suelen excluir, las estructuras de este complejo deben jugar un papel evidente en la constitución y los circuitos sobre los que se construyen las huellas de memoria objeto de la *selección*. Dado que se cree que el asiento último de las representaciones son regiones corticales (v. § 8.2), las piezas léxicas serán ensamblajes neuronales distribuidas, principalmente, por áreas de asociación multimodales (Adrover *et al.* 2013) como la temporal, parietal y frontal (v. § 4.1.1.1). Concretamente, distintos rasgos se codificarán en las regiones de modalidad más específicas y donde se computó inicialmente la información (v. § 8.2.3, Damasio 1996, Pulvermüller y Fadiga 2016). Por ejemplo, los más próximos a lo perceptivo, en sistemas posteriores; los más próximos a acciones motoras, en regiones adyacentes a áreas motoras, etc. Todo ello implica que la base de palabras y los conceptos viene a ser la misma, con la salvedad de que las piezas léxicas se asocian a ciertos signos (fonológicos, gestuales, etc.).

En este contexto, la corteza temporal anterior, que suele considerarse el sustrato del léxico en lingüística, se puede reinterpretar como un *hub* (Pulvermüller y Fadiga

⁵⁰ El hecho de que haya algo de especificidad en las representaciones no legitima a postular la existencia de un sistema específico. Estableciendo un paralelismo, se cree que las huellas de memoria relativas a la cara se localizan fundamentalmente en la *fusiform face area*, pero, aun así, si el objetivo es entender el procesamiento de las caras, es más útil considerar esa área como parte del sistema visual y de memoria que como un sistema específico. Lo mismo ocurriría en el caso del lenguaje: para entender la naturaleza de las representaciones léxicas objeto de la selección, es más provechoso y coherente enmarcarlas en un dominio cognitivo general como la memoria.

2016) intermediario entre las regiones más generales. De hecho, esa región está implicada en la memoria semántica, no necesariamente lingüística, y conecta con regiones de mayor orden donde se podría procesar información más abstracta. Según Leutgeb y Leutgeb (2014), conecta con la PRC en que se procesaría el *what* de las representaciones o, visto de otro modo, su material conceptual, y puede relacionarse con la vía ventral de los modelos lingüístico de doble vía (Hickok y Poeppel 2000, Weiller *et al.* 2016, v. § 8.1.2.1.3).

9.1.3 Recuperación y formación: *binding* (y atención).

Los ítems léxicos son *recuperados* de la memoria semántica a largo plazo, reactivándose la asamblea neuronal que fue codificada en la adquisición. Nuevamente, puede esperarse una activación del lóbulo temporal y del hipocampo, que contarían con microrepresentaciones de las huellas ubicadas en la corteza (Davachi y Preston 2014) a partir de las cuales reactivarlas (quizás implicando el paso de información de CA3 a CA1; Leutgeb y Leutgeb 2014). Nótese que, cuando recuperamos una representación léxica, la estamos *seleccionando* y activando. Justamente la operación de *selección* (del subconjunto de información relevante) es la que se atribuye como principal a la atención, cuya implicación presenta visos de plausibilidad a la vista de la hipótesis de la *attention to memory* (Uncapher *et al.* 2014, Cabeza *et al.* 2008, v. § 8.2.5)⁵¹.

En términos intuitivos, cuando es recuperada, la información de las representaciones pasa de un estado latente a un estado más activo, reutilizando el circuito que se empleó para la codificación. Así, información que dormía en las sinapsis se despierta en la actividad de una asamblea neuronal. Si esta información se halla distribuida por la corteza, deben integrarse los diferentes *bits* que se encuentran en diferentes neuronas. Se trata, pues, del llamado *binding problem* (v. § 5.4.3). Desde un punto de vista lingüístico, podemos entender que consiste en la agrupación de los rasgos (semánticos, concebidos de forma bastante neutra) que constituyen las piezas léxicas.

⁵¹ Se ha defendido que la corteza prefrontal ventrolateral del hemisferio izquierdo se utiliza para la recuperación y que la dlPFC se ocupa concretamente de la selección. Estas regiones pueden asociarse al sistema de control ejecutivo (v. § 8.5), que a su vez se ha defendido que controla qué es lo que focaliza la atención (o incluso se ha considerado parte de la misma, v. § 8.3.1.3).

9.1.4 Mantenimiento y trabajo (mediante el control ejecutivo).

La información (pieza léxica) que recuperamos de la memoria a largo plazo debe *mantenerse* en la memoria a corto plazo. Esto es, la actividad de la asamblea debe durar lo suficiente, porque de nada sirve que la asamblea se desvanezca inmediatamente después de formarse. Para ello, la asamblea que codifica cada representación léxica deberá mantenerse activa durante el tiempo necesario para que se produzcan las operaciones (lingüísticas) posteriores que completarán el procesamiento. Conforme a Ranganath *et al.* (2014), no existe un sitio particular para el mantenimiento a corto plazo. Los conceptos, perceptos y acciones se mantienen a varios niveles de análisis en diferentes áreas corticales (interconectadas por el hipocampo y regiones adyacentes de la corteza límbica). De este modo, aunque el mantenimiento se asocie típicamente a la corteza prefrontal, especialmente a las regiones ventrales cuando se trata de información verbal (Miranda *et al.* 2013), las asambleas de las piezas léxicas se mantienen en el sustrato de origen (incluyendo regiones de menor nivel) aunque estén moduladas por regiones prefrontales. Luego, sobre esta representación se añade trabajo, es decir, se manipula según un objetivo (lo que queremos expresar) por parte de regiones anteriores, principalmente frontales (v. § 8.2.4.2), que se ocupan de las funciones ejecutivas (v. § 8.5). Pero esto ya forma parte de mecanismos que se aplican después.

9.1.5 Mecanismos oscilatorios y estructuras donde se generan.

A continuación planteamos cómo se pueden implementar la formación, recuperación y mantenimiento de las piezas léxicas sujetas a *selección*. Las operaciones contienen en sí la operación más elemental de formación de representaciones que aborda el *binding problem*. Como veremos, la oscilación fundamental es *gamma*, aunque *theta* también juega un cierto papel.

9.1.5.1 Formación de la pieza léxica mediante *gamma* (y *theta*).

Se ha defendido arriba que las piezas léxicas son asambleas neuronales distribuidas (Hebb 1949, Buzsáki 2010), mayormente en áreas de asociación. La formación de asambleas neuronales (v. § 5.4.3) emerge de la combinación de dos

mecanismos de circuito de bajo nivel: la detección de coincidencia y la modulación de ganancia, que a su vez originan el BBS (Gray y Singer 1989, Engel y Konig 1991). El principio es sencillo: para que la información se integre de forma coherente, las neuronas que la procesan deben tener una actividad coherente. En otras palabras, el cerebro integra lo que ocurre simultáneamente (en ventanas temporales, ciertas poblaciones interconectadas, etc.; v. §5.2). Las oscilaciones *gamma* favorecen la comunicación sincrónica entre neuronas (v. §§ 5.4.1 y 5.4.2), formando asambleas rápidas en que se integrarían en un todo coherente los diferentes rasgos que componen el objeto. O sea, el ritmo *gamma* forma una representación (v. § 7.1.1).

De hecho, en neurolingüística (v. § 8.1.3) *gamma* se ha defendido como un ritmo subyacente a las palabras (de contenido) (Lutzenberger *et al.* 1994), llegando a sincronizar los rasgos específicos de modalidad distribuidos (Pulvermüller *et al.* 1996). La función de *gamma* en la formación de las piezas léxicas es coherente con el estatus de estas oscilaciones en la teoría de la sintaxis neuronal de Buzsáki (2010), donde las asambleas a *gamma* equivalen a palabras neuronales. Paralelamente, si en la sintaxis neuronal de Buzsáki sus ciclos son letras, aquí los ritmos se concebirán como piezas léxicas y los ciclos que los constituyen como rasgos (v. § 5.4.7), en sintonía con Honkanen *et al.* (2014), que también atribuyen a *gamma* la función de enlazar rasgos en objetos coherentes, especialmente multimodales. Se podría pensar que los rasgos multimodales son la distinta información semántica, fonológica y sintáctica que en lingüística describimos mediante rasgos, pero esto contradiría modelos populares, como Lisman (2010), en que los ciclos *gamma* se identifican con objetos, no con sus rasgos⁵².

La implicación de *gamma* es también coherente con algunos de los principios de la sintaxis neuronal y de los ritmos discutidos en §§ 7.2 y 5.3, respectivamente. Siendo la *selección* una operación relativamente sencilla y frecuente, cabe esperar un ritmo rápido y local. En realidad, *gamma* se ha caracterizado como la firma del procesamiento activo distribuido a lo largo y ancho de la corteza, concretamente en las capas corticales superficiales L2 y L3 (v. §§ 6.1.1 y 6.1.4).

⁵² Una razón por la que no adopto esta idea es que sugiere que la combinación posterior de piezas léxicas podría realizarse mediante *gamma*, pero *gamma* es un ritmo rápido y local que podría no ser eficiente para acoplar regiones a larga distancia (ni siquiera bastante cercanas, v. Schomburg *et al.* 2014). Por consiguiente, prefiero atribuir a dicha combinación (v. § 9.2 sobre *ensamble*) un ritmo más lento, creando así un modelo con una mayor coherencia interna. Para un modelo paralelo en que se asocian oscilaciones *gamma* a rasgos individuales, véase Murphy (2016b).

Asimismo, es esperable que también *theta* esté implicado, dado el papel que puede jugar el hipocampo (v. § 6.4) en la recuperación de huellas de la memoria semántica. En esta línea, Bastiaansen *et al.* (2008) defienden que el ritmo *theta* sirve para acoplar regiones específicas. Asimismo, se trata de un ritmo implicado en las funciones ejecutivas, que podrían estar gobernando la selección atencional de las representaciones de la memoria.

9.1.5.2 Mantenimiento.

De acuerdo con lo discutido en § 8.2.6.2, el mantenimiento de las representaciones (en la memoria de trabajo) depende del mantenimiento en el tiempo de la actividad en la asamblea neuronal. De este modo, la representación léxica se mantendrá activa, para que puedan seguir aplicándosele otros mecanismos mientras la oscilación *gamma* que la ha formado permanezca. Cuando la oscilación desaparezca, lo hará con ella el mantenimiento de la representación. Esta hipótesis del mantenimiento de la representación mediante el sostenimiento de la oscilación *gamma* es coherente con la observación, en estudios de memoria de trabajo, de que se produce un incremento de *gamma* en regiones corticales cuando aumenta el número de objetos retenidos (Roux y Uhlhaas 2014), lo cual sugiere que el ritmo sirve para representar los contenidos de la memoria de trabajo. Así pues, *gamma* no sólo permite formar la asamblea, sino mantenerla activa. En este sentido, parece difícil deslindar cualitativamente la formación de una asamblea de su mantenimiento: una vez activada, se encuentra, por definición, activa y manteniéndose durante un mínimo de tiempo. El mantenimiento se acentúa en la *proyección*, cuando se implique *beta* (v. § 9.3).

9.1.5.3 La mediación de *theta* en la recuperación.

Las asambleas formadas y mantenidas por *gamma* deben ser recuperadas. La implicación de estructuras prefrontales, como la ventrolateral y la dorsolateral (Miranda *et al.* 2013), puede atribuirse al sistema de control ejecutivo (v. § 8.5), con la ventrolateral conectando con sistemas hipocampales de memoria y la dorsolateral con sistemas atencionales (v. § 8.2.5). La implicación del hipocampo hace que no resulte extraña la presencia de *theta*, cuya función, normalmente entremezclada con la de *gamma* en la memoria, no queda del todo clara (v. § 7.1.4). Es posible que *theta* organice las representaciones que se mantienen a corto plazo y comunique las regiones distantes cuya activación lleva a la recuperación de las diversas representaciones, modulando el

procesamiento más local y rápido que tiene lugar en ellas a banda *gamma* (así como su temporalidad) (v. § 8.2.6.3). De hecho, en trabajos como Bastiaansen y Hagoort (2006) o Bastiaansen *et al.* (2008), se atribuye básicamente la recuperación de material lingüístico a la sincronía establecida a banda *theta* en circuitos cortico-hipocámpicos.

9.1.6 Síntesis.

Se ha descompuesto la operación de *selección*, que a ojos del lingüista puede parecer específica, en más operaciones que se atribuyen a la memoria: la recuperación, la formación y el mantenimiento de representaciones. Para constituirse en huellas de memoria, deben haber sufrido un proceso de codificación general durante la adquisición. Concretamente, se han caracterizado como huellas de memoria de tipo semántico (v. Ullman 2016) que, siguiendo el principio básico de que el sustrato depende de las neuronas que originalmente procesaron la información (v. Pulvermüller y Fadiga 2016), descansarían en áreas de asociación corticales distribuidas. Aun así, la implicación del hipocampo sería notable dado el papel que juega en los estadios primeros de la codificación (así como en la recuperación). Para la recuperación, un ritmo *theta* (del hipocampo) podría poner en comunicación las diversas áreas corticales (de memoria, y quizás atencionales y ejecutivas) (Bastiaansen *et al.* 2008) y modularía el procesamiento más local de *gamma*, que activaría las representaciones (v. § 8.2.6). En realidad, para recuperarse, estas afrontarían el *binding problem*, de modo que *gamma*, en capas corticales superficiales, puede formar ensamblajes de carácter local. En este sentido, la información que se integra puede concebirse como rasgos (lingüísticos), a los que equivalen los ciclos *gamma*, de modo que la oscilación al completo se ocupa de toda la pieza léxica (v. Lutzenberger *et al.* 1994, Buzsáki 2010, § 11.2). Finalmente, la representación se mantiene activa en un espacio computacional al que pudieran acceder mecanismos posteriores, sencillamente mediante el sostenimiento de la actividad oscilatoria de la asamblea a *gamma* (quizás en un *buffer* más modular, perteneciente a la preconsciencia, como se discute en la sección siguiente).

9.2 *Ensamble*. Combinación en GW consciente o en un *buffer* general

La operación de *ensamble* (v. § 2.4.4.1) consiste en la combinación de los elementos resultantes de la operación de *selección* formando un constituyente, es decir, un conjunto que se comporta como una unidad y que domina la derivación sintáctica durante un periodo breve. Esta es básicamente la operación de la consciencia: integrar y globalizar representaciones varias que, transitoriamente, pasan a dominar como una unidad el estado mental del individuo. Por lo tanto, la implementación del *ensamble* se basará en la implementación del mecanismo de la globalización de la consciencia (v. § 8.4), lo cual justificará cuánto comparte el lenguaje con ella (v. § 8.4.8). En suma, la hipótesis, que desarrolla ideas de Boeckx (2013) y Boeckx y Burraco (2014), entre otros, es que las representaciones preconscientes (piezas léxicas producto de *selección*), oscilando a banda *gamma*, son movilizadas al GW y allí ensambladas mediante el acoplamiento inter-frecuencia con el *alpha* del tálamo, posiblemente gracias al pulvinar y bajo la regulación del TRN, reutilizando el mecanismo que emplea la consciencia.

9.2.1 Formación de conjuntos de piezas vs formación de piezas (a partir de rasgos).

Uno podría considerar que esta operación combinatoria es una versión más del *binding problem* visto en la formación de piezas léxicas (v. Friderici y Singer 2015, § 8.1.3), ya que la formación de ítems no deja de ser combinación de diversos rasgos para constituir un elemento coherente. Sin embargo, hay diferencias entre el proceso de formación de ítems y el de formación de conjuntos. La primera es una diferencia de escala: el *ensamble* trabaja con representaciones más distribuidas y de mayor sustrato en el cerebro que lo correspondiente a los rasgos que forman ítems en la *selección*; esto es, el número de neuronas que integren el conjunto será significativamente más amplio⁵³. En segundo lugar, los objetos que se integran mediante *ensamble* tienen una naturaleza distinta de los elementos (rasgos constituyentes que luego se aúnan) recuperados por

⁵³ Como se discute en § 9.2.2, esto puede relacionarse con la distinción entre preconsciencia y consciencia, y condiciona la propuesta de implementación, puesto que a mayor escala se necesitan ritmos más lentos para sincronizar las neuronas (v. § 5.3).

selección. A un nivel intuitivo, las representaciones léxicas ya formadas y combinadas por *ensamble* presentan información más diversa entre sí que la que distingue los rasgos de un objeto (usando un paralelismo, las representaciones multimodales son más complejas que las unimodales). Y tampoco puede ser lo mismo formar un objeto recuperando una asamblea de la memoria a largo plazo que hacerlo combinando transitoriamente asambleas recuperadas que ya se encuentran activas.

Aparte, el *ensamble* es mucho más libre que el *binding* de rasgos, lo cual entronca con dos propiedades claves advertidas desde la lingüística: el resultado de aplicar *selección*, formando o seleccionando representaciones léxicas, es finito (contamos con un lexicón de cierto número de piezas), mientras que los resultados de aplicar *ensamble* son potencialmente infinitos (recursividad y aspecto creativo del lenguaje). La propia naturaleza de las asambleas producto de *ensamble* impide, por tanto, que estén codificadas en la memoria como lo están las representaciones semánticas, ya que nuestra memoria no es infinita. Así pues, a pesar de las similitudes entre ambos, *selección* y *ensamble* no deben unificarse⁵⁴.

9.2.2 Relación con la consciencia (y la atención).

Entre los puntos en común entre lenguaje y consciencia esbozados en § 8.4.8⁵⁵ cabe destacar que, a un nivel de análisis profundo, la función de la consciencia y la de la operación combinatoria lingüística (*ensamble*) son esencialmente equivalentes: unificación y globalización de contenidos (cf. Dehaene y Naccache 2001 con Hauser *et al.* 2002 o Boeckx 2010). Tratándose de la misma operación (o de una de naturaleza muy similar), podemos proponer una implementación de mecanismos (oscilatorios) para el *ensamble* superior a las propuestas que vienen planteándose en neurolingüística, por estar enraizada más firmemente en un contexto cognitivo, cerebral y evolutivo coherente (cf. con Berwick y Chomsky 2016).

⁵⁴ Recuérdese que existe un límite explicativo en la reducción de mecanismos: por ejemplo, no se puede reducir la función de todas las oscilaciones a la formación de asambleas de menor o mayor tamaño, sin perder una parte esencial de relaciones temporales que pueden desempeñar funciones más ricas (v. § 5.5).

⁵⁵ Se defendió, por ejemplo, que la consciencia es un requisito para el lenguaje y para otros procesos cognitivos en los que, según el modelo de la presente tesis, se fundan las capacidades lingüísticas, o que la consciencia abre la puerta a recursos cognitivos requeridos por el lenguaje, como la memoria de trabajo, el control voluntario de las acciones, etc.

9.2.2.1 Integración.

En síntesis, el *ensamble* consiste en integrar información dispersa, piezas léxicas con propiedades diversas. Esta es básicamente la función de la consciencia: “integración” de información varia, como perceptos, emociones, recuerdos, etc. (v. § 8.4 y, sobre diferenciación, § 9.2.2.3). Además, el *ensamble* da como resultado un constituyente, a saber, una representación más compleja que se comporta como una unidad a efectos sintácticos (Chomsky 1995). Una vez combinados sus componentes, el constituyente ya no puede romperse (pero cabe analizar adecuadamente el *ensamble interno*, discutido en § 10). Igualmente, cuando una representación se adueña del GW⁵⁶ en la consciencia, se comporta como un todo integrado (v. § 8.4.2) o como un estado unificado que no puede descomponerse en otros y es tratada como una unidad también por otros sistemas (como el de control ejecutivo puesto en marcha a la hora de resolver problemas, v. § 8.5).

La integración de la información en la consciencia trae consigo límites: no podemos realizar múltiples tareas al mismo tiempo (sin que estén automatizadas) ni podemos ser conscientes de toda la información que alcanza los sentidos. Asimismo, *ensamble* está sujeto a límites, debiendo operar de forma binaria o sin abarcar demasiados elementos a la vez. De la misma manera que existen límites en las representaciones que pueden alcanzar la consciencia (v. § 8.4.1), también estamos limitados en lo que podemos expresar mediante el lenguaje. En ambos casos, hay todo un procesamiento que no puede expresarse o pasar de cierto nivel. A mi juicio, tiene sentido que los contenidos verbalizables sean un subconjunto de los contenidos que pueden alcanzar la consciencia.

En contrapartida, se considera que la consciencia es una capacidad que encuentra su máxima expresión en el hombre y habilita un potencial computacional que de otra forma nos estaría vedado (v. § 8.4.3) y, paralelamente, se defiende que *ensamble* dota a los humanos de unas capacidades combinatorias excepcionales que nos desmarcan del resto de especies (Hauser *et al.* 2002). De ser ciertas, ambas características podrían seguirse de la misma causa si el *ensamble* del lenguaje y la *integración* de la consciencia son las dos caras de una misma moneda (v. § 8.4.8). En este sentido, al igual que el procesamiento consciente se ha visto como el pináculo en una jerarquía de procesamiento,

⁵⁶ Este espacio global puede concebirse no sólo como propio de la consciencia, sino como perteneciente a un buffer general de la memoria de trabajo (v. Baddeley 2012), dados los solapamientos entre ambos dominios cognitivos (v. § 8.4.3).

los lingüistas tienden a ver en la operación de *ensamble* la pieza clave del origen de la complejidad de nuestro procesamiento lingüístico.

9.2.2.2 Diferenciación.

Una segunda propiedad fundamental de la consciencia es la diferenciación (Tononi y Edelman 1998). En este sentido, se dice que la consciencia lleva a experimentar uno de muchísimos estados posibles (por ejemplo, un subconjunto de toda la información sensoria que nos bombardea a través de los sentidos). Igualmente, *ensamble* integra un subconjunto de piezas que selecciona de un grupo mayor disponible, es decir, el vasto léxico con el que contamos (en sistemas de memoria semántica a largo plazo). Además, los estados diferenciados de la consciencia se encuentran en lo que se considera un flujo (Tononi y Edelman 1998): se pasa rápidamente de un estado consciente a otro. De igual forma, en el caso de *ensamble*, se hacen múltiples combinaciones en un lapso breve de tiempo, una detrás de otra, hasta completar la frase.

La capacidad de (de)seleccionar un subconjunto de información (ir)relevante es, en resumidas cuentas, en lo que consiste la atención (v. § 8.3). Tanto el *ensamble* como la consciencia parecen depender de este sistema atencional. Como se discutió pormenorizadamente en § 8.4.4, la atención reconduce ciertos contenidos a la consciencia y puede desempeñar una función similar en el *ensamble* (v. § 9.1.3 sobre la implicación de la atención en la operación de *selección*).

9.2.2.3 En una arquitectura modular-global.

La neurociencia ha enmarcado sus hipótesis sobre la consciencia en una arquitectura cognitiva donde se diferencian dos clases de espacios computacionales distintos: uno modular y otro global (v. § 8.4.2). La modularidad se caracteriza por un procesamiento más específico, encapsulado y automático, que tiende a localizarse en sistemas distribuidos y paralelos por la corteza, de escala y modalidad variable, y con conexiones locales y a media distancia. La globalidad, por el contrario, libera el acceso a la información, quedando así a disposición de otros sistemas (v. § 9.4 sobre la *transferencia*), y tiende a asociarse a un sustrato amplio de redes talamocorticales, con proyecciones a larga distancia. Este espacio global de la consciencia se define mejor como una gran asamblea de neuronas formada por actividad sincrónica que como regiones con conexiones anatómicas concretas. En este contexto, se ha defendido que las representaciones integradas por la consciencia proceden de sistemas más locales y

modulares y pasan a adueñarse de un espacio global (v. § 8.4.2.3). Como se discute en § 8.4.8, la misma idea se ha reproducido en algunos textos de (bio)lingüística (Hauser *et al.* 2002, Boeckx 2010) que afirman que la función básica de *ensamble* es desanclar las representaciones de su procesamiento modular para combinarlas después por encima de las capacidades de otras especies.

A la vista de las hipótesis de la neurociencia cognitiva, me parece lógico concebir las piezas léxicas de la *selección* como representaciones que se encuentran en un estado preconscious y en un espacio más local/modular. De la misma forma que la consciencia es capaz de seleccionar procesos preconscious, ampliarlos (mediante mecanismos típicamente atencionales) y ponerlos en común para otros sistemas en un espacio indefinido que habilita un procesamiento superior, creo que el *ensamble* consiste en mover esas representaciones más locales hacia un GW donde se integran (v. Tononi y Edelman 1998, § 8.4.2) y quedan a disposición de otros sistemas (como el del control ejecutivo) para futuras operaciones. Por último, en relación con la atención, la consciencia se ha asociado a una atención de naturaleza semántica y postperceptiva, en que atendemos a objetos (v. § 8.3.1.4). La atención a rasgos, sin embargo, ocurre antes de que la consciencia pueda tener lugar. Esto puede apoyar, pues, la división entre una *selección* preconscious (atención a locaciones o rasgos) y un *ensamble* consciente (atención a objetos o lo semántico).

9.2.2.4 Un sustrato compartido entre contenidos de la consciencia y contenidos léxicos.

Una convergencia más entre algunos trabajos sobre la consciencia y otros de neurolingüística es que el sustrato neuronal de las piezas léxicas parece solaparse parcialmente con el sustrato neuronal de los contenidos de la consciencia. Por ejemplo, Pulvermüller y Fadiga (2016), cuya visión del sustrato neuronal de (la semántica de) las piezas léxicas se comparte aquí, defienden que las piezas léxicas constan de múltiples poblaciones locales (unimodales) de neuronas que procesan propiedades específicas de las representaciones, interconectadas a mayor distancia (a través de áreas asociativas multimodales o de asociación). Un concepto relacionado a la acción se procesaría en la corteza premotora y motora, la información sobre rasgos visuales lo hará en regiones occipito-temporales, una palabra como “ruido” traerá consigo actividad en regiones temporales y procesar una palabra como “chupar” activará la región de la corteza motora

correspondiente a la boca o la cara. Así pues, las representaciones se construyen sobre el procesamiento de categoría específico en diversas áreas, que empiezan siendo sensoriales y se van interconectando de forma más compleja mediante áreas multimodales (especialmente frontales) a medida que los conceptos ganan en abstracción. Igualmente, al revisar el sustrato neuronal de los contenidos de la consciencia, se vio que el sistema de memoria declarativa y del hipocampo (que relacionamos con las piezas léxicas) constituyen un posible módulo cuyo contenido puede acabar globalizándose.

Asimismo, el sustrato de los perceptos o representaciones que alcanzan la consciencia es similar al que acabamos de discutir para el lenguaje y la memoria. Por ejemplo, para ser conscientes de un ruido, se activarán regiones temporales (como pasaba con la palabra “ruido”), que reverberarán y se acoplarán al GW; o, cuando se es consciente de la percepción de una cara, se activará la misma *fusiform face area* que se activará, seguramente, cuando se emplee el concepto “cara” en el lenguaje. Por lo tanto, los contenidos del lenguaje podrían ser un subconjunto de los contenidos de la consciencia. No obstante, uno podría contraargumentar con una distinción muy evidente: usar un concepto en el lenguaje no es lo mismo que revivir la experiencia que condujo a su formación en primera instancia. Por ejemplo, uno no siente lo mismo al emplear la palabra “chupar” en la oración “chupo un helado” que chupando realmente un helado, a pesar de que en ambos casos se registre actividad en regiones motoras. Un problema similar ocurre con la memoria: no es lo mismo recordar algo que volver a experimentarlo. De hecho, la memoria semántica, a la que atribuimos los contenidos del lenguaje, está mucho más descontextualizada que la episódica. Aun así, sigue habiendo cierta interrelación entre las representaciones abstractas y su base (sensorial), y sigue existiendo cierto solapamiento en el sustrato neuronal entre lo uno y lo otro. Una explicación sencilla a esta distancia entre usar, recuperar el concepto, o experimentar lo que conduce a su formación puede ser que, a pesar de que disparen las neuronas en regiones asociativas... no contamos con la actividad de menor nivel en los sistemas sensoriales ni en las regiones primarias (aunque algunas de sus neuronas puedan estar también activas). Así pues, oponerse a la hipótesis de que el contenido del lenguaje es un subconjunto de los contenidos de la consciencia, por razones como la anterior, obligaría a negar que la memoria conecta con la experiencia sensorial, cuando esta es su base. De hecho, cuando revisamos la consciencia sin apenas tener en consideración el lenguaje, los contenidos de la consciencia se asociaron con los de la memoria (de trabajo). Si esto es correcto y si

también lo es que las piezas léxicas son recuperadas desde la memoria a largo plazo a un espacio activo en el que manipularlas, resulta inevitable que las piezas léxicas sean un subconjunto de los contenidos de la consciencia.

9.2.2.5 Relación con la atención y el control ejecutivo.

Las representaciones que se mueven al GW de la consciencia deben ser seleccionadas y amplificadas, que es básicamente lo que hace la atención (v. § 8.3), tal vez dirigida por el sistema de control ejecutivo. Por tanto, la atención abriría la puerta a la consciencia (v. § 8.4.4) y se orientaría (desde el control ejecutivo) a aquellas piezas producto de la *selección* que se fueran a combinar en el GW. Así pues, el mecanismo atencional de selección se sitúa como un filtro entre el espacio preconscious y el espacio consciente. La implicación de la atención complica la implementación del *ensamble*. No sólo hay que justificar cómo se integran y globalizan las representaciones ensambladas, sino cómo son seleccionadas del espacio preconscious. Este añadido, además, requiere explicar la función del control ejecutivo en el proceso, cuya relación no está clara ni con la consciencia ni con la atención, ni con el resto de dominios cognitivos (v. § 8). Uno de los requisitos de las funciones ejecutivas es que necesitan integrar información diversa para trabajar con ella, posiblemente proporcionada por la consciencia (y el *ensamble*). Encarábamos un problema similar cuando se trataba de recuperar (atencionalmente) representaciones de la memoria semántica a largo plazo mediante *selección*. Si tuviéramos que reducir la operación a lo indispensable, parecía más importante recuperar y formar y mantener ensamblajes activos mediante los ritmos *theta* y *gamma*, que cómo seleccionar de entre todas las representaciones disponibles en el léxico. De forma similar, puede ser más explicativo dar prioridad aquí a cómo se integran y globalizan las representaciones (mediante una interacción de *alpha* y *gamma*), dejando al margen cómo se seleccionan. Un motivo para tal “simplificación” es que la implicación de la atención no está clara ni en la recuperación de memorias, ni en la movilización de contenidos de la consciencia, aunque haya argumentos persuasivos de una interconexión. Así las cosas, prefiero dar prioridad a la operación atencional de selección cuando esta parece más evidente (en la *proyección*, v. § 9.3), pudiendo bastar por ahora la misma oscilación *gamma* que favorecería un procesamiento más *bottom-up* y que daría preponderancia a las ensamblajes que sostienen el ritmo.

9.2.3 Sustrato.

Si las representaciones por combinar se encuentran, gracias a la *selección*, en un espacio de la preconsciencia modular desde donde son globalizadas e integradas, gracias a *ensamble*, mediante el mecanismo de la consciencia, habrá que tener en cuenta el sustrato neuronal de la misma y la arquitectura cerebral en que se enmarca. Poco se añadirá respecto al sustrato de los contenidos locales de la consciencia y del lenguaje (v. § 9.2.2.4). Recuérdese que el sustrato donde tiene lugar la globalización de la consciencia es dinámico, con diferentes regiones contribuyendo en momentos distintos, y se caracteriza más por su tipo de actividad (oscilatoria) que por una ubicación espacial concreta (v. § 8.4.6) (esto explicaría la falta de consenso en la literatura de neurolingüística a la hora de localizar en el cerebro la combinación sintáctica). Sin embargo, predominan las conexiones a larga distancia, especialmente entre regiones frontales, y la corteza temporal y parahipocampal (Dehaene *et al.* 1998), que pueden atribuirse a la implicación del sistema de control ejecutivo y a circuitos de memoria, respectivamente. Entre estas regiones, son importantes las conexiones de capas corticales superficiales (donde se ubicarían las piezas por ensamblar) y las conexiones de L5 hacia el tálamo (Dehaene *et al.* 1998), que conectan las regiones asociativas con los núcleos de mayor orden que parecen claves para la cognición de mayor nivel (y la consciencia) (v. § 4.2). De hecho, una zona de convergencia idónea es el tálamo, cuya actividad es fundamental para que pueda emerger la consciencia (v. § 8.4.7). Un núcleo candidato para conectar estas regiones de mayor orden, relacionado con la consciencia, es el pulvinar (v. § 4.2.1.1). Por consiguiente, cabe esperar que *ensamble* reclute circuitos talamocorticales, con una participación significativa de cortezas de asociación (v. Boeckx 2014 sobre la implicación del tálamo en el lenguaje).

9.2.4 Mecanismos oscilatorios.

Si la combinación de representaciones con *ensamble* depende del mecanismo de integración y globalización de la consciencia, la implementación del mecanismo en términos de oscilaciones debe ser consecuente (v. § 8.4.7). Si las ensamblajes neuronales oscilan a *gamma* en capas corticales superficiales de áreas de asociación, *ensamble* consistirá en establecer una sincronía entre estos grupos de neuronas mediante una oscilación con capacidad de ser global que puede ser *alpha* (v. § 8.4.7.1). La fase receptiva del ritmo *alpha* abriría el acceso al espacio global donde se combinarían las

representaciones a banda *gamma* (v. VanRullen 2016 y Samaha y Postle 2015). Así, *gamma* está detrás de los contenidos de la consciencia y se asocia a lo modular y *alpha* está detrás del mecanismo de acceso a la misma y se asocia a lo global. Aunque no sea lo típico, atribuir esta función de procesamiento activo a *alpha* es coherente con su papel en la comunicación de regiones distantes (v. Palva y Palva 2007, 2011) y, de hecho, se le ha atribuido la unión, en la memoria de trabajo, de diferentes elementos visuoespaciales (Roux y Uhlhaas 2013). Asimismo, hay estudios de memoria de trabajo que muestran que el ritmo está menos suprimido en regiones relevantes que irrelevantes (Honkanen *et al.* 2014) o que notan una correlación positiva con cierto tipo de procesamiento (Nan *et al.* 2014). Fink y Benedek (2014) asocian *alpha* a la creatividad del pensamiento, que también caracteriza al *ensamble*, y a la recombinación de memorias semánticas, que se relacionaron con las piezas léxicas.

El tipo de acoplamiento entre *alpha* y *gamma* que se defiende aquí se encuentra en la bibliografía (Roux *et al.* 2013), con el ritmo lento modulando la amplitud del rápido (Saalman *et al.* 2012), cuadra con la idea de que el mayor poder computacional surge de la combinación de ritmos (v. § 3.4) y, es apoyada por las conexiones y dinámicas revisadas en §§ 4 y 6. En lo que respecta a conexiones, recuérdese que el tálamo conecta con diversas capas corticales: L4 recibe información talámica, L6 envía *feedback* al tálamo, y L5 envía información a regiones superiores a través del tálamo (lo cual caracteriza los núcleos de mayor orden). Asimismo, es posible que células talámicas matrices, que conectan con L1 y están especialmente presentes en núcleos como el pulvinar, conecten regiones dispersas (cuya sincronía favorecían). Siendo más concretos, contamos con el núcleo pulvinar, que conecta con las regiones frontales y parietales implicadas en la consciencia (y la atención, íntimamente relacionada) y que, según los trabajos de Saalman, regula oscilaciones talamocorticales. Este diálogo talamo-cortical sobre el que se teoriza aquí es, por tanto, viable anatómicamente.

Además, en lo referente a oscilaciones, *alpha* caracteriza núcleos de mayor orden del tálamo y también al TRN, dos estructuras cuyas oscilaciones (aunque rápidas) se han considerado imprescindibles para la consciencia (Min 2010). Estudios como Bollimunta *et al.* (2011) muestran que las oscilaciones (*alpha*) del tálamo pueden ser heredadas por capas corticales profundas. Además, se han encontrado generadores de corriente a banda *alpha* en capas superficiales, por lo que estas no son inmunes a las dinámicas de las profundas (v. Roopun *et al.* 2006). Por consiguiente, si la CTC es correcta, la actividad

de las asambleas neuronales en las capas corticales se puede integrar y comunicar perfectamente gracias a ritmos que se establecen con el tálamo.

9.2.5 Síntesis.

En síntesis, los elementos ensamblados pasan a formar una unidad (a efectos sintácticos igual que en lo referente a la experiencia subjetiva) y a dominar la derivación de la misma forma que dominan la consciencia los distintos perceptos que se integran. Pese a las similitudes con la formación de conceptos mediante el BBS, existen diferencias irresolubles, como el hecho de que los conjuntos formados por el ensamble son potencialmente infinitos y no pueden, por lo tanto, codificarse en la memoria semántica finita, como sí lo están las representaciones léxicas. Así pues, las representaciones lingüísticas son un subconjunto de los contenidos de la consciencia, que en una arquitectura local-global del cerebro, pasarían de un espacio preconsciente más modular a un espacio consciente más global, quedando así a disposición de otros sistemas. Aparte de esa integración de información, en lo que respecta a la diferenciación podemos combinar una selección de muchísimas piezas léxicas, de la misma forma que podemos experimentar uno de los muchísimos estados conscientes. Estos diferentes estados o conjuntos se enlazan, fluyéndose de unos a otros.

En consecuencia, el sustrato neuronal de las piezas léxicas está compartido con el de los contenidos de la consciencia, y son las mismas regiones responsables de la movilización de contenidos al GW las que se implican en el *ensamble*. A este respecto, es difícil localizar un sustrato concreto, pero cabe destacar la importancia del tálamo y de regiones anteriores, especialmente prefrontales, donde se procesa información más abstracta y en las que se asientan funciones ejecutivas y atencionales. De hecho, la atención podría actuar como filtro para el *ensamble*.

Igualmente, los mecanismos para integrar y globalizar representaciones (que en el GW son capaces de recombinarse y procesarse de nuevas formas) en el lenguaje o en la consciencia, son fundamentalmente los mismos. Para ello, se ha postulado que un ritmo lento, *alpha*, típico de los núcleos talámicos como el pulvinar, abriría las ventanas para que los contenidos de la consciencia y el lenguaje accedieran al GW, en el que se globalizarían, integrarían, y se adueñarían transitoriamente del procesamiento. Este ritmo lento se acoplaría a su vez con el ritmo *gamma*, responsable de la formación y mantenimiento de las representaciones en el espacio preconsciente. Núcleos de mayor

orden como el pulvinar, así como el TRN, juegan un papel destacado en la interconexión de las regiones de interés y en el establecimiento de la sincronía al GW.

A pesar de que esta hipótesis contrasta con el misterio o incluso la vacuidad funcional de *alpha* en modelos neurolingüísticos (v. § 8.1.3.4.5), el sustrato y las dinámicas de las conexiones talamo-corticales a larga distancia son coherentes con lo esbozado en capítulos previos, como la función no-inhibitoria de *alpha*, discutida desde un punto de vista neutral en § 7.1.3, y con la implicación del tálamo en la consciencia (v. § 8.4.7), caracterizado por el mismo ritmo (v. § 6.3), desarrollándose, por ende, una hipótesis más elegante. Además, la misma también contrasta con la implementación de la unificación de elementos sintácticos mediante *beta* propuesta por modelos como Bastiaansen y Hagoort (2006), considerándose este ritmo más apto para la implementación de la proyección.

9.3 *Proyección.* Selección atencional y mantenimiento de memoria de trabajo

La operación de *proyección* consiste en que uno de los elementos combinados por *ensamble* categoriza el constituyente resultante y se erige en núcleo de la estructura (de sintagma y/o fase, v. § 10), de modo que actúa de enlace entre los otros elementos. Que el núcleo sea seleccionado para proyectar puede significar, al mismo tiempo, que el resto de representaciones, entre las que están los especificadores/bordes y los complementos (de fase) (v. § 10), es deseleccionado (no proyectando). De acuerdo con Chomsky (1995:243) esta categoría está “determined derivationally” (v. Boeckx 2015 para una reformulación en términos de fases), lo cual entronca con la interacción entre la *proyección* y la *transferencia* (v. § 10.4.2). El reflejo en lingüística de la oposición entre núcleos y no-núcleos puede observarse en relación con la operación de transferencia: los núcleos (de fase) se mantienen disponibles (junto con otros elementos en el borde similares, v. § 10.4), mientras que los complementos son transferidos a otros sistemas, abandonando el dominio donde podían ser objeto de ciertas operaciones o establecer ciertas relaciones sintácticas.

La disponibilidad más duradera de los núcleos, que les permite someterse a más operaciones, los convierte en elementos más complejos y con mayor capacidad de interconectar representaciones (v. § 11.2.3) frente a los no-núcleos, que pueden

considerarse, desde un punto de vista derivacional, más simples. Esta dicotomía puede relacionarse con la dualidad de ritmos rápidos implicados en la memoria de trabajo. En este sentido, Honkanen *et al.* (2014) defienden que los objetos sensorios más simples se pueden procesar mediante *gamma* (o atributos más simples como el color), mientras que los objetos más abstractos o complejos se procesarían mediante *beta* (como podrían ser conjunciones de varios atributos). A continuación se propondrá que los núcleos son ensamblajes que oscilan a *beta*, en oposición a los no-núcleos que oscilarían a *gamma* (v. Ramírez 2014). Las diversas funciones que se han atribuido a *beta* son compatibles con las suboperaciones en que se descompondrá la *proyección*: selección, categorización y trabajo(+mantenimiento), que pueden relacionarse con las vagas funciones sintácticas que se atribuyen al ritmo en Weiss y Mueller (2012).

9.3.1 Descomposición en tres suboperaciones: selección, categorización y trabajo(+mantenimiento).

En mi opinión, la *proyección* puede descomponerse en otras tres suboperaciones de menor nivel, fuertemente asociadas a la atención, el control ejecutivo y la memoria de trabajo: selección, “categorización” y trabajo(+mantenimiento). Las tres son compatibles con la función que se atribuye al ritmo *beta*. Primero, que uno de los elementos integrados por *ensamble* pase a otorgar la identidad al constituyente implica que dicho elemento ha sido seleccionado a expensas de otro(s). La operación de selección tiene dos caras: la selección de información relevante (el núcleo), y al mismo tiempo la desección de información irrelevante (no-núcleo) (v. § 8.3). De acuerdo con la teoría de fases (v. Chomsky 2000 *et seq.*, Boeckx 2015, § 10.4), el elemento seleccionado se mantendrá durante más tiempo en el GW, mientras que el deseccionado será el que se someta antes a la *transferencia*, desincronizándose del GW y pasando a acoplarse a otros sistemas (v. § 9.4). Segundo, la categorización del núcleo implica que se le ha añadido más información de la que contenía la representación inicialmente. Usando un paralelismo simple, “ver” es un verbo, pero cuando se combina con un objeto (“ver cosas”), “ver” adquiere la información adicional de ser el núcleo de un sintagma verbal. Esto entronca con la capacidad de sistemas prefrontales (ejecutivos) de almacenar categorías y reglas (v. § 8.5), que ampliarían el contenido de la representación seleccionada como núcleo. Tercero, las piezas que se constituyen en núcleo sufren más operaciones, lo cual puede concebirse como *trabajo*, de modo que deben estar disponibles durante más tiempo que

los no-núcleos para que esas operaciones puedan aplicarse sobre ellos, lo cual puede entenderse como un *mantenimiento* mayor. Por consiguiente, las piezas que se seleccionan y pasan a categorizarse como núcleo deben mantenerse durante más tiempo en la memoria a corto plazo o en el GW para que se trabaje con ellas.

Como se discutirá abajo, las tres operaciones: selección (usando un mecanismo atencional con modulación *top-down*), adición de información (asociada a las reglas y categorías abstractas del control ejecutivo, y que ocurriría mediante una ampliación de la asamblea con neuronas que ralentiza el ritmo, v. Weiss y Mueller 2003, 2012) y trabajo/mantenimiento (asociada a la memoria de trabajo) guardan relación con *loops* fronto-estriatales del sistema ejecutivo y con oscilaciones *beta*. La oscilación *beta* tendrá, pues, una función triple (igual que *gamma* en la implementación de *selección* tenía una función doble: formar la asamblea y mantenerla activa).

9.3.2 Relación con el control ejecutivo, la atención y la memoria de trabajo.

La implicación del sistema ejecutivo en la *proyección* cuadra con algunos de sus mecanismos (v. § 8.5.7, y Hagoort 2005 *et seq.* para una función general de este sistema en su modelo). Una función esencial de este sistema es guiar otros procesos con la mira puesta en la consecución de un objetivo. En el caso de una derivación lingüística, sería formar la frase para expresar cierta idea, de modo que el control ejecutivo organizaría qué elementos sufren qué operaciones para que el resultado final sea gramatical y coherente con nuestro objetivo expresivo. Para ello, ejerce una modulación *top-down* del procesamiento en el GW, donde se ensamblaron las piezas y del que debe seleccionarse (tal vez mediante el mecanismo atencional de orientación) una para proyectarse y mantenerse activa en él (mientras que otras se deseleccionarían o inhibirían, v. §§ 5.4.4 y 5.4.5). Además, el control ejecutivo se ocupa de gobernar el flujo de información. Si la operación de proyección está tan relacionada con la transferencia (v. § 10.4.2), tiene sentido que el control ejecutivo controle qué información permanece en el GW (el núcleo) y cuál se transfiere o fluye hacia otros sistemas (no-núcleos). Esto puede asociarse al mecanismo de *shifting* atencional o actualización del GW (de la consciencia y la memoria de trabajo, v. §§ 8.2 y 8.3), conforme a lo cual se van actualizando y decidiendo las representaciones que imperan en él, que en este caso son los núcleos. Finalmente, el sistema de control ejecutivo tiene la capacidad de formar categorías y reglas abstractas en

las que basarse para guiar el comportamiento. En este sentido, la proyección consiste en la asociación de una representación a una de estas categorías más abstractas o la aplicación de una de estas reglas, cualquiera que sea su naturaleza.

Respecto a la atención, la selección de un subconjunto de la información relevante entre toda la disponible (en este caso, el núcleo) es producto de la orientación (v. § 8.3.1.2). Concretamente, se trata de un mecanismo de atención endógena. El reverso de esta operación, la desección (del no-núcleo) resuelve la competición entre las representaciones creadas por *ensamble* para que sólo una proyecte. En relación al locus de la atención, se operaría aquí en una fase tardía, con objetos que pueden encontrarse en la memoria de trabajo y que se procesan hasta niveles semánticos o de la consciencia (v. § 8.3.1.4) (en el GW del *ensamble*). Por último, en referencia a la memoria de trabajo, los núcleos se mantendrán durante más tiempo disponibles en el GW, es decir, imponiendo una demanda mayor sobre la memoria. Se facilita así que siga accesible a más operaciones y pueda establecer relaciones sintácticas más ricas. Esta parte de manipulación de la información mantenida a corto plazo es la que se corresponde con el “trabajo” de la memoria de trabajo (v. Miller 2013).

9.3.3 Sustrato e implicación de los ganglios basales y el tálamo.

Si la atención, endógena en este caso, se ocupa de seleccionar la representación que proyecta, es lógico que se reclute la red frontoparietal dorsal de la atención (v. Chica y Checa 2013, y § 8.3.1.2). Por lo que hace a las regiones ejecutivas, entre las divisiones que suelen establecerse en la corteza prefrontal, la más relacionada a las operaciones aquí apuntadas es la dorsolateral (BA 9 y 46), a la cual se atribuye la organización, planificación y revisión del comportamiento (v. § 8.5.6). De hecho, el BA 46 recibe información de la corteza temporal inferior asociada al procesamiento de objetos, lo cual podría relacionarse con el mantenimiento de representaciones (sin embargo, es en la corteza ventrolateral donde se ubican típicamente las regiones lingüísticas, BA 47, 45 y 44, pudiendo reinterpretarse como áreas de manipulación del control ejecutivo). En lo que respecta al sustrato para el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo, se cree, a grandes rasgos, que las regiones posteriores están más implicadas en el mantenimiento, y las anteriores, en el trabajo o el control. Por lo tanto, es lógico que no varíe el sustrato de la representación que se mantiene (en regiones de asociación

interconectadas por el tálamo), pero que se activen más las regiones frontales, pertenecientes al control ejecutivo y responsables de la manipulación de información.

Aunque la implicación de la corteza parezca mayor, los ganglios basales (y el MDN) son una estructura que conecta con las regiones corticales relevantes y que parece diseñada para la operación de selección en que consiste, parcialmente, la *proyección* (v. Balari y Lorenzo 2013). En este sentido, Koziol y Budding (2009) sintetizan la función de los ganglios basales en el *gating* de información en circuitos cortico-estriatales (v. § 4.4), hecho que puede suponer que participan en filtrar qué asamblea proyecta y cuál no⁵⁷. En efecto, teniendo en cuenta su anatomía, los ganglios basales reciben *input* de muchas regiones corticales y envían su *output* a la corteza frontal, donde se localiza el sistema de control ejecutivo. Concretamente, es esperable una participación del *loop* que conecta con la corteza prefrontal que se ocupa del procesamiento más “cognitivo” (v. § 4.4.4), formando un circuito con la dIPFC y el MDN del tálamo, entre otros (v. Kandel *et al.* 2013). Tal inclusión de estructuras subcorticales cobra aun más fuerza cuando se tienen en cuenta las dinámicas que caracterizan estas estructuras (v. §§ 6.3.3.2 y 6.5.1): tanto en el MDN como en los ganglios basales se han identificado oscilaciones *beta* que pueden sincronizarse con la corteza,.

9.3.4 Mecanismos oscilatorios y estructuras que los generan.

Aunque, en última instancia, se proponga que *la proyección* depende de una oscilación *beta* sostenida en la asamblea (que codifica el núcleo), que implica las capas corticales profundas, estructuras frontales (y parietales), el MDN y cierto *loop* de los ganglios basales, este es un ritmo que puede proporcionar diversas funciones o cuya participación, como mínimo, puede abordarse desde diversos frentes. Con ellos se hace referencia a las suboperaciones de selección, categorización y trabajo(+mantenimiento), todas compatibles con *beta*.

⁵⁷ Además, cuando se revisaron los ganglios basales, se distinguieron dos vías: la indirecta y la directa. Cada una de ellas podría corresponderse con una de las caras de la selección (atencional del núcleo): la vía directa seleccionaría el núcleo y la vía indirecta deseleccionaría o inhibiría lo no-núcleo.

9.3.4.1 (De)selección (atencional).

La atención se vale de establecer una sincronía desde regiones de control a regiones en las que se procesa la información seleccionada, para ampliar con ello la señal de las neuronas relevantes (v. CTC en § 5.4.3.2). Las neuronas que se acoplan al ritmo son seleccionadas (el núcleo), mientras las que quedan fuera de fase son deseleccionadas (lo no-núcleo). Esta modulación *top-down* de la información en regiones corticales se ha asociado a *beta* (en oposición a *gamma* para lo *bottom-up*, v. § 7.1.2). Diversos estudios apuntan a la implicación de *beta* en la orientación endógena de la atención (Cannon *et al.* 2014, Wang 2010), comunicándose a capas corticales profundas y aumentando *gamma* en las capas superficiales (v. Fontolan *et al.* 2014, Chan *et al.* 2014, Womelsdorf *et al.* 2014a, Bastos *et al.* 2015a). Esto es coherente con la presencia de *beta* en las capas infragranulares (v. § 6.1.2), los ganglios basales (v. § 6.5.1), el MDN (v. § 6.3.3.2) y estructuras frontales (v. § 6.2).

9.3.4.2 Categorización.

En lo que respecta a la adición de información categorial al elemento que proyecta, se han identificado ensamblajes de carácter regular en regiones prefrontales oscilando a *beta* (Buschman *et al.* 2012) (v. § 8.5.5). Asimismo, se ha asociado el aprendizaje de categorías a la colaboración de los ganglios basales y la corteza, mediada por un ritmo *beta* (Antzoulatos y Miller 2014). De hecho, en Buschman *et al.* (2012) se defiende que la oscilación *beta* puede reclutar de forma bastante flexible diferentes ensamblajes que se corresponden con diversas reglas, lo cual recuerda al dinamismo con que a lo largo de una derivación se va pasando de un núcleo dominante a otro. Por lo tanto, la hipótesis es que la ensamblaje neuronal que oscilaba originalmente a *gamma* (antes de la *proyección*) amplía su población, reclutando información de estructuras frontales. Al ampliar el sustrato neuronal de la representación, abarcando una región amplia, puede que el ritmo *gamma* sea insuficiente para mantener la sincronía y, por lo tanto, deba ser ralentizado (v. Ramírez 2014). En esta línea, Weiss y Mueller (2012:2) señalan que el acoplamiento a larga distancia “lowers the frequency of the coupled rhythm”. En consecuencia, los núcleos son más complejos, no sólo desde un punto de vista cognitivo, sino también implementacional o neuronal. De nuevo, la ampliación de información, o la combinación de información diversa, se ha asociado a *beta* (Cannon *et al.* 2014). Estamos, pues, frente a un fenómeno de multiplexación por división de frecuencia (v. §§ 5.4.6 y

8.1.3.3, Weiss y Mueller 2003): los núcleos oscilan a *beta*, mientras que los no-núcleos oscilan *gamma* (v. § 11.1).

9.3.4.3 Trabajo(+mantenimiento).

La relación entre oscilaciones y mecanismos del control ejecutivo está menos comprendida que en otros dominios cognitivos, por lo que es casi inevitable usar un término tan vago como “trabajo” para referirse a funciones de manipulación de la información o una influencia *top-down* que en § 8.5.8 se asoció a *beta*. No obstante, la oscilación *beta* sí se ha relacionado con el mantenimiento de información en memoria de trabajo, que es un requisito para los núcleos. A pesar de que hay estudios que asocian *beta* al mantenimiento de la información, existe una ambigüedad notable entre la función de *gamma* y *beta*, que podría ser necesario para un sostenimiento más prolongado o el mantenimiento de información que sufre más manipulación. La función general que se ha atribuido a *beta* es el mantenimiento de representaciones (v. § 7.1.2, Engel y Fries 2010) y, consecuentes con esta hipótesis, Weiss y Mueller (2012) defienden que este ritmo tiene la capacidad de enlazar estadios pasados y presentes en el procesamiento lingüístico, como harían los núcleos (y lo que llamaremos bordes) a lo largo de la espina oracional según se conciben aquí (v. § 11.2.3).

9.3.5 Síntesis.

En resumen, para que un elemento proyecte y se convierta en el núcleo de un sintagma(/fase) endocéntrico, deberá ser seleccionado frente al resto de representaciones que se encuentran en el GW. Al seleccionarse, se mantiene durante más tiempo en el mismo, siendo susceptible de más operaciones (o trabajo). Aparte, se puede aumentar la información que codifica, ganando en complejidad (también a nivel implementacional por la ralentización del ritmo), la cual puede proceder de sistemas ejecutivos frontales. Más concretamente, la selección del núcleo podría consistir en un mecanismo de selección endógena, en el que participaran los ganglios basales y el MDN, especialmente el *loop* cognitivo en que se conecta con regiones frontales de control. Por lo tanto, cabe esperar que estén también implicadas las regiones frontoparietales del circuito dorsal de la atención endógena, las regiones frontales de las funciones ejecutivas como el dlPFC (BA 9 y 46 quizás), y las capas corticales profundas que utilizan esas regiones para la modulación *top-down* de las regiones que controlan (para el mantenimiento propiamente

dicho del núcleo, la actividad reverberante tendrá lugar en el mismo sustrato apuntado en las secciones previas, más el añadido que ralentiza el ritmo). Todas estas regiones se caracterizan por las oscilaciones *beta*, que permiten sincronizar las capas profundas, los ganglios basales, el MDN del tálamo, y las regiones fronto-parietales. La implicación de *beta* es coherente con su función de selección *top-down* (desde el control ejecutivo) en la atención, con la formación de asambleas que representan reglas en estructuras frontales (ejecutivas) y que pueden asociarse a la categorización, y con lo idóneo del ritmo para el mantenimiento de información en la memoria de trabajo. Estas tres funciones de *beta* pueden asociarse, por lo tanto, con los subprocesos de la proyección: selección, categorización, y trabajo(+mantenimiento).

En síntesis, cuando un elemento proyecta, la asamblea a *gamma* se ralentizaría a *beta* (v. Weiss y Mueller 2012, Ramírez 2014), permaneciendo anclada al GW. La implementación desarrollada aquí de la proyección y *beta* explica, más claramente, las asociaciones del ritmo con la sintaxis en algunos modelos neurolingüísticos, aunque se hayan referido al proceso de unificación sintáctica más cercano al *ensamble* (Bastiaansen y Hagoort 2006), vagamente a la comprensión del lenguaje (Wang *et al.* 2012), y a predicciones *top-down*. No obstante, Weiss y Mueller (2012) realizan una asociación de *beta* con funciones lingüísticas bastante coherente a lo aquí desarrollado: que el ritmo *beta* se asocia al procesamiento de información más compleja, como podría ser el caso del elemento tras haber categorizado, y con la capacidad de mantener estímulos en el tiempo, que hemos considerado una propiedad clave de los núcleos. De esta forma, pasamos de tener una asociación difusa entre *beta* y la sintaxis, a una más directa con mecanismos y propiedades de las estructuras que son relevantes para la lingüística teórica.

9.4 *Transferencia*. Intercomunicación de sistemas bajo el control ejecutivo

La operación de *transferencia* consiste en que (parte de) los elementos sujetos a operaciones anteriores (o la estructura resultante de ello) pasan a otros sistemas. Como ocurriera con la *proyección*, la *transferencia* trae consigo una asimetría entre lo que se transfiere y lo que no (v. Boeckx 2015), de modo que un conjunto de información se escinde, con parte de él permaneciendo en el sistema original y la otra parte

abandonándolo (v. § 10.3). Simplificando, los elementos transferidos son los no-núcleos, mientras que los que no se transfieren son los núcleos⁵⁸.

Cuando la información se transfiere, deja de estar sujeta al procesamiento del primer sistema (lo cual es una concepción bastante *feed-forward*) y pasa a computarse en un segundo sistema. Hay unas operaciones que preceden la transferencia (más sintácticas, si se quiere) y otras operaciones distintas que siguen a la transferencia (más morfológicas, por así decirlo), en función del sistema en que se encuentre la información. En este punto, cabe especificar el origen y el destino de la información transferida o, en otras palabras, cuál es el sistema inicial y a cuál se realiza transferencia. Respecto del punto de origen, y de acuerdo con las hipótesis desarrolladas en secciones precedentes, las piezas que van a transferirse se encontrarían en el espacio computacional global (de la consciencia) en el que han sido combinadas y que conecta con el sistema de funciones ejecutivas ocupado de seleccionar, amplificar y categorizar uno de los elementos como núcleo. El elemento de ese GW que no es categorizado como núcleo es lo que va a transferirse (bajo el control del mismo sistema ejecutivo). Respecto al destino, mi hipótesis es que a partir de este punto las piezas están más conectadas a sistemas específicos o más modulares, como ocurre cuando las representaciones habilitadas por la consciencia son procesadas por otros sistemas. Habiendo tenido ya lugar las principales operaciones (sintácticas) con el material (lingüístico) (y habiéndose generado la estructura en lo fundamental), entiendo que el *output* elaborado hasta ahora está más cerca de ser apto para comunicarse. Un sistema que aproxime las representaciones a sistemas de *output* es uno relacionado con la articulación, y por lo tanto identifico el mismo con el área de Broca (Ramírez 2014). De hecho, esta región es la que, prototípicamente, se asocia a la producción (v. § 8.1) y queda a medio camino entre sistemas de generación de estructura y sistemas motores.

Así pues, la *transferencia* puede sintetizarse en que la información deja de estar acoplada a un sistema y pasa a acoplarse otro. Igual que en operaciones anteriores, la *transferencia* puede descomponerse en dos: un desacoplamiento y un acoplamiento. Aunque la transferencia de información entre sistemas sea una constante en la neurociencia cognitiva, no tiende a hacerse explícita en los modelos de ningún dominio cognitivo. En § 8.5 discutimos que un sistema clave para controlarlo es el de control

⁵⁸ No obstante, los núcleos no son eternos, sino que van convirtiéndose en los complementos de núcleos introducidos posteriormente (que dominarían en una jerarquía). Entonces, están sometidos también a la transferencia.

ejecutivo y se vale, de ser correcta la hipótesis de la CTC, de una oscilación lenta para acoplar los sistemas como *theta*. Para el desacoplamiento de sistema de origen (que precede al acoplamiento con el destino), hay dos posibilidades: o bien se pierde o suprime la sincronía el primero, o bien se inhibe la representación (v. § 9.4.3). Una última característica de la *transferencia* (y tal vez de todas las operaciones) es que se aplica cíclicamente, quizás, en cierto sentido, incluso gobernando esa ciclicidad, que, como se discutirá en § 9.4.4, podría estar dictada por los propios ritmos (v. § 5.4.8). Para todo ello, recurriremos a una oscilación asociada al sistema de control ejecutivo (encargado de resolver este tipo de competiciones entre representaciones) y que controla la temporalidad de otros procesos de menor nivel: *theta*.

9.4.1 Más cerca de mecanismos que de dominios cognitivos específicos.

La *transferencia* es una operación más difícil de relacionar con cierto dominio cognitivo y más fácil de relacionar con mecanismos que subyazan a varios de ellos. De hecho, la transmisión y el intercambio de información entre regiones y subsistemas cerebrales es un rasgo definitorio de cómo funciona el cerebro, por lo que adscribir específicamente el mecanismo de la *transferencia* a uno con el que se caracterice cierto dominio cognitivo sería un error. Puede ser más útil ver de qué manera intercambian la información las estructuras cerebrales. Al nivel de análisis que fijamos en § 3, la sincronía mediante ritmos lentos, como *theta*, puede servir para intercomunicar regiones distantes (v. § 7.1.4). Aun así, la implicación de este ritmo trae consigo asociaciones con estructuras del complejo hipocámpico y ciertas funciones ejecutivas y de memoria de trabajo. Un ejemplo de transmisión de información a otros subsistemas lo encontramos en la visión, con la división entre las vías *what* y *where* (v. § 8.1.2.1.3). La información visual, que se procesaba como un conjunto hasta determinado punto o encrucijada, pasa a transferirse a dos regiones distintas donde se realizan computaciones diferentes. En lo fundamental, esta idea es igual a la de la *transferencia* (v. Boeckx 2015 sobre la relación entre núcleos y no-núcleos de fase y las vías *where* y *what*). En ambos casos, parece que la información se transmite en un sentido *feed-forward* y que asciende en la jerarquía de procesamiento para alcanzar un nuevo subsistema que procesa cierto tipo de información (v. § 8.1.2.1.4). Si, simplificando mucho, el procesamiento cerebral arranca como sensorial y culmina en actos motores, es razonable considerar que las representaciones transferidas (a sistemas

próximos a la articulación) suponen un ascenso en la jerarquía de procesamiento. A pesar de que aquí no se establezca una dicotomía en los sistemas externos, sería fácil fundar un paralelismo con la división que se hace en lingüística entre la salida, desde la sintaxis, a un sistema fonológico y a otro semántico⁵⁹.

Además, es posible que no baste con que la asamblea entable comunicación con el sistema de destino y que también fuese necesario que la representación perdiera la comunicación con el sistema de origen (cuyo reflejo lingüístico pueden ser fenómenos isla, esto es, fragmentos estructurales que quedan inmunes a operaciones sintácticas). Por consiguiente, se defenderá que la transferencia tiene dos caras: el desacoplamiento del GW (mediado por el TRN y la pérdida de sincronía con *alpha*) y el acoplamiento a áreas más específicas (como la de Broca).

9.4.1.1 Memoria de trabajo, hipocampo, y control ejecutivo.

Con la *transferencia*, se transformará la información que se procesa. En lingüística se defiende que, al externalizarse, pasamos de una estructura sintáctica a una secuencia lineal. Esta (de naturaleza más fonológica) podría retenerse en el área de Broca, que, conforme al modelo de Baddeley (2012), constituye un *buffer* verbal, pasando así de un espacio computacional más global a uno más local o específico. Alternativamente, siguiendo el modelo de Baddeley (2012), podríamos pensar en la transición de un sistema fluido a uno cristalizado. Los *buffers* de la memoria de trabajo guardan relación con el ritmo que, según defendemos, se usa para intercomunicar regiones distantes: *theta*. Este ritmo se genera prototípicamente en estructuras del complejo hipocámpico (v. § 8.2.4) y puede organizar las representaciones que se mantienen a corto plazo en una secuencia mediante la codificación por fase (v. § 5.4.7). Además, *theta* podría imponerse o ser regulado desde el sistema de control ejecutivo (a veces considerado parte de la memoria de trabajo) con la función de controlar la temporalidad de procesos de menor nivel (v. § 8.5.7) y, en general, (des)favorecer el flujo de información entre los sistemas que gobierna (mediante la CTC).

⁵⁹ No obstante, concibo la semántica como algo más general y previo a este punto de la derivación. Igualmente, no quiero reutilizar el concepto de interfaces, tan común en la lingüística, puesto que en neurociencia cognitiva, hasta donde sé, no se hace uso de un concepto semejante .

9.4.2 Sustrato.

El sustrato del punto de origen es el analizado en las secciones previas. Sin embargo, en lo que respecta al punto de destino, la idea es que se trata de un espacio computacional más local y específico. Retomando la propuesta sobre la relación entre *ensamble* y consciencia, es como si las representaciones ya ensambladas y proyectadas regresaran a un espacio más modular de los que conectan al GW. La localidad de dicho sistema es clave para la búsqueda de una explicación a constricciones lingüísticas de localidad en § 12. Por las razones de externalización anteriores, la hipótesis es que el área de destino es Broca o subáreas de Broca. Por tanto, la información se comunicaría a las BA 44 y 45 (v. § 8.1.1.1) y, dada la implicación del sistema ejecutivo, la dlPFC o la región ventral y media, más conectada con el sistema límbico. Dada la amplitud del sustrato de origen en el modelo de la presente tesis, mayor que la típica área de Wernicke, cabe esperar la implicación de múltiples vías generales, tanto locales como de larga distancia, como el fascículo arqueado, el fascículo uncinado (ambos parte de las vías dorsal y ventral) y el cingulum (v. § 4.1.2). Asimismo, habida cuenta de la implicación *theta*, las conexiones a través del hipocampo y del núcleo *reuniens* del tálamo serían significativas (v. § 6.3.3.3). Si el hipocampo debiera comunicar sus dinámicas (CA3 puede generar *theta*), podrían estar implicados la EC, el subículo, etc.

9.4.2.1 La inversión del núcleo y la periferia de modelos neurolingüísticos.

En neurolingüística, se ha diferenciado entre un conjunto de regiones que constituirían el núcleo (*core*) del lenguaje y otras que formarían la periferia (*periphery*). De acuerdo con Fedorenko y Thompson-Schill (2014), el núcleo sería un conjunto de áreas (como Broca) que se activan específicamente durante el procesamiento lingüístico, mientras que la periferia estaría compuesta por regiones generales (regiones de control) que en ocasiones pueden activarse para el lenguaje, pero que se activarán también durante procesos de otra naturaleza. En cambio, conforme al modelo aquí desarrollado, tiene más sentido invertir esta distinción núcleo/periferia (v. Ramírez y Boeckx 2015). Es más explicativo y apropiado identificar el núcleo del lenguaje con aquellas regiones donde tienen lugar los principales mecanismos que caracterizan la computación sintáctica, que aquí se relacionan con estructuras generales de las que surgen operaciones empleadas en otros dominios cognitivos. Lo lógico es que las mismas se activen siempre. De existir una

periferia (residual), es más apropiado asociarla con el área de Broca, donde el grueso de la estructura sintáctica ya llegaría formado. Por tanto, restamos peso al área de Broca en los mecanismos aparentemente sintácticos y la entendemos, en cambio, como un área donde la información se prepara para la externalización y pueden tener lugar ciertas constricciones lingüísticas (v. § 12).

9.4.3 Mecanismos oscilatorios y estructuras que intervienen.

Recuérdese que las representaciones *ensambladas* están sincronizadas en el GW en una red básicamente cortico-talámica mediante el acoplamiento inter-frecuencia entre *alpha* y *gamma* (*beta* en el caso de núcleos). Para transferirse y abandonar el GW, las representaciones deben desacoplarse, para lo que discutiremos la posibilidad de que intervenga el TRN, que inhibiría localmente al tálamo y suprimiría el ritmo (*alpha*) que sostiene la comunicación cortico-talámica. Y para acoplarse a sistemas como el área de Broca, puede ser necesaria la oscilación *theta*, que habilitaría la CTC entre regiones a larga distancia y estaría implicada en la memoria de trabajo (Dippopa y Gutkin 2013), la organización secuencial de información en ese dominio cognitivo (Roux y Uhlhaas 2014) y el control de patrones temporales de otros procesos (v. § 8.5.7).

9.4.3.1 Desincronizando.

El TRN puede contribuir a la desincronización de las representaciones de *alpha*. Esta es una idea que refuerza la conectividad del TRN (Sherman y Guillery 2006, Çavdar *et al.* 2008), puesto que se interpone en la comunicación talamo-cortical que nos interesa interrumpir para la transferencia (v. Saalman y Kastner 2011). De acuerdo con la hipótesis de Huguenard y McCormick (2007), el TRN regula las oscilaciones talamo-corticales, pudiendo desincronizarlas mediante sus conexiones inhibitorias recurrentes. Esta es una función general que evita la hipersincronía (Huguenard y McCormick 2007), pero en una versión menos radical podría desincronizar las representaciones transferidas. Así, se liberarían las representaciones del GW, interrumpiendo la atadura que tienen mediante el *alpha* corticotalámico.

9.4.3.2 Acoplando.

Las oscilaciones sirven para comunicar regiones cerebrales y asambleas neuronales (v. § 3.2), de modo que si la transferencia consiste en que alguna asamblea (equivalente a la representación transferida) es comunicada a otra región, será necesaria una oscilación que sincronice ambas poblaciones. Puesto que la red que hemos esbozado comprende una gran parte del cerebro, hace falta un ritmo capaz de establecer sincronía a larga distancia. Debido al principio de la relación inversa entre la frecuencia y el alcance espacial de los ritmos (v. § 5.3), es necesario un ritmo lento. Por ser el que típicamente se atribuye a la comunicación entre áreas distantes, por ser capaz de controlar y organizar otros procesos de menor nivel y por su relación con la memoria de trabajo, el mejor candidato es *theta*. Este ritmo se ha identificado en un diálogo cortico-hipocámpico y su génesis está íntimamente ligada a esta estructura, con múltiples generadores, tanto externos como internos al hipocampo (v. § 6.4.1). Seguramente, para sostener la oscilación es precisa una colaboración entre los mismos y la corteza, siendo necesarias las conexiones con las capas infragranulares, que oscilan a frecuencias más lentas, y, tal vez, el tálamo, especialmente su núcleo *reuniens*, que media en la sincronización a gran escala de oscilaciones *theta* que implican estructuras límbicas y la corteza (prefrontal) (v. § 6.3.3.3).

9.4.4 Ritmicidad de *proyección, ensamble y transferencia* dictada por la interacción de ritmos.

A continuación, se planteará que el acoplamiento entre *theta* y *alpha* puede estar detrás de ciertos patrones en la estructura sintáctica (v. Ramírez 2014) y que la relación entre *theta* y *beta* puede explicar la relación entre los núcleos (de fase y de sintagma) y la *transferencia*. La idea principal, en ambos casos, es que los patrones estructurales del lenguaje surgen de patrones temporales mucho más primitivos, fruto de la interacción de ritmos a diversa frecuencia (v. § 5.4.8). Una función de *theta* (de la que depende la transferencia) a este respecto puede ser el control de la temporalidad de la aplicación de otros mecanismos, como la *proyección* (v. § 9.3). De hecho, en § 8.3.4 ya destacamos que el procesamiento lingüístico y el atencional compartían cierta periodicidad y características en el procesamiento que podrían depender en parte del ritmo *theta*.

La periodicidad con que se producen el *ensamble* y la *transferencia* surgiría del acoplamiento inter-frecuencia de fase 2:1 entre *alpha* y *theta* (Ramírez 2014), lo cual significa que por cada dos ciclos *alpha*, se produce uno *theta* (v. Sauseng *et al.* 2010, Schomburg *et al.* 2010 para diferentes fases receptoras de *theta*). Dada la función atribuida a los ritmos, este patrón se traduce en dos *ensambles* por cada *transferencia*. Si los núcleos (de fase) dependen de esta última, el resultado de la relación de ritmos es que primero ensamblamos piezas que no serán núcleos de fase y luego piezas que sí lo serán, rítmicamente. En lingüística, hay modelos en que por cada dos ocurrencias de *ensamble*, se da una operación de *transferencia* (Boeckx 2015), lo cual podría reflejarse en la alternancia de núcleos (de fase) y no-núcleos en la espina oracional (Richards 2011). La causa subyacente puede ser la interacción de ritmos, de modo que un patrón estructural o principio lingüístico surgiría de un principio cerebral más primitivo que Buzsáki (2006) captura con la escala logarítmica de 2.17 de discriminación de bandas de ritmos conforme a la cual los ciclos de una oscilación concreta son el doble de lentos que los ciclos de la oscilación inmediatamente debajo del espectro.

Aparte de esta relación entre *theta* y *alpha*, también se puede explotar la relación entre *theta* y *beta*. Los ritmos pueden dictar la temporalidad del procesamiento cerebral y del comportamiento en última instancia (v. § 5.4.8). En la investigación sobre la atención, se ha observado un acoplamiento entre *theta* y *alpha* (Song *et al.* 2014). De acuerdo con este estudio, el *sampling* atencional de múltiples ítems surge de la interacción de *theta* y *alpha*. La idea es que las oscilaciones *alpha* se sostienen en poblaciones distintas donde se representan diferentes objetos. Imaginando dos ítems en dos poblaciones disociadas, el proceso consiste en atenderlos de manera rítmica: la población del atendido no presenta *alpha* y la del no atendido presenta un *alpha* inhibitorio. Crucialmente, la alternancia o los *shifts* entre uno y otro, ocurre a frecuencia *theta*, el ritmo que controla la temporalidad del mecanismo de inhibición de *alpha*.

En la misma línea, Dugué *et al.* (2015) hablan de un *theta* que gobierna la periodicidad en que se realiza la búsqueda atencional. Las regiones frontoparietales transmiten *theta* a regiones posteriores, de modo que cada objeto se amplía en un ciclo *theta* diferente hasta dar con el objetivo que debe atenderse. De este modo, creo que *theta* puede gobernar la temporalidad con de la operación de *proyección*, que se aplicaría una vez por cada ciclo *theta*. Las regiones de control podrían imponer el *theta* responsable de la *transferencia* al mismo tiempo que en cada uno sus ciclos tiene lugar una aplicación

de la operación de la proyección, dependiente de *beta*. Para tal interacción, es útil la sincronía a banda *theta* entre el hipocampo y los ganglios basales (v. § 6.5.2), que se implicaron en la oscilación *beta* responsable de la *proyección*.

9.4.5 Síntesis.

En suma, la transferencia consiste en el flujo de información desde el GW donde se combinan los elementos a sistemas más modulares y cercanos a la producción. El área de Broca reúne los requisitos de mayor localidad, relativa modularidad y cercanía a la externalización, a la cual se conectaría por múltiples vías de asociación, el núcleo *reuniens* del tálamo y posiblemente el hipocampo. Esta visión invierte la típica de la neurolingüística sobre el núcleo y la periferia del lenguaje, de forma el núcleo donde tendrían lugar las principales operaciones sería general, y lo más específico (morfofonológico) tendría lugar en regiones periféricas. A pesar de que esta operación puede relacionarse con el control de flujo de la información por parte del sistema ejecutivo (y la memoria de trabajo), la transmisión de información entre sistemas es una característica del procesamiento del cerebro en general, observándose claramente, por ejemplo, en la visión, donde la información se escinde por las vías dorsal y ventral. Por consiguiente, el mecanismo de transferencia es muy general. Conforme a la escala fijada en la presente tesis, se requiere de una oscilación lenta para que pueda establecer la comunicación mediante sincronía entre regiones distantes. *Theta* es el mejor candidato, siendo un ritmo que además enlaza la operación con el hipocampo y la memoria de trabajo, de modo que puede identificarse un *buffer* verbal más específico en el (sub)área de Broca. En ella, las representaciones transferidas podrían organizarse secuencialmente mediante *theta*, como en el mecanismo de codificación por fase (v. § 5.4.7).

Aparte, la asamblea transferida debe dejar de ser susceptible a operaciones (más sintácticas) como las descritas en secciones previas, de modo que sería necesario abandonar el GW. Para ello, la pérdida de comunicación con las estructuras del GW o el desacoplamiento de las mismas son mecanismos adecuados, pudiendo intervenir el TRN para desincronizar del ritmo *alpha* de los circuitos talamo-corticales a las representaciones que usan ritmos rápidos. En definitiva, las asambleas transferidas se desincronizan de *alpha*, y se acoplan a las regiones de destino gracias a la sincronía a banda *theta* (hipocámpica y prefrontal). Además, el ritmo *theta* dictado por el sistema de control ejecutivo puede controlar la temporalidad del procesamiento lingüístico. En este

sentido, la interacción entre *theta* y *alpha* puede estar detrás de la alternancia de núcleos y no núcleos en la estructura sintáctica, mientras que la interacción entre *theta* y *beta* puede subyacer a la relación entre la *transferencia* y la *proyección*. Este tipo de control temporal se ha observado en la atención, lo cual refuerza la idea de § 8.3.4 de que el procesamiento lingüístico y el atencional comparten en parte su temporalidad (teniendo en común ERP, escalándose en la complejidad de las representaciones a medida que se avanza en el tiempo, existiendo intervalos similares entre diferentes fases, etc.).

Por último, con *theta* se establece en el presente modelo una asociación más clara entre un ritmo lento y un ciclo derivacional, que, conforme a lo defendido en §§ 10 y 11, se correspondería con una estructura ternaria⁶⁰ en que pueden integrarse sintagmas y fases. Con esta hipótesis, se aventaja en precisión a la relación que se establece en modelos como Ding *et al.* (2015) entre ritmos variables, que se encuentran en un rango de frecuencias entre *delta-theta*, y los sintagmas; y se aventaja también en coherencia con la lingüística a otros como Meyer *et al.* (2016), en que *delta* se relaciona con una operación de *chunking*, con la cual se fragmentaría la oración en estructuras de tamaño variable y poca solidez formal, que se consideran sintagmas. Por el contrario, la relación entre *theta* y la *transferencia* permite identificar un mecanismo reconocible por la lingüística teórica, es más afín a la función neutral atribuida al ritmo en lo que respecta a la intercomunicación de sistemas (mientras que la de *delta* apenas se comprende, v. Harmony 2013), y puede explicar características de las estructuras, como la PIC (v. § 10.3), algunos patrones, la relación entre determinados ciclos derivacionales y las operaciones menores que tienen lugar en ellos, como la *proyección*, etc.

9.5 Conclusiones y contraste con otros modelos

En este capítulo se ha propuesto una implementación de los mecanismos empleados en el lenguaje construida sobre las operaciones empleadas en otros dominios cognitivos y su implementación mediante oscilaciones. De esta forma, se es fiel a la idea de que el lenguaje, lejos de ser un sistema específico y modular (v. § 2.7), surge de mecanismos cerebrales neutrales evolutivamente anteriores al momento en que se suele atribuir el surgimiento de la facultad en la especie y ya reclutados por otros dominios

⁶⁰ Con “ternaria”, aquí y en otros puntos de la tesis, se hace referencia a que la estructura se compone de tres elementos distintos, sin que implique que la ramificación no sea binaria.

cognitivos (y presentes en otras especies). Dada la posición central que aquí ocupa la dimensión temporal del procesamiento (lingüístico), una forma de sintetizar y visualizar las principales propuestas del capítulo es reseguir el recorrido de una representación, desde que se selecciona y constituye en una asamblea hasta que se transfiere a subsistemas próximos a la producción lingüística.

En primer lugar, cuando es seleccionada, la representación es recuperada de la memoria semántica mediante *gamma*, posiblemente con interacción de *theta*. El ritmo *gamma* sirve asimismo para formar la asamblea neuronal distribuida por áreas corticales de asociación (aunque interconectadas por el hipocampo). Se agrupa así la actividad de las neuronas (que en subconjuntos del total codificarían rasgos) que forman el todo coherente que constituye la representación léxica. *Gamma* contribuye también a mantener accesible la información durante el tiempo que el ritmo se sostuviera.

En segundo lugar, la representación léxica, ubicada en un procesamiento más modular, es movilizada a un espacio global, utilizado en la consciencia y en la memoria de trabajo, donde es integrada con otras. El mecanismo de *ensamble* es el mismo que se utiliza en la globalización e integración de contenidos de la consciencia. Para que esto se produzca, es necesario el acoplamiento inter-frecuencia entre el *gamma* responsable del contenido de la representación y un ritmo *alpha* mediado por el tálamo (núcleo pulvinar) que se sincroniza con regiones de mayor orden (fronto-parietales).

En tercer lugar, nuestra representación puede proyectar (o ser transferida). Si proyecta, es seleccionada (frente a otras) para mantenerse más tiempo en el espacio global, recibiendo información categorial extra y estando disponible para someterse a más operaciones combinatorias. Para ello, se utiliza un ritmo *beta*, al que se ralentiza la asamblea a *gamma*, que sincroniza regiones frontales (ejecutivas y atencionales), capas subcorticales profundas de donde se encuentran las asambleas, ciertos circuitos que cruzaran los ganglios basales y el MDN.

Por último, la representación es transferida, abandonando el espacio global y pasando a uno más modular y específico, como el área de Broca, donde la información se prepara para ser externalizada. Se pierde ahora la sincronía con el ritmo *alpha*, que anclaba a la red cortico-talámica del espacio global, y se establece una sincronía, mediante *theta*, con los subsistemas externos. Aunque la comunicación de información entre sistemas es un rasgo definitorio del cerebro, la implicación de *theta* permite establecer conexiones con el hipocampo, la memoria de trabajo y el sistema de control ejecutivo.

De hecho, es gracias a la interacción de este ritmo *theta* de la transferencia y de otros ritmos (*alpha* y *beta*) que dominan en otras operaciones que pueden surgir patrones temporales de actividad y estructuras en su manifestación sintáctica.

Así las cosas, los mecanismos lingüísticos se construyen a partir de los empleados en varios dominios cognitivos. A grandes rasgos, la *selección* surge de mecanismos típicos de la memoria semántica y a corto plazo (o de trabajo) (aunque también existe la posibilidad de la selección atencional); el *ensamble* se basa en la consciencia (aunque la atención puede tener también la función de filtro); la *proyección* surge de la atención (y el control ejecutivo, íntimamente relacionados); y la *transferencia*, aun siendo muy general, implica en buena medida el control ejecutivo (y la memoria de trabajo). Por lo tanto, se comparten los mecanismos, los ritmos que los implementan, las funciones generales que pueden cumplir, y las estructuras que los generan de una forma neutra, todo revisado en secciones previas.

La integración de las operaciones aparentemente lingüísticas con el resto de la cognición de mayor nivel, la importancia atribuida a los mecanismos, la compatibilidad con la teoría lingüística y la coherencia con una base cerebral de estructuras, dinámicas y funciones generales definida de forma independiente son ventajas significativas respecto al resto de modelos neurolingüísticos (v. § 8.1). No obstante, existen convergencias con múltiples modelos, incluyendo los denominados modelos clásicos (v. § 8.1.2). En lo que respecta a la relación entre lenguaje y dominios cognitivos, Ullman (2016) asocia el lenguaje a los sistemas de memoria declarativa y procedimental, mientras que aquí sólo se recurre al sistema de memoria semántica y a la memoria de trabajo (v. Caplan 2016). Asimismo, el sistema de control ejecutivo es también un componente del modelo de Hagoort (2016), aunque se analice de forma bastante más general. La visión del sustrato del léxico coincide, en general, con la de Pulvermüller y Fadiga (2016), si bien aquí se asocia además a un subconjunto de los contenidos de la consciencia. La concepción de la transferencia puede relacionarse con el modelo de doble vía de Hickok y Poeppel (2000 et seq.), pero no veo razones de peso para ser fiel al desglose de los sistemas externos en uno conceptual e intencional y otro sensoriomotor por más que ello facilite la asociación. Siguiendo con la transferencia, podemos considerar que al alcanzar Broca se produce un ascenso en la jerarquía del procesamiento contemplada en Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky (2013), aunque aquí la organización jerárquica aporta poca explicación. Por último, en lo que respecta a la complejidad creciente de las representaciones, el modelo

de la presente tesis podría, a pesar de tener un carácter mucho más mecanicista, relacionarse vagamente con el de Friderici (2002 et seq.),.

Con todo, no puede afirmarse que el modelo de la presente tesis sea coherente con los modelos neurolingüísticos en general, puesto que para ello debería haber, antes que nada, consenso entre los mismos. Lo que se comparte con un modelo es, normalmente, una propiedad ignorada en el otro (o incluso contraria), y cuando se intentan homogeneizar todos, surge algo excesivamente simple (v. Ben Shallom y Poeppel 2008). Otra disonancia significativa, aparte de las ya apuntadas, es que el presente modelo es mucho menos modular y menos específico, y contempla dominios como la consciencia y la atención, que son, mayormente, ignorados. De hecho, la red espacio-temporal delineada en la presente tesis dista de la red clásica del lenguaje, dando más importancia a estructuras subcorticales y regiones corticales cuya función se asocia típicamente a otros dominios. Aparte, existe la diferencia de la prioridad de los mecanismos y las oscilaciones, también contempladas en otros modelos.

En relación a esto último, aquí se recurre básicamente a los ritmos *theta*, *alpha*, *beta* y *gamma* (Weiss y Mueller 2003, Bastiaansen y Hagoort 2006), aunque no se contempla *delta* (Meyer *et al.* 2016, Bonhage *et al.* 2017). La importancia atribuida a estos ritmos se debe a que se comparten ideas básicas como la necesidad de ampliar el análisis espacial del cerebro con el de las dinámicas de las estructuras, entre otras, defendidas por Bastiaansen y Hagoort (2006, 2015). Con estos autores, se coincide en la posible implicación de *theta* en la selección de piezas léxicas, aunque aquí se prioriza *gamma* (v. Lutzenberger *et al.* 1994, Pulvermüller *et al.* 1996). Con respecto a otros (Weiss y Mueller 2012), se utilizan unas mismas características de la oscilación *beta* para asociarla a un proceso sintáctico que, aquí, se concreta en la proyección. Asimismo, como se desarrollará en § 11, la asociación de diferentes elementos a diferentes ritmos (núcleos a *beta*, complementos a *gamma* y bordes, como se defenderá más tarde, a *beta 1*) consiste en el mismo mecanismo apuntado en Weiss y Mueller (2003) de multiplexación por división de frecuencia, aplicado por Giraud y Poeppel (2012) en lo fonológico y, de una forma mucho más inconsistente que la de aquí para la estructura sintáctica, en Ding *et al.* (2015).

A pesar de ello, existen otras diferencias, como un fundamento más amplio en la neurociencia cognitiva y más neutro sobre estructura cerebrales y sus dinámicas; un mayor número de paralelismos con los mecanismos de otros dominios cognitivos y con

las funciones de bajo nivel de los mismos, radicalizando la idea de Bastiaansen y Hagoort (2006) de que los mecanismos oscilatorios pueden ser generales (v. § 3.3); la concreción en la función de la oscilación *alpha*, para la cual no se encuentra nada concreto o persuasivo en esos modelos (v. § 8.1.3); una interacción mayor de los ritmos que resulta mecánica y cognitivamente explotable, en por ejemplo la interacción entre *theta* y *beta*, como se desarrollará también en § 11; el uso de oscilaciones rápidas para lo más sencillo y local, y de ritmos más lentos para operaciones como *ensamble* o *transferencia* (cf. con *beta* y *gamma* en las operaciones de unificación sintáctica y semántica discutidas en § 8.1.3.2); y la descripción de mecanismos conciliables con la lingüística teórica y, al mismo tiempo, con la concepción de las operaciones de otros dominios cognitivos desde la neurociencia cognitiva, a diferencia de lo que uno encuentra en estudios como los revisados en § 8.1.3.4.

Crucialmente, el modelo de la presente tesis se pronuncia también sobre las constricciones y el proceso detallado de generación de estructura (§§ 12 y 11, respectivamente, v. Ramírez 2014), lo cual no se encuentra en ninguno de los modelos neurolingüísticos revisados. En suma, hay un número amplio de convergencias y, a la vez, una amplia cantidad de discordancias con la bibliografía existente. Dado el poco consenso entre modelos neurolingüísticos, no puede esperarse ser compatible con todos. Más allá de una visión totalizadora (irrealizable), lo positivo es que las convergencias y disonancias no son aleatorias, sino el resultado de haber llegado a ellas de forma independiente a partir de determinada visión del lenguaje (v. § 2) y determinada visión del cerebro y la mente (v. § 3 y su desarrollo en la segunda parte de la tesis).

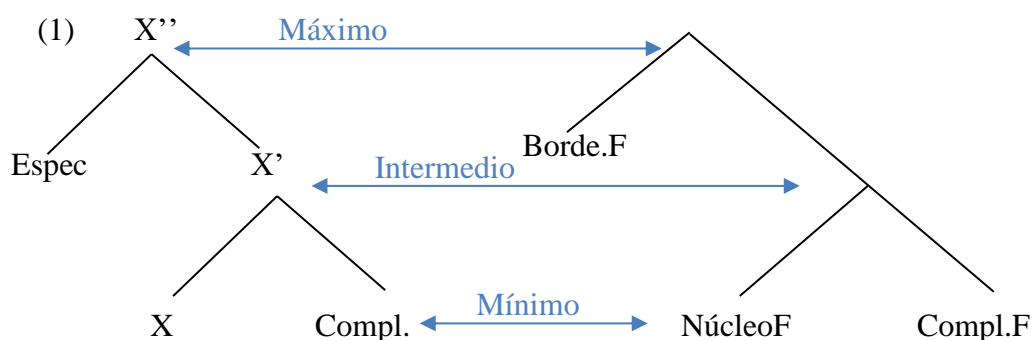
10 Simplificando la estructura sintáctica

Realizar una propuesta sobre cómo los mecanismos oscilatorios generan la estructura sintáctica (v. § 11) pasa por la cuestión previa de cómo es la estructura sintáctica, cuántos elementos pueden diferenciarse, etc. A este respecto, en la lingüística teórica existen enfoques muy dispares, yendo desde estructuras vastísimas (a lo nanosintaxis) hasta otras mucho más simples (a lo minimismo radical). Coherente con la intención de aprehender las propiedades del lenguaje en lo esencial, propondré una generación de estructura básicamente ternaria, en que unificaré los sintagmas y las fases o, desde un punto de vista más formal, la teoría X' con la teoría de fases. Para ello, se analizarán los puntos en común entre sintagmas y fases, las propiedades de estas últimas, la estructura de frase escueta, los problemas que plantea el *etiquetado*, el movimiento de núcleos y constituyentes, y la herencia de rasgos. Se concluirá que no conocemos suficiente acerca de cómo es realmente la estructura sintáctica, pero que tanto con la teoría X' como con la teoría de fases nos habríamos aproximado, en diferentes etapas del generativismo, a unas mismas propiedades.

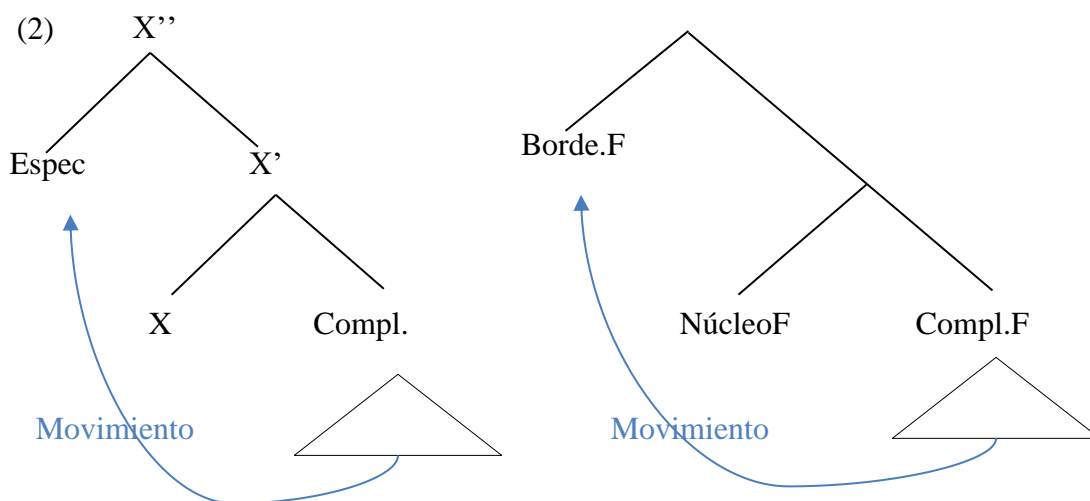
10.1 En busca de simplicidad. Comparando sintagmas y fases

Si la estructura se genera a partir de unos pocos mecanismos (v. § 2.4), una amplia diversidad de elementos en la estructura resultaría chocante, y construirla a partir de rasgos sería poco explicativo (v. Boeckx 2015). Por el contrario, diferenciaremos los elementos de acuerdo con su posición y comportamiento en la estructura y nos basaremos en propiedades significativas compartidas. Haciendo ahora un adelanto, se verá que, a grandes rasgos, tanto los sintagmas como las fases constan de tres clases de elementos: un elemento principal (núcleo) que identifica el conjunto y hace de enlace con otros elementos; un elemento o conjunto de elementos (complemento) que guarda una relación más estrecha con el elemento principal, es menos duradero o activo sintácticamente y ha

establecido una relación primero; y un tercer elemento (especificador o borde de fase) que guarda una relación más vaga con los anteriores, ha entrado más tarde en la derivación y es capaz de crear dependencias globales. En verdad, en la Teoría X' se ha hablado casi siempre de tres niveles (proyección mínima, intermedia y máxima) y tres elementos (núcleo, complemento y especificador), de forma muy similar a los tres elementos que se distinguen en la teoría de fases (núcleo, complemento y borde).



Nótese que, en la jerarquía de la estructura sintáctica, los elementos semejantes entre fases y sintagmas ocupan posiciones muy similares o idénticas (de modo que seguirían el mismo proceso derivacional)⁶¹. Los especificadores de sintagmas y los bordes de fase comparten que es ahí donde parecen aterrizar los elementos (complejos y, seguramente, de naturaleza nominal) desplazados⁶².

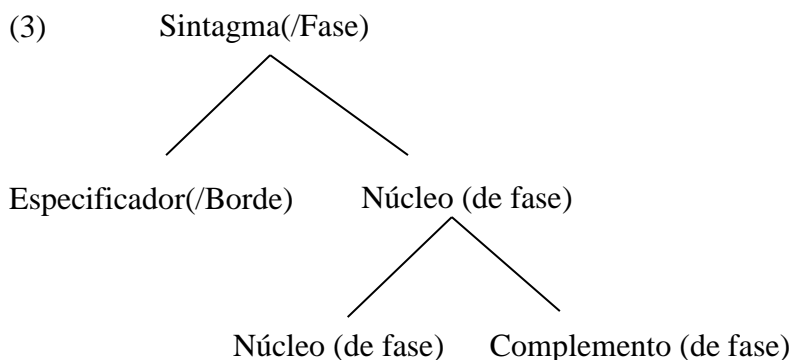


Por lo tanto, parece que tanto en sintagmas como en fases nos topamos con una estructura ternaria (en el sentido de que se compone de tres tipos de unidades y respetando

⁶¹ En la teoría de fases (v. § 10.3), el núcleo suele incluirse dentro del borde, como parte de la estructura que no ha sido transferida.

⁶² El triángulo en los diagramas arbóreos representa la presencia de estructura que, por razones expositivas, se ha omitido.

la binariedad del *ensamble*) (v. § 10.5), a partir de la cual se diferencian tres clases de elementos: algo parecido a un núcleo, algo parecido a un complemento, y algo parecido a un borde.



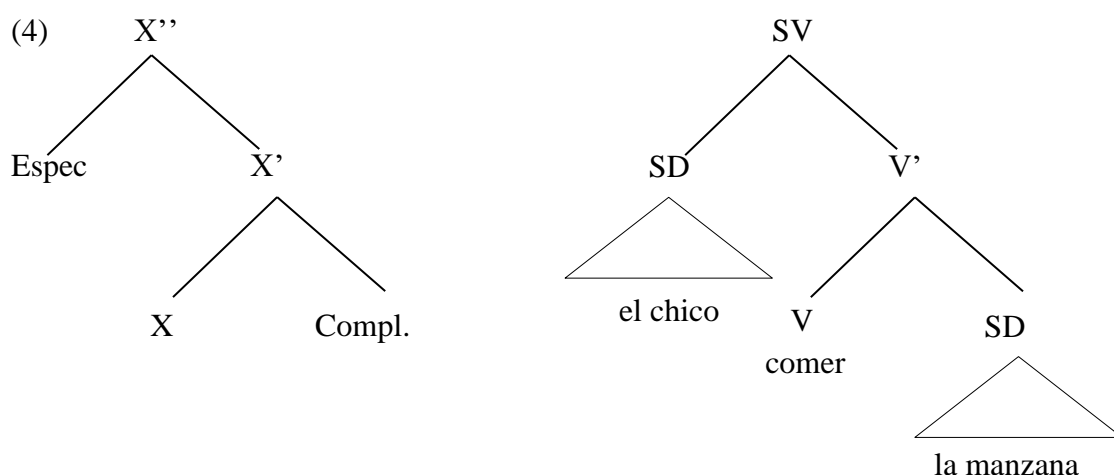
Aunque la unificación de sintagmas y fases pueda parecer un movimiento demasiado reduccionista, creo que es a lo que empuja el desarrollo de la propia teoría de fases (v. Müller 2004, 2011, Epstein y Seely 2002, Gallego 2014). Las fases se están utilizando para recuperar nociones que se perdieron en la transición de la teoría X' a la estructura de frase escueta, o, más en general, con el desarrollo del minimismo. Si antes los sintagmas servían para fragmentar la estructura oracional, ahora lo hacen las fases; si antes los núcleos de sintagma habilitaban una posición de especificador a la que mover los elementos, ahora la proporciona el borde de fase; si antes la categoría de los constituyentes dependía del núcleo sintagmático, ahora depende del núcleo de fase; etc. Realizaremos, por lo tanto, una revisión de la teoría de sintagmas más completa, la X' (v. § 10.2) y de la teoría de fases (v. § 10.3), para acabar unificándolas (v. § 10.4).

10.2 Sintagmas

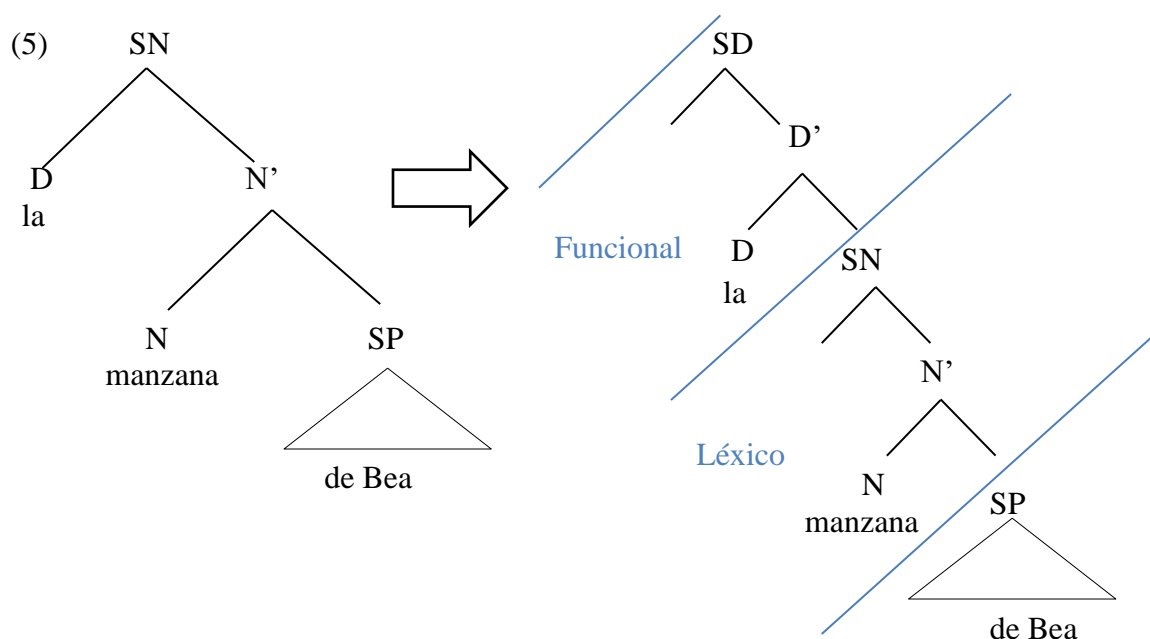
Empezando por una definición general, un sintagma o constituyente, según Bosque y Gutiérrez-Rexach (2009), es un segmento de estructura (organizado jerárquicamente) que puede sufrir distintos procesos sintácticos: sustitución por pronombres, desplazamiento, coordinación, elipsis, usarse como respuesta a una pregunta (aislamiento), etc. Estos constituyentes pueden estar compuestos de varias unidades (léxicas), y, a su vez, pueden integrarse con otras para formar estructuras aún mayores. Con todo, en lingüística teórica la concepción de los sintagmas va fuertemente ligada al aparato formal con que se representa la estructura. Si bien esto es razonable, discutiremos

cómo el formalismo parece recibir prioridad frente a propiedades más profundas y condiciona en exceso nuestra concepción de la estructura sintáctica.

Como revisa Fukui (2001), las reglas de la Teoría Estándar resaltaron las propiedades de la jerarquía, la categoría y el orden de los sintagmas (aunque este último atributo se abandonaría, relegándose en parámetros o siguiéndose de la estructura, v. Kayne 1994). Luego, la Teoría X' nos permitió captar la endocentricidad (v. § 2.3) y patrones generales en la organización de elementos (como los paralelismos entre construcciones nominales y oracionales: “the enemy’s destroying the city” frente a “the enemy’s destruction of the city”; v. Fukui 2001:378). Para recoger estos patrones, la teoría X' daba un esquema estructural válido transcategorialmente en el cual X era una variable sustituible por elementos de diversas categorías. En el marco de esa X, se establecían siempre las relaciones básicas entre los elementos que componían el sintagma: de complemento (similar a un objeto) del núcleo y de especificador (similar a un sujeto) del núcleo (v. Fukui 2001).

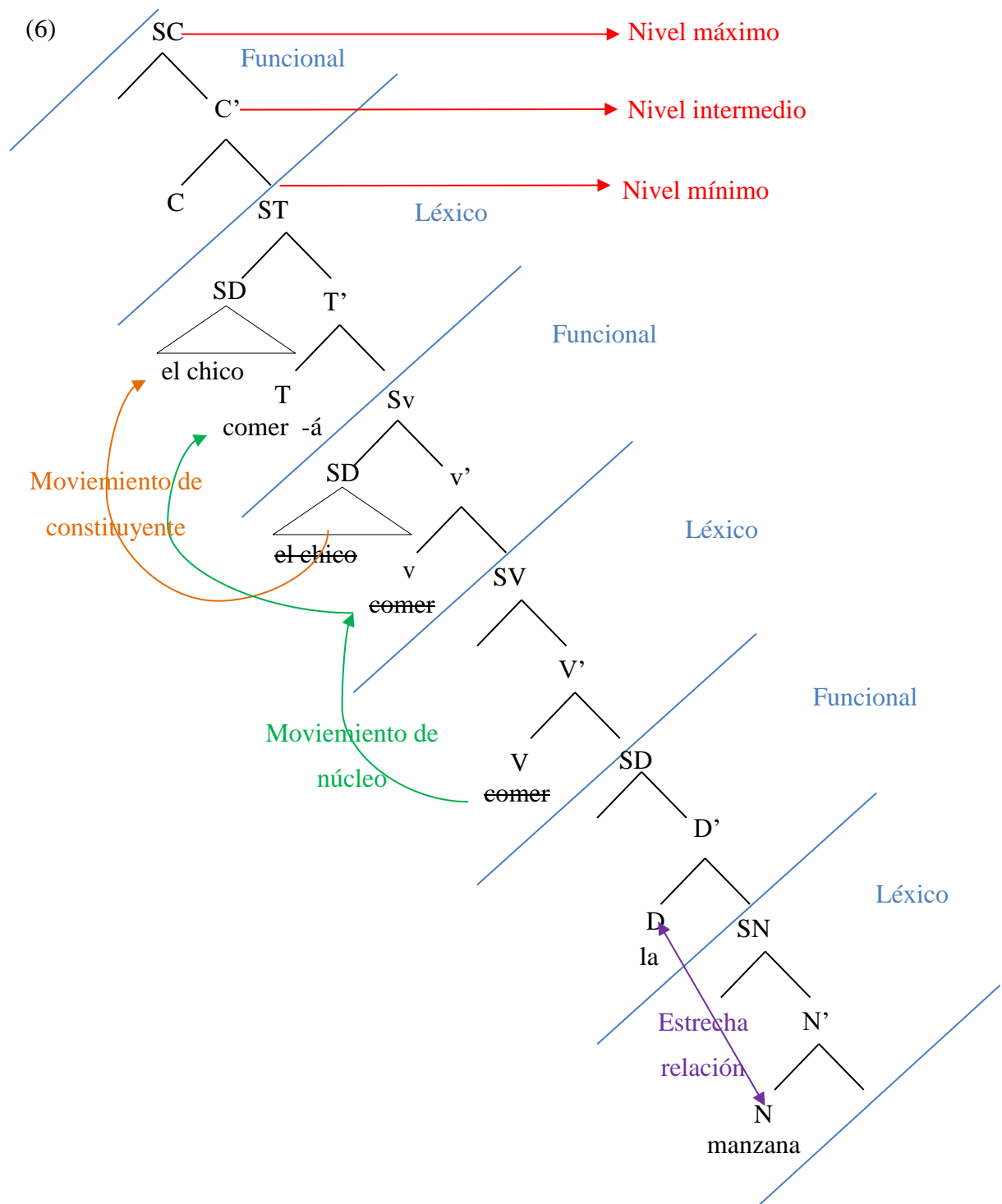


Llegado este punto, se intentó seguir con generalizaciones que en algún caso acabarían llevando (mal ejecutadas) a una reducción del poder explicativo de la teoría. A partir de hipótesis como la del SD (Abney 1987, Fukui y Speas 1986), se acabaría postulando la existencia de sintagmas de categorías léxicas (asociadas a lo conceptual o temático) y de sintagmas de categorías funcionales (asociadas a lo computacional, como la concordancia y el movimiento) que seleccionarían a las primeras.



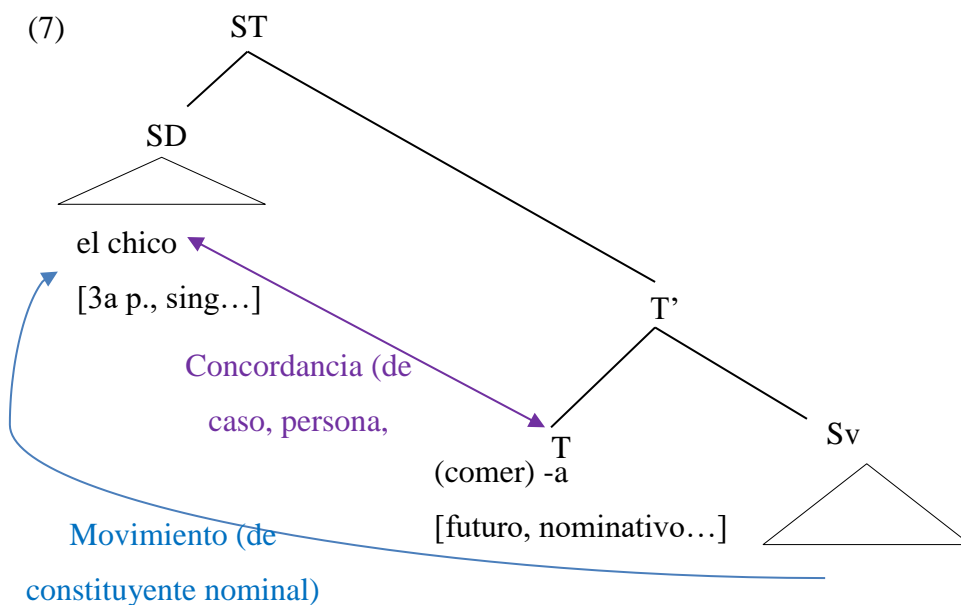
La división entre categorías funcionales y léxicas en la estructura capturaba generalizaciones (entre estructuras nominales y verbales) y condujo a hipótesis que perseguían una uniformidad aun mayor (como el análisis del sujeto interno al SV, v. Fukui 2001). Al extender la X' a múltiples categorías, la oración pudo delimitarse en términos sintagmáticos como en (6). En este tipo de estructura, los especificadores acabarían sirviendo para el movimiento (y concordancia) de constituyentes (nominales), y las categorías funcionales serían el lugar de aterrizaje para el traslado de núcleos, tal vez no sólo por razones morfológicas, sino para añadirles información más categorial/sintáctica que semántica. No es necesario que el lector ajeno al generativismo conozca todos los detalles, categorías, etc. Lo relevante es el reconocimiento de patrones estructurales como la alternancia de capas funcionales y léxicas; el traslado de constituyentes (complejos) hacia los especificadores y de núcleos a los núcleos inmediatamente superiores; la estructura repetitiva, por expresarlo de algún modo neutral, de tres niveles; y la estrecha relación entre la categoría funcional y la sustantiva, por ejemplo, de selección (o categorización).⁶³

⁶³ Igualmente, tampoco es necesario aquí que el lingüista busque el mejor análisis de la oración o, mejor dicho, el de su preferencia (Agente generado en Sv o SV, más/menos categorías funcionales, ascenso del Tema para cotejar caso, traslado de V hasta C o no, etc.).



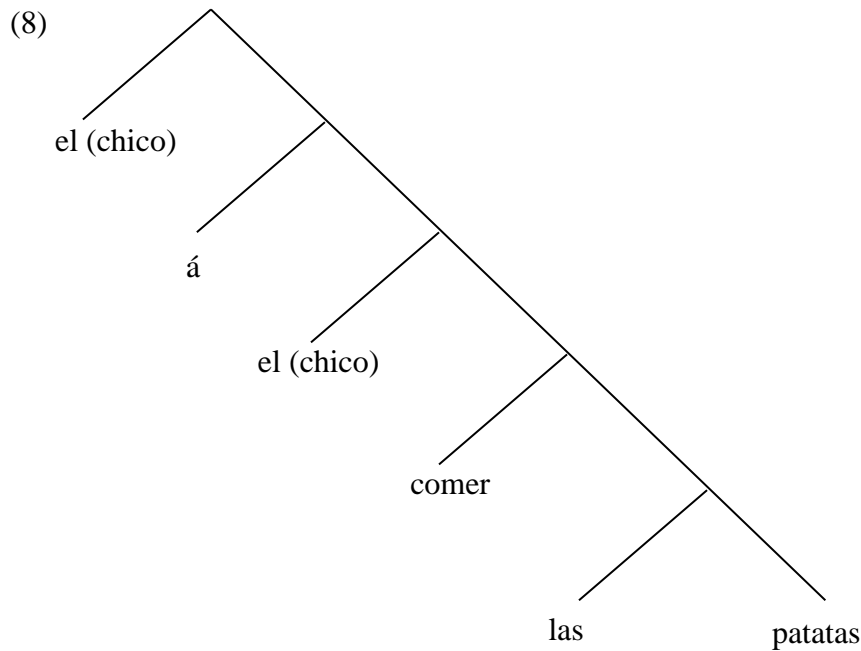
Algunos autores llevaron al extremo la ampliación de categorías capaces de proyectar un sintagma, considerando que cualquier elemento con un contenido semántico o sintáctico mínimo estaría legitimado a ello. Esto desembocó en enfoques cartográficos (v. Cinque 1999) y nanosintácticos (v. Caha 2009, Starke 2010, Pantcheva 2011), donde encontramos estructura sintáctica a nivel subléxico. Frente a ella, uno se sorprende de que

se combinan muchísimos más elementos de los que aparecen, en última instancia, en la oración analizada. Pese a estos problemas potenciales, el desglose de la estructura en múltiples categorías léxicas y funcionales facilitaría la comprensión (aun hoy incompleta) de los enigmáticos especificadores (v. Kayne 1994, Uriagereka 1999), que pasaron de ser una masa heterogénea de elementos inmediatamente arriba del núcleo a ser elementos/sintagmas (de naturaleza nominal) que establecían cierta relación (de concordancia) con el núcleo gracias a un desplazamiento (Fukui 2001). Por ejemplo, en el caso de ST se produciría una concordancia, con T asignando caso nominativo al SD del especificador (y convirtiéndolo en sujeto sintáctico) y con SD transfiriendo rasgos de persona y número a T (o al conglomerado verbo+v+T); se produce así “el chico comerá” pero no “*el chico comeremos”. Para que esto ocurra, son necesarias unas condiciones de localidad y, por consiguiente, el movimiento del constituyente (v. Gallego 2010 para una buena explicación de la concordancia en términos de fases).



Siguiendo con el intento de simplificar la teoría, se consideró que los patrones estructurales representados por la X' eran redundantes respecto a la información que contenían las piezas léxicas. Así, recuperando ideas de subcategorización (v. § 2.2), se defendería que la estructura era un mero fruto de los rasgos que constituirían los elementos y que, de alguna forma, se proyectarían en la estructura. De este modo, se acabó llegando a la idea de que bastaba con saber que cierto núcleo, con ciertos rasgos, se combinaba con otro elemento (Fukui 2001). Toda la generación de estructura dependería, pues, de la aplicación sucesiva de *ensamble*. Se gestaba así, considerando que

la teoría X' introducía elementos superfluos o meros artificios del lingüista, la estructura de frase escueta⁶⁴:



El error vino con que, simplificando el formalismo, que dejó de expresar propiedades que durante años se considerarían fundamentales (y siguen siéndolo hoy desde la perspectiva de la teoría de fases a pesar de que no se acepte), se simplificó en exceso el proceso por el cual se generaba la estructura y las propiedades de la misma. Así, por ejemplo, el abandono de distinciones entre niveles de proyección llevaría a abandonar como operación el mismo mecanismo de proyección y la propiedad misma de la endocentricidad (v. § 2.3).

La concepción del sintagma, dentro del generativismo, no sólo ha estado fuertemente ligada al aparato formal, sino posiblemente condicionada por el mismo. En las primeras etapas de la teoría, un sintagma era un conjunto de elementos ordenados, organizados jerárquicamente y con cierta categoría; más tarde, pasó a ser un conjunto de elementos endocéntrico, transcategorial, con cierta organización ternaria en que se establecían relaciones básicas en determinadas posiciones, etc.; y, por último, sería

⁶⁴ En el diagrama de (8), “(chico)” aparece entre paréntesis para indicar que podría haber sido un complemento transferido de una fase derivada en paralelo. Nótese cómo la pobreza formal se topa enseguida con un problema para derivar y representar el especificador.

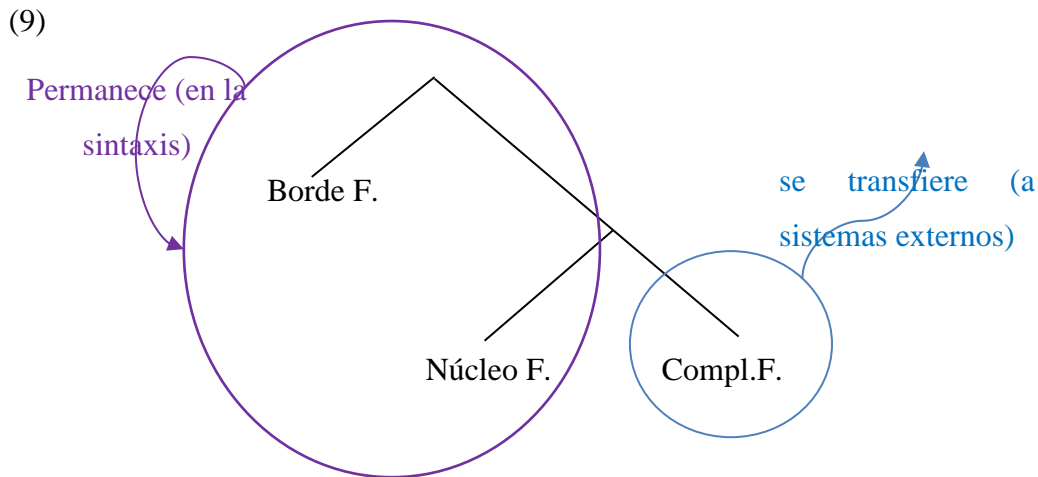
simplemente un conjunto producto del *ensamble* de elementos. En definitiva, el afán por simplificar lo formal ha llevado a simplificar inapropiadamente el objeto de estudio⁶⁵.

10.3 Fases

Con objeto de entender la teoría de fases, se realizará un repaso de la versión chomskyana (Chomsky 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2008)⁶⁶(v. Gallego 2010 para una revisión). En síntesis, una fase es un ciclo derivacional (donde cierto conjunto de elementos léxicos, v. Chomsky 2000, se encuentra) activo en el espacio computacional, en el que tienen lugar las operaciones sintácticas y que proporciona una estructura coherente en los sistemas externos. En cada fase se pueden identificar básicamente tres elementos: núcleo, complemento y borde (Chomsky 2000). Las fases se suceden una tras otra hasta que se completa la derivación, redundando en la eficiencia computacional del sistema (Chomsky 2000). En cada una de estas fases/ciclos, cuando tiene lugar la operación de transferencia, un fragmento estructural (el complemento de fase) abandona el sistema sintáctico, mientras que lo que se denomina borde (el núcleo con su(s) especificador(es), que prefiero diferenciar) siguen activos. La estructura transferida deja de estar sujeta a las operaciones sintácticas y queda como congelada (v. Chomsky 2000, 2001 sobre la *Phase Impenetrability Condition*, PIC).

⁶⁵ En este punto se puede contraargumentar que lo apuntado es una mera opinión (errónea) y que, efectivamente, se ha simplificado la concepción del lenguaje. No obstante, creo que las propiedades y los mecanismos que nos dejamos por el camino se están intentando recuperar inconscientemente en la teoría de fases y que tal simplificación del lenguaje es el resultado forzoso de una ejecución pobre de su integración con la mente y la evolución, arrastrando errores de especificad, etc. analizados en § 2.

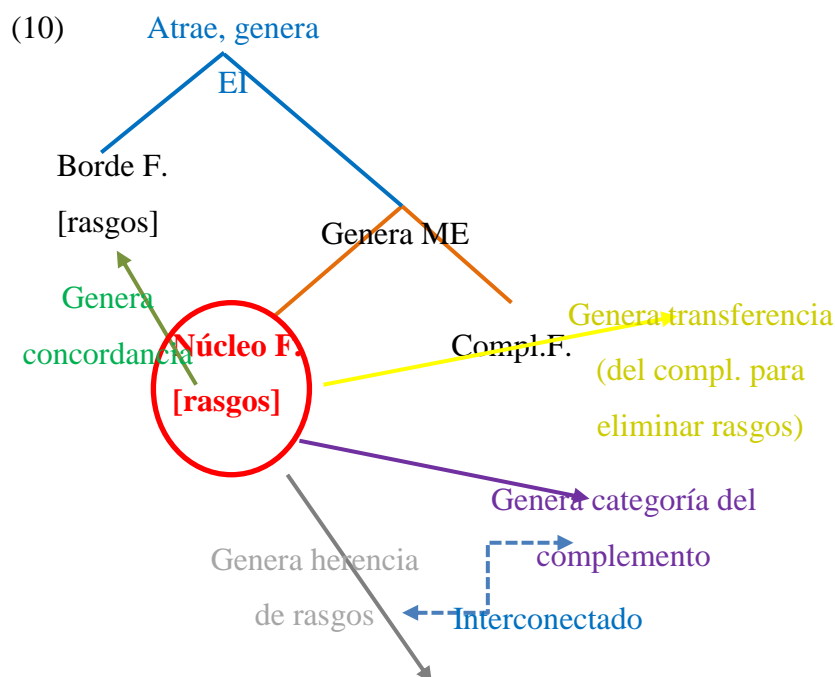
⁶⁶ Como en § 2, el uso de Chomsky como referencia principal se debe a que su teoría de la derivación por fases ha liderado el resto de desarrollos teóricos relacionados con las mismas, contiene las ideas fundamentales sobre las que se han construido otros trabajos, está ampliamente aceptada, etc.



Cada uno de estos ciclos define un dominio estructural donde tienen lugar ciertas operaciones (y condiciones o límites, v. § 12). El núcleo de fase parece, en este sentido, una pieza central o la más activa, y es considerada (por sus rasgos formales, Chomsky 2004, 2007) un posible desencadenante de operaciones de concordancia, movimiento, transferencia, etc. (Chomsky 2005). En este sentido, parece que algunas de estas operaciones podrían ocurrir simultáneamente (antes de que se inserte nuevo material en la derivación) a nivel de fase o en el momento en que se produce la transferencia (Chomsky 2008). Sin embargo, la simultaneidad de las operaciones es más propia de una concepción representacional que derivacional de la sintaxis. Si tenemos en cuenta que los núcleos de fase desencadenan (todas) las operaciones y, si todas ocurren simultáneamente a nivel de fase, multitud de mecanismos sintácticos ocurren de golpe. Esto significa que perdemos gran parte de la dimensión temporal del procesamiento (lingüístico), que se ha mostrado tan relevante en otros dominios cognitivos (v. § 8) y en la computación cerebral (v. § 11) (aunque haya procesamiento en paralelo en el cerebro). De hecho, en la misma lingüística teórica (reciente), el orden temporal de la ejecución de los mecanismos es importante. Por ejemplo, los complementos se ensamblan primero al núcleo y los especificadores lo hacen después (v. Kayne 1994). Incluso algo tan básico como la jerarquía depende de la temporalidad con la que se combinan los elementos (v. § 11.5). En fin, la teoría involuciona desde un enfoque dinámico a uno estático más propio de los orígenes de la Gramática Generativa (v. § 2).

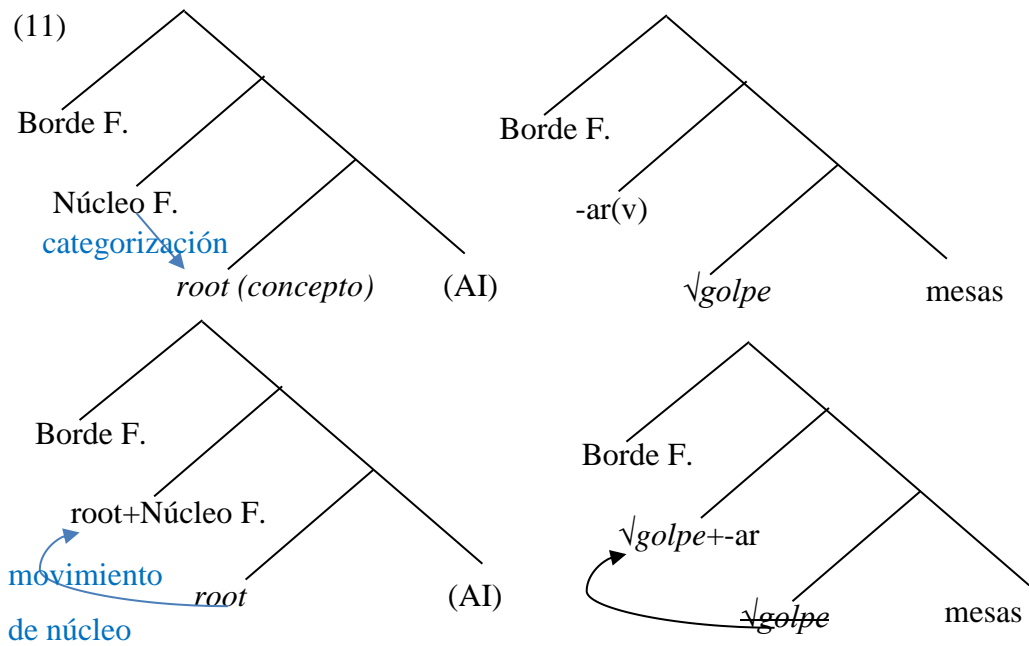
Aparte, se incurre en una sobrecarga desmedida del mecanismo de transferencia, que debería ser único (es decir, se meten con calzador muchos mecanismos en uno), y se llega a una equiparación de núcleos de fase y núcleos de sintagma a la cual, si bien es

bienvenida para nuestros intereses, se opone la bibliografía en general. Me explico. Si bien no suele argumentarse en contra de la asociación de la concordancia, el *ensamble/merge* interno (EI) y el etiquetado o la proyección a la transferencia, muchos autores, como Citko (2014), se muestran reacios a incluir el *ensamble* externo (o la *selección*) en ese repertorio de operaciones desencadenadas por el núcleo, lo cual, en mi opinión, parece bastante interesado. El motivo podría ser evitar la unificación de núcleos de fase y núcleos de sintagma: si *ensamble* externo construye sintagmas (endocéntricos), y es el núcleo de fase el que desencadena esta construcción, nos vemos bastante inclinados a considerar que es el núcleo de fase el que genera a su alrededor toda la estructura sintagmática (v. § 10.4). *Ensamble* construye estructura paso a paso y no puede modificar lo ya generado ni actuar prediciendo el futuro (*no tamperig condition* y la prohibición del *look-ahead*). Esto implicaría que para la generación de un sintagma, pues, debe estar presente siempre un núcleo de fase. Aunque esta conclusión es, a mi parecer, la natural, implica prácticamente equiparar núcleos de fase a núcleos de sintagma y aceptar, como se defiende aquí, que la teoría de fases sólo da nuevos ropajes a la teoría sintagmática previa (v. Boeckx y Grohmann 2007b). De hecho, como se ilustra a continuación, toda la estructura sintáctica gira en torno al núcleo de fase, al que se le atribuyen por la misma lógica todas las operaciones (algunas de las cuales se analizan más adelante). Por lo tanto, a pesar de que pueda representarse como un mero ítem a lo nudo terminal en estructura de frase escueta, del núcleo de fase se asume implícitamente algo como (10).

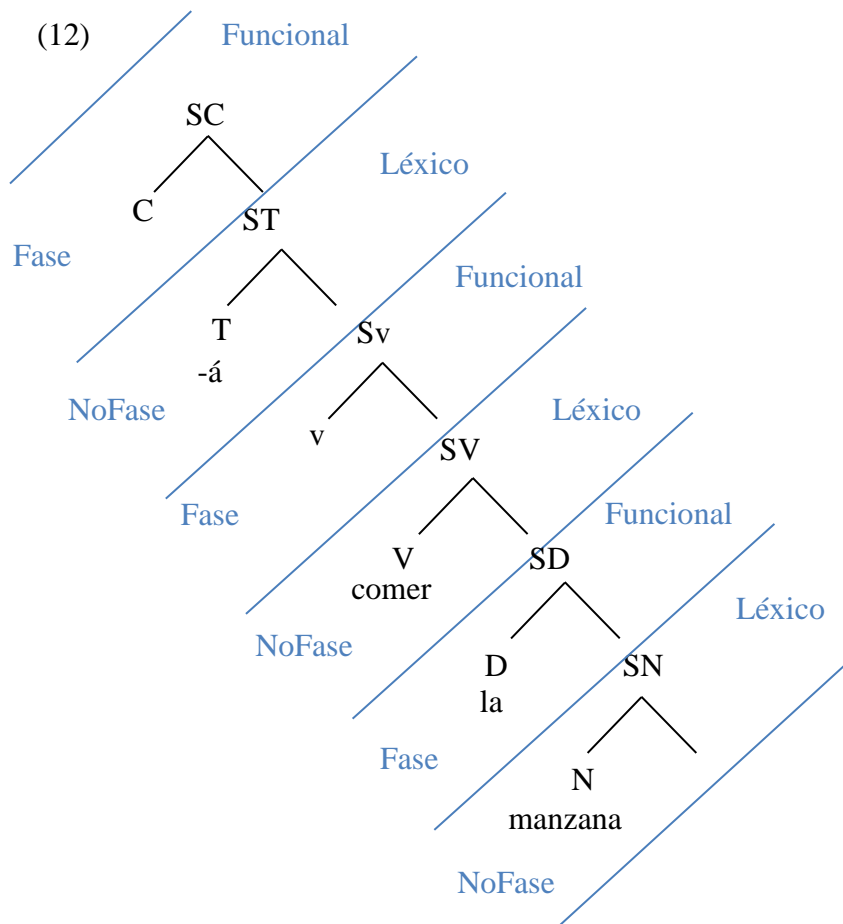


Aparcando provisionalmente estos problemas teóricos, los fragmentos estructurales que se van transfiriendo serían unidades coherentes a nivel fonético, semántico o sintáctico (v. Chomsky 2000, Citko 2014). De hecho, las fases parecen comportarse como una unidad frente a ciertos fenómenos sintácticos como el *fronting*, el *pseudoclefting*, la elipsis etc. Junto a este tipo de pruebas (similares a las de identificación de sintagmas, v. § 10.4.4), nos encontramos con el movimiento cíclico como un buen indicador de los límites de fase (Chomsky 2000). La explicación es que la congelación de los complementos de fase transferidos obliga a las piezas en movimiento a trascender cada una de las fases para evitar quedar atrapadas (esto es, congeladas en el complemento transferido). Así, se dice que los elementos movidos van de borde en borde de fase, como en tiempos se dijera, dentro de la teoría X', que el movimiento de constituyentes va de especificador en especificador (aterrizando, según algunas teorías, en posiciones relacionadas a nudos linde, v. Bosque y Gutiérrez-Rexach 2009). De esta forma, otro criterio para definir las fases es identificar aquellos fragmentos de estructura en los cuales aparece un elemento movido.

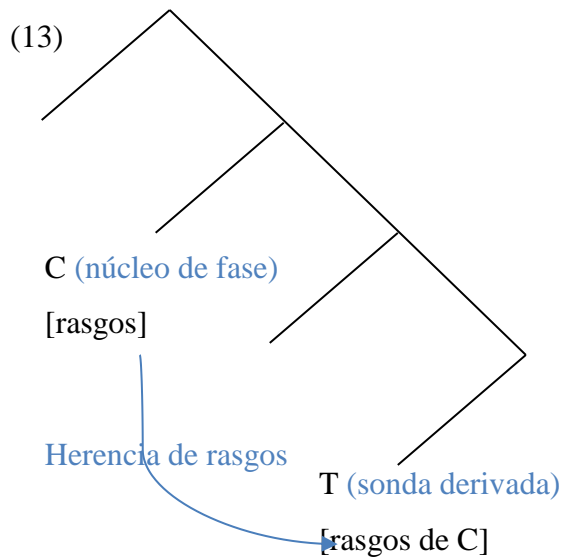
Una propiedad clave es que el núcleo podría actuar como un elemento categorizador (Chomsky 2001, 2004). A este respecto, se ha argumentado que el núcleo podría ser un núcleo funcional que, a lo morfología distribuida, categoriza el núcleo sustantivo o la raíz que tiene en su complemento, dándose un formato F-SX (Chomsky 2001). Es posible, incluso, que el núcleo de no-fase deba ascender al núcleo de fase (Chomsky 2004), lo cual permitiría tratarlos como una unidad (como C junto con T, y v* junto con V).



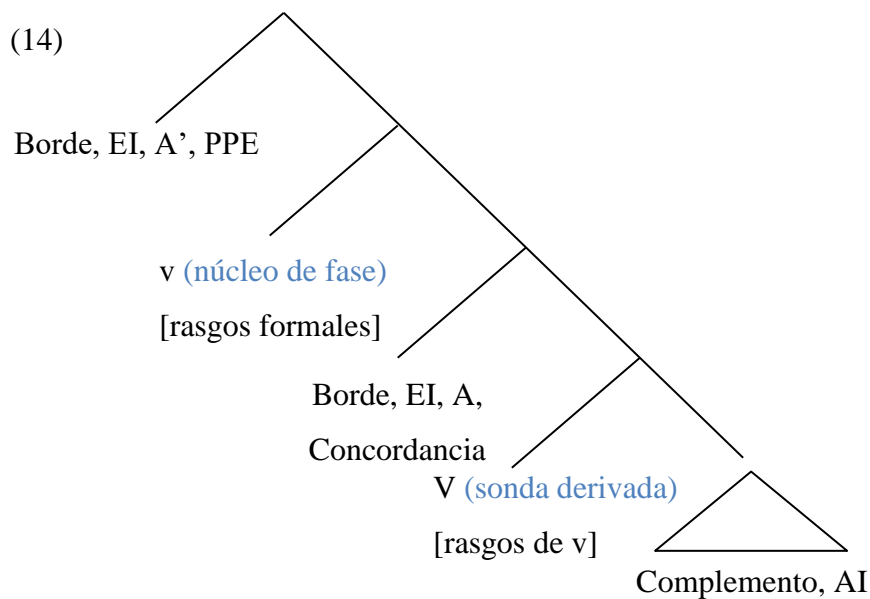
Esto aproxima la teoría a una definición de las fases más neutra categorialmente en que podemos encontrar núcleos en una amplia diversidad de sintagmas. En este formato se puede detectar el germen de teorías posteriores, como la alternancia de fases y no fases en la estructura oracional (Richards 2011) o la relación entre la transferencia y el etiquetado (Narita 2012, Boeckx 2015). Si recuperamos la estructura de (6), simplificada, observaremos la correspondencia entre fases y categorías funcionales (por razones expositivas, se omiten los especificadores, cuyos núcleos se podrían analizar al mismo tiempo como núcleo de fase o núcleo de sintagma funcional según el enfoque).



En la misma línea, se ha hablado del núcleo como sonda, que precisa el núcleo de no-fase situado en su complemento para deshacerse de rasgos. Este se convertiría en una sonda derivada, por heredar los rasgos formales del núcleo de fase, en la operación conocida como *feature inheritance* (Chomsky 2007, aunque se plantea de forma poco convincente teóricamente, como un recurso con que salvar problemas que surgen de la validación de rasgos formales, v. Epstein y Seely 2002). Con la herencia de rasgos se introduce de soslayo, mal que pese, un nuevo mecanismo sintáctico en una corriente que pretende reducirlo todo a *ensamble*, sin llegar a reconocerse lo suficiente su estatus de mecanismo novedoso (v. Gallego 2014 para una solución potencial).



Aparte, la distinción entre la posición de las sondas originales (núcleo de fase) y la sonda derivada (núcleo de no fase seleccionado) permite capturar la distinción, respectivamente, entre el movimiento A (especificador de la sonda derivada) y A' (especificador de la sonda original) (Chomsky 2007), al que Chomsky (2008) volverá a atribuir el PPE. De forma similar, en Chomsky (2004), se defiende que la interpretación semántica de las piezas ensambladas se corresponde con diferentes posiciones en relación al núcleo de fase (Chomsky 2004). Las que están en su complemento reciben una interpretación más temática y las que están en el borde, más superficial. El resultado es que el formato de las fases, si juntamos todo lo discutido, deriva hacia algo neutro como lo siguiente (v. Ramírez 2013):



La herencia de rasgos supone el culmen de la importancia creciente que han ido cobrando los rasgos sintácticos en la teoría de fases (acentuándose desde Chomsky 2001, agravándose en Chomsky 2004 y radicalizándose en Chomsky 2007), tanto que han pasado a considerarse como desencadenantes de la propia transferencia cíclica (Gallego 2010) o, en general, de toda la generación de estructura (Boeckx 2008). Los rasgos se conciben como algo vírico que debe ser eliminado cuanto antes y se propone que para ello se validan y se transfieren inmediatamente. De esta forma, se sigue sobrecargando la operación de transferencia, los núcleos de fase vienen a ser sondas con rasgos formales y el tamaño de las fases acaba dependiendo de los puntos en que encontramos rasgos formales, que fuerzan la transferencia. Esto conlleva una amplia variación en las fases de una lengua a otra, si es cierto que esta depende de la diferente fijación de rasgos formales en las piezas léxicas (v. Gallego 2010, Ramírez 2013).

Por todo lo dicho, una definición neutral o acategorial de fase lleva a pensar en muchísimos núcleos de fase a lo largo de una derivación (v. Bošković 2012 para la hipótesis de que la proyección más alta que extiende toda categoría léxica es una fase, y v. Gallego 2010 para el comportamiento de fase de T y P). Los rasgos formales, la categorización, la posición (especificador) donde mover cíclicamente las piezas, el grado de coherencia semántica, la movilidad, la posibilidad de elidirse, la concordancia, etc. son propiedades que se encuentran, en general, en toda clase de sintagma (siempre y cuando no se abuse de enfoques cartográficos o nanosintácticos). En consecuencia, en § 10.4 se desarrollará la idea de que tanto la teoría de las fases reciente como la de los sintagmas (de PyP) están tratando de representar las mismas propiedades de la estructura sintáctica. Es razonable, por ello, unificar ambas teorías. Con todo, los autores se niegan a aceptar las consecuencias lógicas de sus postulados teóricos. Por ejemplo, en Chomsky (2005), a pesar de que siguen apuntándose, con Svenonius (2004), paralelismos entre C y D (que se pueden remontar a antes, v. Fukui 2001), se sigue reacio a la ampliación del repertorio de categorías que serían fases (más allá de C y v*). Algo similar ocurre con el movimiento, cuando Chomsky (2005) nota el problema de que se produce a más posiciones que los bordes de fase tradicionales y, por lo tanto, debería ampliarse el número de fases.

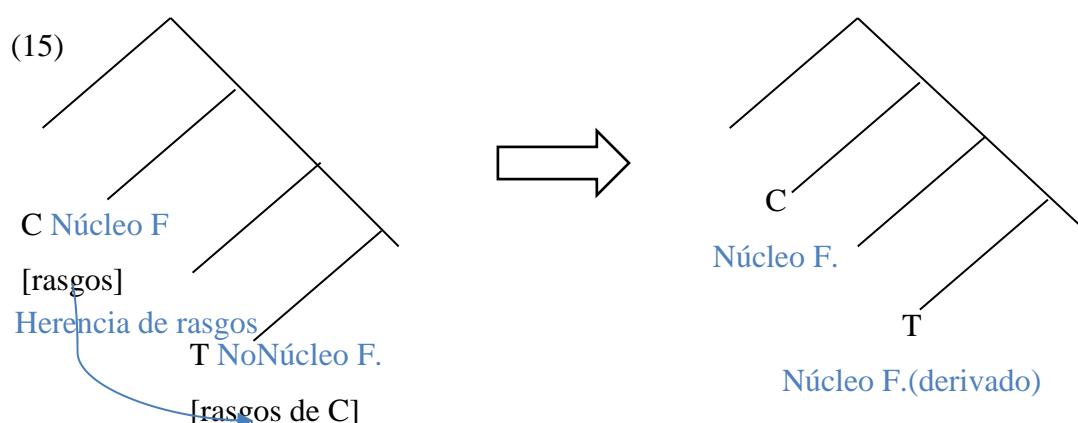
10.4 Unificando fases y sintagmas. La ciclicidad de la teoría lingüística

Podría decirse que la lingüística teórica es de carácter cíclico, igual que las derivaciones (sintácticas) que trata de explicar. Uno tiene la impresión de que abandonamos la teoría X' y empezamos a dibujar diagramas desnudos, para volver a explicar, a partir de la teoría de fases, las propiedades de la X' que perdimos en el proceso. Así pues, conocer las propiedades acerca del lenguaje advertidas en etapas tempranas del generativismo (v. § 2.2) es de utilidad para comprender qué se intenta explicar al cabo de los años con una nueva terminología. De hecho, la estructura de frase escueta, si no se dispone de un bagaje previo y se conoce una serie de ideas que se dan por sentadas en relación con la estructura sintáctica, dice más bien poco a cualquier neófito. Igualmente, el *ensamble*, por sí solo, se queda corto en las explicaciones y, debido a esto, va aumentando el número de trabajos que asocian las fases a la proyección, la concordancia, el movimiento ... que podían visualizarse de una forma más o menos clara en, por ejemplo, PyP, pero que en el Minimismo cuesta reflejar. Así las cosas, a continuación se discutirán con algo más de detalle algunos formalismos que en la teoría de fases están intentando capturar propiedades que antes se explicaban en términos de sintagmas o que tratan uniformemente núcleos de fase y de sintagma. La discusión se basará principalmente en la herencia de rasgos, la relación entre la transferencia y la *proyección* (o etiquetado), el movimiento de constituyentes y núcleos, y las pruebas para identificar fases y sintagmas.

10.4.1 La unidad núcleos de fase y núcleos derivados a partir de la herencia de rasgos. Los rasgos definiendo fases.

Una posibilidad de unificar la estructura de fases y la sintagmática pasa por reinterpretar la herencia de rasgos (v. Gallego 2014). Como vimos en § 10.3, la teoría de fases chomskyana defiende que los rasgos de los núcleos de fase se transfieren al núcleo de sintagma (no fase) inmediatamente inferior en la jerarquía. Incluso se dice que los rasgos sintácticos de la sonda derivada dependen de la existencia del núcleo de fase, de modo que, sin este último, el núcleo del sintagma que los hereda carecería de rasgos

sintácticos relevantes. Si los elementos se identifican por los rasgos que los constituyen y tanto el núcleo de fase como la sonda derivada tienen los mismos rasgos sintácticos relevantes (cualquiera que sea el proceso que intenta reflejarse con la “herencia”), la deducción lógica es que ambos elementos actuarían sintácticamente igual o como una unidad (v. Gallego 2014). De este modo, lo que originalmente fuera o pareciera sólo un núcleo de sintagma y no un núcleo de fase (la futura sonda derivada) acaba siendo también un núcleo de fase. T, por ejemplo, desencadena operaciones como la concordancia y el EI que, por definición, desencadenarían los núcleos de fase, y acaba justamente con los mismos rasgos formales que, por defecto, se encontrarían en el núcleo de fase C.

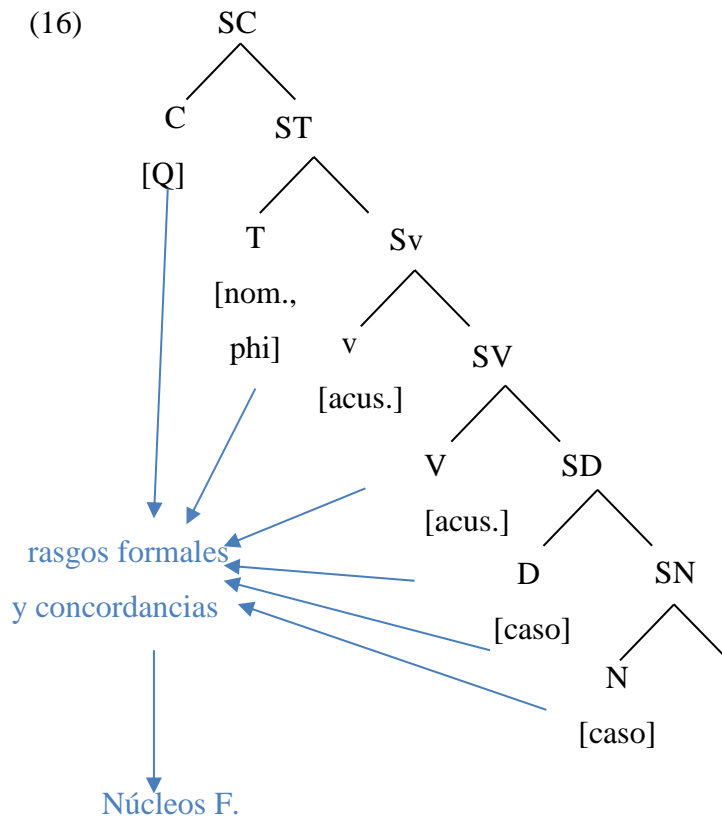


Puesto que parece existir una alternancia entre núcleos de fase y núcleos de no-fase en la estructura oracional (Richards 2011, aunque la idea podría rastrearse en la alternancia de categorías funcionales y léxicas notada mucho antes con la Teoría X’), si todos los no-núcleos heredan las propiedades del núcleo de fase que los domina, el resultado es que desde abajo hasta arriba de la estructura oracional nos topamos con núcleos que acaban siendo, tarde o temprano, núcleos de fase.

10.4.1.1 Los rasgos definiendo fases y ampliando su número.

Aparte de la ampliación de núcleos de fase que implica el concepto de la herencia de rasgos, es posible ampliar (y mucho) el número de categorías que constituyen fases en atención al criterio con que son definidas en los desarrollos más recientes de la teoría: la presencia de rasgos formales (v. Gallego 2010). Si los rasgos formales causan la transferencia (v. § 10.3) y pueden encontrarse en la mayoría de sintagmas, la conclusión es que la transferencia se desencadena en todos los sintagmas donde se validan rasgos formales y que, por consiguiente, todos estos constituyen fases. Por ejemplo, si nos basamos en la concordancia (que consistiría en validar rasgos formales), nos encontramos

que esta operación se produce en la mayoría de especificadores, ya sea para validar rasgos de caso, *phi*, otros más formales como Q, etc. De hecho, cualquier categoría que pueda albergar un especificador, si estos se conciben como una posición en que se produzca este tipo de relación sintáctica, debería ser una fase. Siendo este caso el de la mayoría, si no, todos los sintagmas, un repertorio mucho más amplio de los sintagmas típicamente considerados fases debería ser la proyección de un núcleo de fase⁶⁷.



Aparte de la incomprendida naturaleza de los rasgos formales, esta hipótesis plantea un problema: los rasgos formales son, según teorías recientes, la causa de la variación entre lenguas (v. Borer 1984, Kayne 2010). Al variar estos entre las lenguas, las fases deberían variar de una lengua a otra, lo cual es problemático si reflejan una propiedad universal del procesamiento (v. Gallego 2010). Aunque siempre quede el recurso de postular la existencia de categorías y rasgos sin realización fonética (pero presentes en la sintaxis), esto abriría la puerta a que lenguas con una morfología pobre se procesaran de forma muy distinta y a que fueran menos “eficientes” si las fases fueran un

⁶⁷ Los detalles son superfluos en el diagrama de (16). No se entra en cuestiones como si el caso tiene su propia proyección, si es tiempo, etc. sólo se pretende señalar la posibilidad de encontrar rasgos formales o el establecimiento de relaciones de concordancia en todas las proyecciones.

mecanismo que redundara en la eficiencia computacional del sistema (por no hablar de la empresa de explicar toda la “microvariación” en términos de fases, v. Ramírez 2013).

10.4.2 La relación entre la transferencia, el núcleo de fase y el (problemático) *etiquetado*. La sobrecarga del mecanismo de transferencia.

A pesar de la estrecha asociación o sustitución que se realiza en algunas teorías actuales entre la transferencia y el *etiquetado*, no creo que las dos operaciones puedan unificarse. Por lo tanto, las seguiré tratando como mecanismos independientes y necesarios del lenguaje (v. Hornstein 2009). Contra la unificación de la transferencia y el *etiquetado* puede argumentarse que la naturaleza misma de las operaciones es dispar: no es lo mismo ampliar la información y disponibilidad en memoria de un elemento (que *proyecte*, v. § 9.3), que comunicarlo a otras estructuras (*transferirlo*, v. § 9.4). Además, son operaciones que se aplican a elementos diferentes: lo que proyecta o se etiqueta es el núcleo, mientras que lo que se transfiere es el complemento. Incluso podría decirse que un núcleo es un núcleo gracias a que proyecta, y un complemento es un complemento gracias a que es transferido. Aun con todas estas precauciones, bucear en la (confusa) relación entre el *etiquetado* y la *transferencia*, ya apuntada en Chomsky (2001), nos permite acercarnos los núcleos de fase a los núcleos sintagmáticos y, por extensión, estar más cerca de unificar sintagmas y fases.

10.4.2.1 El menosprecio por el *etiquetado* y la vacuidad de mecanismos.

En el estadio teórico actual del generativismo, en el que se intenta reducir todo mecanismo a *ensamble*, queda poco espacio para la proyección o el etiquetado de elementos (v. Chomsky 2013). Con Chomsky (1995), queriéndose eliminar niveles sintagmáticos o símbolos teóricos demasiado artificiales, se obtuvo como efecto secundario un menosprecio de la propiedad (universal) que capturaban algunos de esos artificios teóricos, como la endocentricidad de los elementos sintácticos (categorizados de determinada forma), que debe ser producto de cierto mecanismo. Así pues, se ha llegado a un punto en que se cuestionan propiedades (otrora) fundamentales del lenguaje y de las estructuras que se generan. El propio Chomsky (2013:45) afirma: “Therefore

there is no concept SPEC [specifier], structures need not be endocentric, and projection (like order) is a distinct property”. La proyección pasa a ser sólo una noción interna a la teoría y dejamos de contar con el *etiquetado* (parte de la *proyección* según se concibe aquí) para saber qué tipo de objeto tenemos e identificar los elementos prominentes de los sintagmas(/fases). De esta forma, el *etiquetado* se achaca a una suerte de algoritmo automático en que el núcleo es una sonda o una pieza léxica que se identifica instantáneamente (topándose la teoría con problemas en la combinación de elementos complejos y en el caso de las dos piezas léxicas que podrían arrancar la derivación, v. Chomsky 2013). Se cree que así deja de existir el *etiquetado* como un mecanismo independiente y se convierte en algo automático, pero lo que quiera que sea el algoritmo del que echa mano el teórico, no puede ser un proceso vacío a nivel cerebral, por lo que se valdrá de mecanismos para aplicarse. Podemos menospreciar el *etiquetado* dentro de los formalismos de la teoría lingüística, pero eso no invalida su entidad como operación, que debe estar implementada de una forma u otra en el cerebro. Usando un paralelismo, podemos pensar en el algoritmo de multiplicación empleado en el colegio. La multiplicación no consiste fundamentalmente en eso (pudiendo depender de algo más básico conceptual y computacionalmente, como la suma y, en la naturaleza, si se permite la expresión, dios sabe qué), hay mucho procesamiento cerebral entre la entrada y la salida de información del algoritmo; además hay una diferencia crucial: en matemáticas se llega siempre a un resultado “correcto”, pero nadie puede usar el algoritmo propuesto en lingüística e identificar el núcleo “correcto” en combinaciones como SX-SX o X-X⁶⁸.

⁶⁸ En Chomsky (2013) se recurre a una cantidad considerable de soluciones o asunciones, complejas y nada directas (más bien, artificiosas), como el movimiento de uno de los objetos sintácticos en casos de XP-XP, que las copias de los elementos movidos son invisibles al algoritmo, que los dos elementos pueden dar la misma etiqueta en casos de X-X, que el ensamble durante el movimiento cíclico no precisa de etiquetado, que el algoritmo puede inspeccionar el interior de los objetos en busca de rasgos prominentes, que hay casos distintos de ensamble como *pair-merge* al estilo de la adjunción, que en situaciones de X-X uno de los elementos es un objeto sintáctico complejo donde un rasgo funcional destaca como lo único visible en contraste con la raíz, etc. De forma que o bien el etiquetado consiste en una operación complejísima, o bien la sintaxis debe complicarse muchísimo para que el etiquetado sea simple (habiendo, por lo tanto, más operaciones y entresijos que un simple *merge* acompañado de un algoritmo sencillo).

10.4.2.2 La sobrecarga del mecanismo transferencia (con el etiquetado).

Algunas teorías actuales, especialmente relacionadas con las fases, prescinden del *etiquetado* recurriendo a algoritmos cuyo correlato mecánico no queda claro (v. Gallego 2010) o intentando obtenerlo a partir de otra operación: *transferencia* (v. Narita 2012, Boeckx 2015). A mi juicio, la *transferencia* consiste en un sentido estricto en la comunicación de la información a otros sistemas, de modo que si encontramos otras operaciones imprescindibles, deberíamos postular la existencia de otros mecanismos, y no sobrecargarla de suboperaciones. El germen de esta asociación entre la transferencia y el *etiquetado* puede rastrearse, como mínimo, en la teoría de fases de Chomsky (2001) (v. § 10.3). Se propuso entonces que los núcleos de fase podrían ser elementos categorizadores de la raíz (*root*) que toma como complemento. En este sentido, puede entenderse que los núcleos de fase son responsables tanto de la transferencia como de la categorización de elementos (en su complemento). Asimismo, la transferencia podría erigir en núcleo de fase el elemento que la desencadena, por lo que no sólo se estaría dando una identidad al complemento (*root*), sino al núcleo de fase.

A partir de esas ideas es posible interpretar que, si los núcleos de fase son responsables de la transferencia y el *etiquetado* no tiene entidad como mecanismo independiente, el *etiquetado* podría ser desencadenado por el núcleo de fase y achacarse o considerarse parte del mecanismo de transferencia. En esta línea, en el modelo de Boeckx (2015), se postula que el *ensamble* genera conjuntos simétricos, mientras que la transferencia crea las asimetrías necesarias para que los elementos sean interpretables. Así, la asimetría en la transferencia permitiría categorizar lo no transferido como fase, y lo transferido como no-fase. Respecto a los núcleos de fase, se distingue entre los que tienen complementos complejos (núcleos de fase transitivos) y los que tienen complementos simples (núcleos de fase intransitivas). Por lo tanto, de forma similar a Chomsky (2001), la transferencia permitiría diferenciar entre la identidad del complemento de fase y la del núcleo.

En la misma línea, en Narita (2012) la *transferencia* se utiliza para explicar el etiquetado cuando se combinan elementos complejos (SX SY) (en otras circunstancias, un algoritmo identifica automáticamente el núcleo de la pieza léxica simple). La idea fundamental es que el *ensamble* necesita de un mínimo de una pieza léxica, por lo que los objetos sintácticos complejos deben simplificarse para combinarse: cuando se transfiere

el complemento de uno, se simplifica el objeto en un ítem léxico, o, dicho de otro modo, se desembaraza del exceso estructural que impedía su combinación (asociándolo al *edge feature*). Así pues, en Narita (2012) la transferencia cíclica está detrás la recursividad, de la misma manera que en el modelo X' lo está la *proyección*.

10.4.2.3 Replanteamiento.

Entre la maraña de ideas que cuestionan la existencia del *etiquetado*, la transferencia aparece como responsable de la categorización o de la recursividad en las estructuras sintácticas, etc., pero sigue sin quedar clara la relación entre ambas operaciones: si son la misma, si son diferentes o existen si siquiera, si las desencadena el mismo elemento, etc. La idea fundamental es que el núcleo de fase está asociado a la proyección y a la recursividad, que a su vez pueden asociarse a una propiedad definitoria de las estructuras sintácticas: la endocentricidad. Si recordamos Chomsky (1965), eran los nudos no terminales (cuya regla de reescritura podía contener un elemento de la misma naturaleza) los elementos que permitían la recursividad (v. § 11.2.3), y en PyP, los núcleos (X) expresaban la endocentricidad. Lo que se está intentando obtener a partir de la (sobrecarga de) la transferencia es, en última instancia, identificar elementos prominentes en la estructura (etiquetar núcleos en oposición a no núcleos) que hacen de enlace entre los demás elementos (facilitando la recursividad o la incrustación de estructura). Podríamos decir que las teorías de están buscando un núcleo en una estructura sintáctica (endocéntrica) que han perdido la capacidad de identificar.

Cuando se habla de que los núcleos de fase identifican al complemento, puede que en el fondo se esté recuperando la relación básica de “objeto de” que en la Teoría X' se establecía entre el núcleo y el complemento. Asimismo, cuando se abordan los problemas de tipo SX-SX, ya sea hablando de una transferencia forzosa o de la coexistencia de diferentes núcleos de fase, puede que se esté volviendo sobre los mismos problemas que plantean los especificadores (v. Kayne 1994) y que se trataron de explicar en la teoría X' mediante el *spell-out* múltiple y las derivaciones en paralelo de Uriagereka (1999). En definitiva, asociar el núcleo de fase al *etiquetado* y a la recursividad viene a ser recuperar la idea de que existe un elemento prominente que identifica la estructura y actúa de nexo entre los demás: el núcleo de la estructura endocéntrica, si lo expresáramos a partir de la Teoría X'.

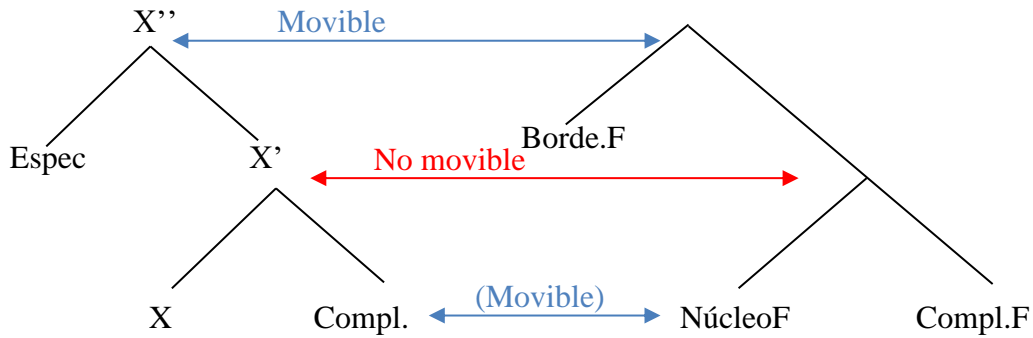
Así las cosas, una forma de solucionar todos estos conflictos teóricos podría consistir nuevamente en la unificación de sintagmas y fases. A la luz de esta hipótesis, la *proyección* y la *transferencia* podrían entonces aplicarse “simultáneamente”, si entendemos por simultáneo algo que ocurre a nivel de sintagma y que trabaja sobre el conjunto de elementos ensamblados que se encuentra en el GW. La *transferencia* y la *proyección* se aplicarían a objetos distintos de ese conjunto y darían distintos resultados: la *proyección* se aplicaría al núcleo, que actuaría de puente entre estadios derivacionales (lo cual recuerda el modelo de Narita 2012) gracias a que permanece más tiempo en el GW, y la *transferencia* se aplicaría a los elementos que se comunicarían a otro sistema, pasando a constituir el complemento (e identificándose así como tal, v. Chomsky 2001, Boeckx 2015). La idea de que la transferencia busca crear una asimetría entre elementos combinados (v. Boeckx 2015) puede no ser más que una reformulación del viejo concepto de subcategorización, que introducía asimetrías en la combinación de elementos al considerar que uno de ellos seleccionaba o necesitaba a otro más independiente. La sensación de que son simultáneas podría deberse a que ambas operaciones están sujetas al mismo sistema de control ejecutivo, que gobierna los procesos de un mismo GW (v. § 9.4), seleccionando como “relevante” el núcleo frente al complemento (v. § 9.3).

10.4.3 El movimiento de constituyentes y núcleos y las fases.

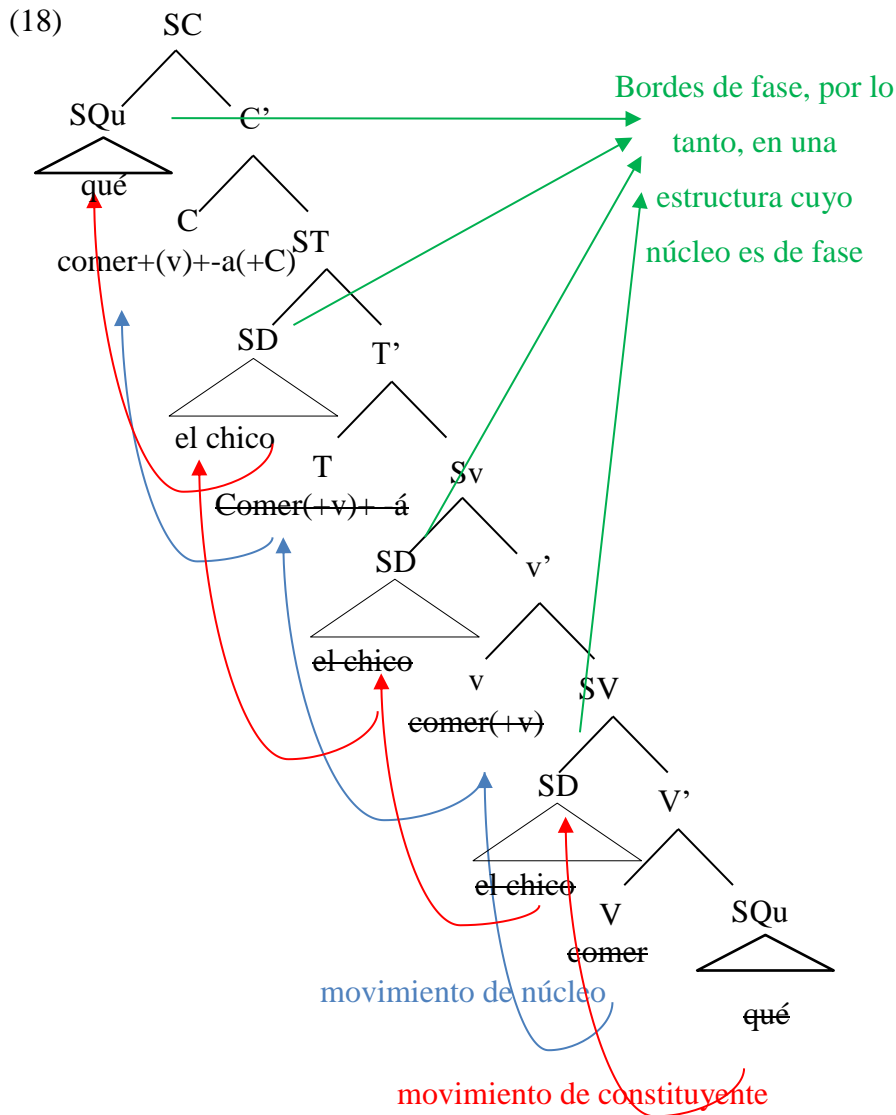
Tanto con fases como con sintagmas, lo que serían las proyecciones intermedias (núcleo+complemento) parecen insensibles al traslado. De los sintagmas sólo puede moverse el núcleo o una proyección máxima (es decir, el sintagma al completo), mientras que un conjunto formado por el núcleo y el complemento y que excluyera el especificador no podría moverse (Chomsky 1995). De la misma forma, se puede desplazar la fase al completo o sólo el núcleo, pero no se movería el equivalente a la proyección intermedia, que sería el núcleo de fase junto con el complemento y en exclusión del especificador o borde de ese núcleo. Haciendo un análisis en la línea de Kayne (1994) y considerando que el relativo (núcleo de fase C) y la conjunción (supuesto núcleo de no fase Conj, v. Bosque y Gutiérrez-Rexach 2009) encabezan sus propias proyecciones y relacionan, en términos muy generales, el especificador con su complemento, en (17) podemos observar que es imposible trasladar proyecciones intermedias cuando las focalizamos (en (17a-b)

se parte de una construcción de base como “quiero la manzana que comes”, y en (17c-d), de “quiero manzanas y patatas”).

- (17) a. *La manzana que comes* quiero [sc ~~la manzana~~ [c' ~~que comes~~]].
 b. * *que comes* quiero [sc ~~la manzana~~ [c' ~~que comes~~]].
 c. *Manzanas y patatas* quiero [sConj ~~manzanas~~ [Conj' ~~y patatas~~]]
 d. * *Y patatas* quiero manzanas. [sConj ~~manzanas~~ [Conj' ~~y patatas~~]]



Además, como viene a defender Müller (2004, 2011), si los elementos desplazados aterrizan en el borde de fase y si hay huellas en los especificadores de (casi) todos los sintagmas (v. Lahne 2009), todos los especificadores de sintagma deben ser bordes de fase y el núcleo del sintagma debe ser un núcleo de fase (en (18) se refleja también el movimiento de núcleos).



Müller (2004, 2011) argumenta, en contra de las fases clásicas, que los dominios de *spellout* no se corresponden con las fases. En relación al movimiento, esto significa que aunque, en teoría, desplazemos sólo los complementos de fase, parece que lo que se desplaza es una fase al completo. Una solución puede ser que, si todos los sintagmas vienen a ser fases, toda fase al completo sea el (sintagma) complemento de un núcleo de fase que la domina, por lo que sería una unidad transferida y podría moverse de la misma forma que lo haría un sintagma (complemento de otro).

Asimismo, en el traslado de núcleos se observa algo parecido a este movimiento de proyecciones máximas de especificador(/borde) en especificador(/borde) de sintagma(/fase). De la misma forma que el movimiento de un SX es cíclico y no parece poder saltarse ningún sintagma/fase hasta alcanzar su destino final, el traslado de núcleos (X) parece fuertemente cíclico y local, de modo que se debe pasar por el núcleo

inmediatamente superior en la jerarquía (18). Una explicación sencilla es que sigue el mismo principio que el movimiento de constituyentes complejos (capturado, si se quiere, por la PIC), de modo que X va de núcleo de fase(/sintagma) en núcleo de fase(/sintagma) para evitar ser transferido demasiado pronto en la derivación (y quedar congelado).

El traslado de núcleos también puede apoyar la idea de que núcleos de sintagma y núcleos de fase conforman una unidad, como se propusiera en relación a la herencia de rasgos (v. Gallego 2014). Chomsky sugiere que el núcleo de no-fase podría ascender al núcleo de fase para categorizarse (v. § 10.3), como si, a lo morfológica distribuida, una pieza con carácter sustantivo ascendiera a una categoría funcional (v. 11). De esta forma, ambos elementos podrían acabar constituyéndose en una unidad. En una línea similar, Gallego (2010) defiende que el movimiento de núcleos puede estar detrás del comportamiento de fase de núcleos de sintagma que, *a priori*, no serían de fase. Este es, por ejemplo, el caso del ascenso de v^* a T, que provoca lo que el autor denomina *phase sliding*: si T pasa a comportarse como una fase debido al ascenso de v^* , y si las entidades pueden definirse a partir de su comportamiento, T debería considerarse una fase (v. Gallego 2010 para detalles, la relación con las islas, etc.).

10.4.4 Pruebas de fase y pruebas de constituyente.

Las pruebas que se utilizan para identificar las fases son similares, o iguales, a las que identifican constituyentes (v. § 10.2). Por lo tanto, ya sea con objeto de discriminar fases o de discriminar sintagmas, el resultado de aplicar una misma prueba será que identificaremos el mismo objeto o estructura sintáctica. Tomando como referencia las pruebas de identificación recogidas en Citko (2014), de las fases se dice que deberían ser, fonéticamente, objetos que pueden aislarse. Igualmente, se utiliza como prueba de constituyente el hecho de que un fragmento de estructura pueda utilizarse como respuesta a pregunta, lo cual viene a equivaler a estar aislado fonéticamente. Asimismo, se ha defendido que las fases deberían ser estructuras con la capacidad de moverse como una unidad en casos de *fronting*, *extraposition*, *(pseudo)clefting* ... De esta forma, bajo tecnicismos, nos referimos al hecho de que las fases son fragmentos de estructura que pueden sufrir la operación de movimiento, que es la misma prueba de desplazamiento que se utiliza para identificar sintagmas.

También se considera que el complemento de los núcleos de fase puede ser elidido. Aunque la relación con la prueba de constituyentes de elipsis no sea aquí tan

directa, es posible establecer paralelismos. Antes se ha comentado la posibilidad teórica de que toda fase sea complemento de otra (salvo la última de la derivación) y que todo núcleo de fase es también núcleo de sintagma. De ser así, la elipsis podría afectar igual a fases y a sintagmas, siendo ambos fragmentos estructurales que harían de complemento de un núcleo (de fase y de sintagma). Por otro lado, existen otras pruebas de carácter más técnico o interno a la teoría. Un criterio para identificar un núcleo de fase es si una pieza puede moverse e interpretarse en su borde (Citko 2014). La posición de especificador donde se mueven e interpretan elementos es también una propiedad de los sintagmas. Otra prueba interna a la teoría es que las fases son un dominio para la validación de rasgos formales. Este puede ser igualmente el caso de todos los sintagmas, según la opción teórica que adoptemos, donde se podrían validar multitud de rasgos abstractos, que guiarían la derivación aunque a menudo no se realizaran fonéticamente, y que motivarían, incluso, la misma aplicación de *ensamble* (v. Boeckx 2008).

Así las cosas, parece que mediante algunas pruebas de constituyentes o de fases acabamos llegando por el mismo procedimiento a las mismas estructuras. Un argumento que podría esgrimirse aquí es que toda fase es también un sintagma, mientras que no todo sintagma es una fase. De esta manera, sería natural, buscando constituyentes, identificar algunas fases, y, buscando fases, identificar siempre sintagmas. No obstante, este contraargumento no explica que hagamos uso de las mismas pruebas para identificar fragmentos estructurales que deberían ser distintos, pero que responden igual. El caso donde esto es más visible es el movimiento. Si tanto fases como sintagmas son elementos (complejos) que pueden trasladarse, estamos ante una misma estructura o realidad, al margen del nombre que le demos.

De hecho, Bošković (2012) ha postulado una amplia cantidad de núcleos de fase a partir de la aplicación de pruebas similares a las de constituyentes, como la elipsis, la ciclicidad del movimiento y la anti-localidad (v. § 12.2). El autor concluye que la proyección más alta de las que extienden todas las categorías léxicas es una fase, de modo que adposiciones, determinantes, nombres, adjetivos, adverbios, verbos y tiempo acaban siendo fases (v. Gallego 2010). Si prescindimos de los trabajos minuciosos de cartografía y recuperamos una noción de los sintagmas más parecida a las finales de los 70 y principios de los 80 (antes de que las categorías funcionales proliferaran en más y más sintagmas), trabajos como Bošković (2012) sugieren que todo tipo de sintagma

(proyectado de una unidad léxica) es una fase, como si en la teoría X', la X fuera un núcleo de fase.

10.4.5 Unificación y conclusiones provisionales.

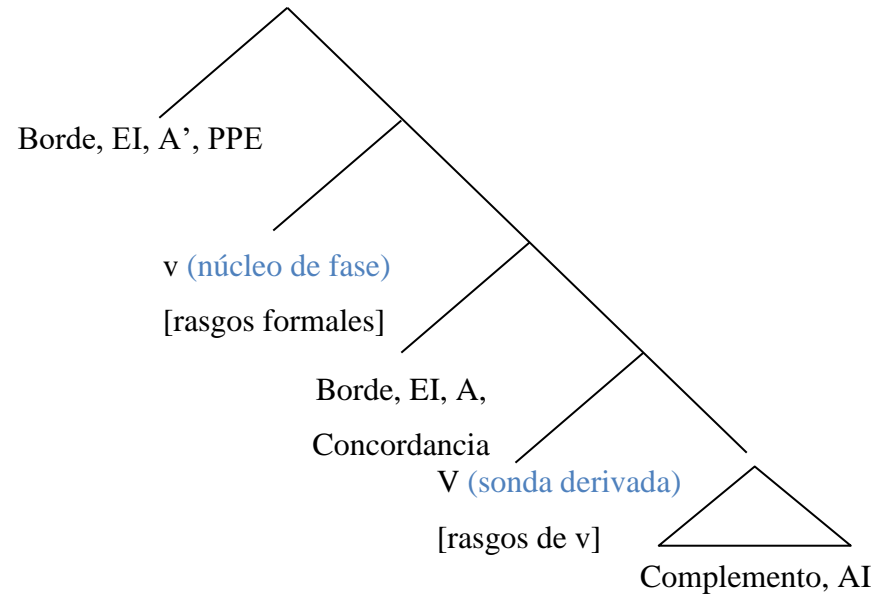
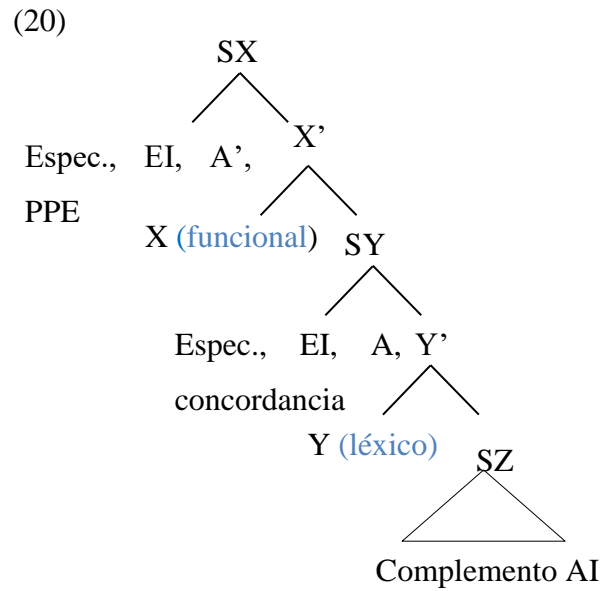
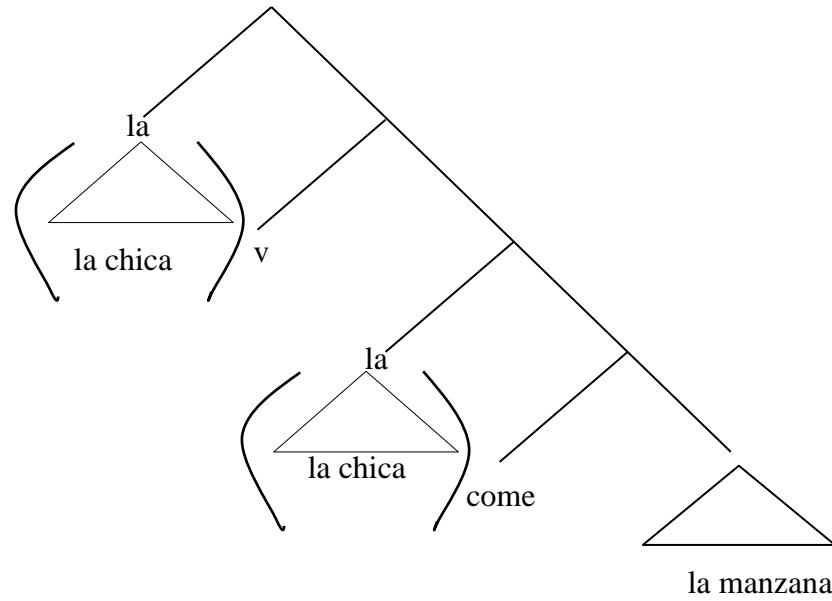
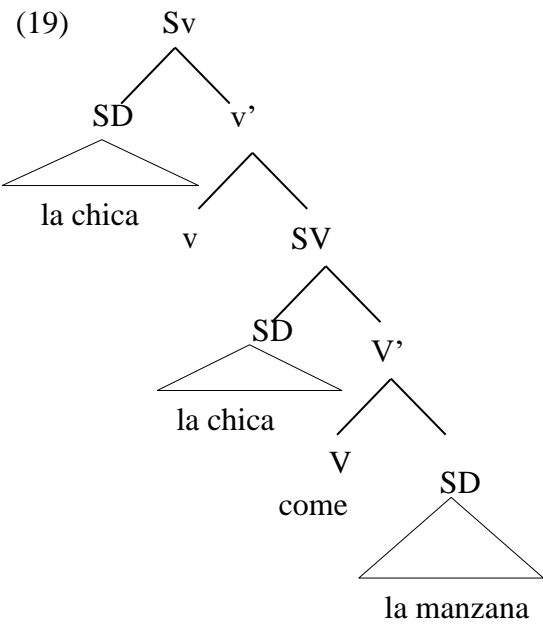
En las secciones precedentes, se han puesto de manifiesto fenómenos o argumentos de la teoría de fases que indican que los núcleos de fase reconocidos como tales y los supuestos núcleos de no-fase que los acompañan actúan como una unidad o de la misma forma. Para ello, se ha analizado la herencia de rasgos, la relación entre la transferencia y la proyección o el *etiquetado*, el movimiento local de núcleos (de fase o núcleos de fase), el movimiento de constituyentes(/fases) de borde en borde de fase(/sintagma), las diferentes pruebas de *phasehood* y de constituyentes, etc. Todo esto sugiere que no sólo los núcleos de fase son siempre núcleos de sintagma, sino que todos los núcleos de sintagma son núcleos de fase. De no ser así, nos topamos con problemas si aceptamos, por ejemplo, la hipótesis actual de que los núcleos de fase son los únicos activos sintácticamente o los que desencadenan las operaciones (v. § 10.3) porque los núcleos de no-fase o de sintagma tradicional se volverían, a ojos de la sintaxis, inexistentes. En cambio, con la unificación de fases y sintagmas se puede explicar que unas y otros comparten propiedades definitorias y respondan igual a ciertas pruebas (sintácticas), habiliten las mismas posiciones para el movimiento, sean inactivos en los niveles de proyección intermedia, etc.

Una manera de integrar algunas de las hipótesis citadas, especialmente la relación entre el movimiento de núcleos y la herencia de rasgos, la proporciona Gallego (2014). Este autor propone que los núcleos de fase y los núcleos de no-fase (la sonda derivada) son, en realidad, una misma unidad seleccionada del lexicón. Así las cosas, en el caso de C y T, ambos serían un mismo elemento con dos ocurrencias, generadas por movimiento⁶⁹. Tal unidad contribuye a entender la relación entre los núcleos de fase y el *etiquetado*, (v. § 10.4.2): si son el mismo elemento, nos encontraremos con que el núcleo

⁶⁹ Gallego (2014) deriva automáticamente la herencia de rasgos sin introducir nuevas operaciones: los rasgos de C y T, por ejemplo, se comparten simplemente porque son el mismo elemento, y no porque ninguno herede rasgos del otro. Se evita así, entre otros problemas, la contradicción de que se altere estructura ya formada, que los núcleos de fase y las sondas derivadas generen operaciones simultáneamente, o que las operaciones desencadenadas por la sonda derivada tengan que modificar estadios precedentes del procesamiento (Gallego 2014).

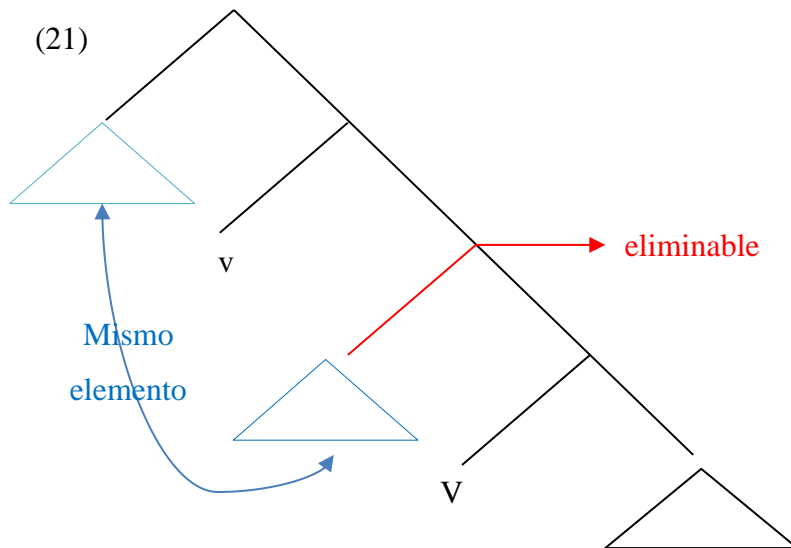
de fase proyecta siempre como lo haría un núcleo de sintagma, y con que el complemento (transferido) establece siempre la relación local básica de “objeto de”.

Así las cosas, agrupar el núcleo de fase y la sonda derivada puede extenderse a cualquier dominio donde se compartan rasgos (formales), que es potencialmente el de todas las categorías léxicas y funcionales en una concepción restringida y no cartográfica de la estructura sintáctica. Si, siguiendo los paralelismos de núcleos de fase y categorías funcionales establecidos en Chomsky (2001), comparamos la estructura de una fase acategorial delineada en § 10.3 con una estructura sintáctica en términos X' , la estructura resultante es sorprendentemente similar.

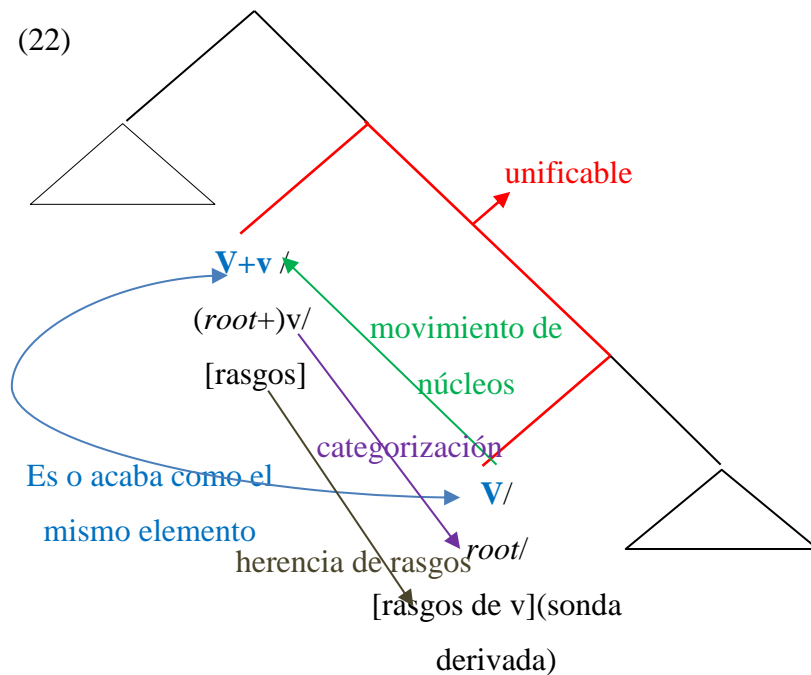


Nótese que el especificador de la categoría léxica y la funcional o de la sonda derivada y del núcleo de fase pueden ser el mismo elemento (por ejemplo, el AE): en ambos casos parece proceder de un espacio derivacional en paralelo, acaba en la misma posición, etc.⁷⁰. Si eliminamos esta redundancia y los unificamos, la estructura se simplifica:

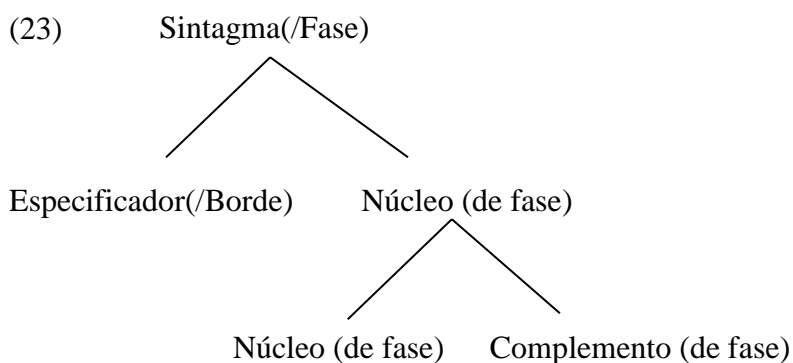
70 Esto parece implicar la pérdida de la distinción entre posiciones A y A', y, más en general, reducir las posiciones habilitadas para especificadores o bordes cuando, según los datos, habría casos en los que se necesita más de una. Por ejemplo, en (18), si en la interrogativa fusionamos SC y ST, nos topamos con dos elementos en el borde: el interrogativo y el AE, que estarían compitiendo por una misma posición, el borde de SC+T. Esto plantea problemas también en relación con la restricción de localidad tal y como se discute en § 12, conforme a la cual se prohibiría la coexistencia en dominios locales de múltiples elementos iguales, entre los que están los bordes. Una posible solución general es que estos elementos no se transfieren en el mismo ciclo derivacional, es decir, todo sintagma/fase cuenta con un único borde y un único elemento que puede ocuparlo. Por consiguiente, si parece haber dos bordes (uno para el interrogativo y otro para el AE), es que en realidad hay dos sintagmas/fases. Simplemente, basta postular la existencia de un nuevo dominio, como es práctica habitual en lingüística (que podría a su vez facilitar la distinción de A y A' en función de la altura que tuviera el elemento en la jerarquía). Esto no contradiría la unificación de sintagmas y fases defendida porque en los ejemplos utilizados, como (6) y (18), se ha adoptado determinada cartografía de la oración por razones expositivas, pero no significa que sea la correcta. Cuando se ha postulado la unificación, verbigracia, de SD+SN, las etiquetas categoriales se han usado con fines expositivos. Siempre se puede echar mano de algo más granulado (como Sn+(S)X). Cubrir a ese nivel de detalle la estructura y categorías de la oración no es el propósito aquí, sino detectar algunos patrones o constantes en la estructura sintáctica que trasciendan todas estas cuestiones más específicas, y que, por su universalidad, sean conciliables con propiedades aparentemente independientes de la mente y el cerebro. Mal que nos pese, no se trata de un problema específico de la tesis, sino nuevamente del sempiterno conflicto entre la adecuación explicativa y la descriptiva en lingüística: cuantos más datos intentemos acomodar, más nos crecerá la estructura sintáctica. Frente a ello, es necesario fijar un límite o, con todo el respeto a otros ámbitos de la lingüística, se deja de hacer sintaxis y se empieza a hacer morfología, reproduciendo el orden en el que los elementos se encuentran en determinada. Salvando las distancias, el objetivo aquí es buscar lo fundamental de las estructuras, como se pretendió hacer en tiempos con la teoría X' y lograr un modelo con coherencia interna. En esta línea, quiero evitar el picoteo interesado de recursos teóricos: como se discute en otros puntos, podría conservar la distinción de posiciones A y A', señalar que los sintagmas/fases constan de cinco elementos (borde del núcleo de fase, núcleo de fase, borde del núcleo derivado, núcleo derivado, y complemento del mismo), y recurrir a cinco ritmos para distinguirlos (*beta 1*, *beta 2*, *gamma* lento, *gamma* medio y *gamma* rápido); podría apelar a la codificación por fase incluso; o bien afirmar que los sintagmas (categorías léxicas) se corresponden con *theta*, mientras que las fases (o categorías funcionales), mayores y más lentas, con *delta*; etc. Puede que lograra cierto grado de verosimilitud, pero sería hacer trampa. Proponer una implementación teóricamente atractiva de una estructura a lo sintagma/fase estimo que es ya lo suficientemente ambicioso, y que aventaja significativamente el nivel de detalle de modelos neurolingüísticos y de parte de la propia lingüística moderna. Mejor perder capacidad descriptiva por el camino, a forzarla con subterfugios y a expensas de las hipótesis en las que creo más firmemente.



Arriba da la impresión de que una fase se corresponde con dos sintagmas, pero existe la posibilidad teórica de reducir la estructura y hacer que V sea, a lo morfológica distribuida, el elemento categorizador de una raíz de contenido conceptual. Lo expliquemos en estos términos, conforme a la herencia de rasgos, o como traslado de núcleos, el caso es que ambos elementos son o acaban siendo una misma unidad.



Lo que tenemos arriba es, al fin y al cabo, el esquema estructural ternario que se explicaba con la teoría X'.



Se podría contraargumentar que he integrado interesadamente las categorías funcionales y las léxicas, simplificando en exceso la estructura sintáctica y que el diagrama correcto sería, en fin, otro. A ello puede responderse con otra pregunta ¿al hablar de un análisis “correcto”, a qué análisis, en qué modelo, de qué autor y a qué momento nos referimos? Antes de que se desglosaran los sintagmas en categorías funcionales, etc., las categorías léxicas y las funcionales se integraban en un solo sintagma. En cambio, desde un enfoque cartográfico posterior, la estructura de arriba, en vez de simplificarse, se ampliaría al extremo, de modo que una fase podría equivaler tranquilamente a 4 o 5 sintagmas (de caso, número, definitud, género, etc.). Siguiendo otra línea del desarrollo teórico, uno podría acabar frente a un diagrama desnudo en el que costaría aislar sintagmas, fases o cualquier constituyente más estructurado que un mero conjunto de elementos. Por lo tanto, lo que en determinado momento puede parecer incorrecto, en otro estadio teórico sería totalmente legítimo. Asimismo, la reducción de las fases de un formato a lo Chomsky (2008) a un formato a lo Chomsky (2000) tendría perfecto sentido tiempo atrás. Con mayores tecnicismos y argumentos internos a la teoría, una propuesta similar a la presente se puede rastrear ya en otros trabajos, donde se defiende que todos los sintagmas son fases (Lahne 2009, Müller 2004), o, menos radicales, que amplían generosamente el número de fases en comparación con las pocas que se identifican tradicionalmente (v. Bošković 2012). Asimismo, tanto en Boeckx (2008), analizándola en términos de sintagmas, como en Boeckx (2015), analizándola en términos de fase, se acaba llegando a una suerte de estructura sintáctica ternaria. Por lo tanto, junto a fuertes detractores, se encontrarían también autores en una línea parecida. Una teoría no debe considerarse más o menos válida por la cantidad de teorías a las que se opone o la cantidad de datos que no puede acomodar, sino que debe medirse por la capacidad de explicar de forma unitaria fenómenos aparentemente diversos y de integrar teorías diversas, como aquí se intenta. Sólo de esta forma se consigue la sensación de

continuidad y la certeza de que el caos interno a la lingüística no es tan grande como parece. Sin coherencia interna, la gran mayoría de definiciones y características que atribuimos a las fases es errónea, y la fase, como constructo teórico, queda vacía. No es un defecto, sino una virtud conseguir que la teoría X' y la de fases converjan en una zona difusa. Cuando reducimos las propiedades a lo esencial y somos consecuentes con hipótesis que nosotros mismos formulamos, se acaba en una suerte de estructura ternaria.

10.5 Estructuras ternarias

De la discusión precedente se desprende que es posible unificar la estructura ternaria de fases y sintagmas equiparando el núcleo de fase al núcleo de sintagma, el borde de fase al especificador del sintagma y el complemento de fase al complemento de sintagma. A pesar de la terminología que se empleará para las tres clases de elemento: “núcleo”, “complemento” y “borde”, no va implícito que el aparato de la teoría X' sea el correcto, ni que lo sea el de las fases. Hay que ser precavido con el uso de estas nociones, puesto que al hablar de complementos, núcleos y especificadores apelamos a nociones relacionales y no absolutas, de modo que pueden verse alteradas según el estadio de la derivación o la pieza con que se relacionan. Así pues, si pensamos en la construcción de una oración, lo que empieza siendo un núcleo puede acabar siendo un complemento, y un complemento puede convertirse en especificador. Una forma de convertir estas nociones relacionales o dinámicas en estáticas puede ser recurriendo a la idea de ciclo derivacional. Dentro de cada ciclo se puede definir sin ambigüedad diferentes tipos de elementos. Simplificando, desde un punto de vista mecanístico y tomando como referencia un ciclo derivacional, el complemento es lo que se ensambla, no proyecta y se transfiere; el núcleo es lo que se ensambla, proyecta y permanece; y el borde es lo que se ensambla a un elemento que acaba de proyectar, que permanece más tiempo acoplado al GW y que puede proceder de un espacio en paralelo (v. § 11.2).

Aun con estas precauciones, los núcleos, tanto de sintagma como de fase, comparten dos características fundamentales: identifican un conjunto de estructura, esto es, capturan la propiedad de la endocentricidad, y actúan de enlace entre el resto de elementos de la estructura sintáctica. Los núcleos, en general, estarían por lo tanto en varios ciclos derivacionales, mientras que los elementos transferidos durarían menos. Los complementos, por su parte, los identificaremos con los elementos (complejos) que están

jerárquicamente a la misma altura del núcleo y que se encuentran en el dominio que se transfiere primero. Al abandonar la derivación antes que sus compañeros, están sujetos a un número menor de operaciones y establecen menos relaciones.

Los bordes y los especificadores, en cambio, son más difíciles de comprender en sí mismos y de integrar. Básicamente, tienen en común que gracias a ellos se establecen relaciones a distancia, muy posiblemente a través del movimiento, que requieren de más memoria que el resto de elementos (por derivarse en paralelo), y que son (mayormente) elementos de naturaleza nominal. En este sentido, especificadores de sintagma y bordes de fase parecen alojar elementos nominales que se desplazan (v. § 10.4.3), en general, desde lo que en lingüística se considera un espacio computacional en paralelo (más allá de si es un elemento que estaba presente en la espina oracional). Conforme a una interpretación de Uriagereka (1999), los especificadores, ya sean de bordes de fase o de sintagma, se derivan siempre en paralelo a la espina oracional y se combinan con ella en determinadas posiciones. A pesar de que esta fusión a la espina no puede considerarse estrictamente un traslado (el elemento no procede de una posición interna), existen similitudes significativas con lo que podrían considerarse subprocesos del movimiento. A este respecto, se ha teorizado con que EI puede descomponerse en *copiar* y *reensamblar* (Corver y Nunes 2007). Creo que, en términos generales, podemos concebir la operación de copia como una mayor disponibilidad de la representación en la memoria, con cierta independencia de la historia derivacional previa. Estas dos características (más memoria y más independencia) son también requisitos para los especificadores derivados en paralelo: tienen que retenerse hasta que se fusionan con la estructura principal, respecto a la cual mantienen una cierta independencia (que se manifestaría en su opacidad para fenómenos de subextracción, etc.). Luego, tanto los especificadores como los elementos sujetos a EI deben fusionarse con lo que se considera la estructura principal, y, llamativamente, lo hacen en la misma posición. En definitiva, tanto EI como los especificadores pasan por una operación similar, que en el caso de EI se llama “copia” desde la lingüística (v. § 11.1 sobre correlatos en oscilaciones, y que en el caso de los especificadores no está tan clara, y algunos denominan derivación en paralelo. No obstante, en ambos casos parece que encontramos la propiedad fundamental de una mayor disponibilidad en el GW.

Esta idea de la derivación en paralelo o la independencia de los especificadores puede encontrarse asimismo en el modelo de Boeckx (2015), donde se defiende que los

núcleos de fase que se injertan en los bordes de fase (por desplazamiento) son núcleos de fase intransitiva. Este tipo de núcleos serían los que arrancan la derivación, cuyo complemento es simple, y que acaban teniendo una naturaleza nominal. De esta forma, puede interpretarse que se han originado al margen del resto de estructura (aunque sea sólo porque no se ha generado). Así pues, los especificadores y bordes de fase estarán constituidos por un mismo tipo de elemento que se mantiene más tiempo en el GW, que de una forma poco comprendida se procesa en paralelo, y que, tal vez debido a ello, presenta una naturaleza nominal en última instancia. Bordes de fase y de sintagma son, por lo tanto, lo mismo.

10.6 Conclusiones

Una parte significativa de las conclusiones se encuentra en § 10.4.5, sobre todo en lo tocante a la unificación de fases y sintagmas, por lo que se evitará en la medida de lo posible ser redundante. En el presente capítulo se ha tratado de simplificar las estructuras sintácticas que debemos generar a partir los mecanismos generales para los que se propuso una implementación en § 9. Siendo estos pocos, lo razonable es que generen una poca cantidad de elementos diversos, y no la gran diversidad que gustamos de categorizar desde la lingüística teórica. Hemos defendido que la estructura sintáctica sigue sin comprenderse del todo, y para progresar en ese aspecto hemos elegido la teoría X' , cuya unidad de análisis básica de la estructura es el sintagma (y su núcleo), y la teoría de fases, cuya unidad de análisis básica es la fase (y su núcleo). El aparato teórico ha condicionado la concepción de la estructura sintáctica, de modo que la pérdida de formalismos ha mermado la capacidad de atender y reflejar propiedades fundamentales, tanto las fases parecen abocadas a recuperarlas y a convertirse en la (nueva) unidad básica para estructurar la oración.

El análisis detallado de las propiedades de las fases ha desembocado en un formato acategorial que resulta en un esquema estructural similar al de la teoría X' ⁷¹. De acuerdo con ello, se ha propuesto una tríada de elementos diferentes que pueden encontrarse en la

⁷¹ De hecho, la teoría de fases está sufriendo actualmente una expansión como lo hiciera en su momento la teoría X' , y que podría ser una de las razones por las que se abandonó. Por ejemplo, se ha puesto en paralelo la estructura de las fases reciente con la estructura compuesta por una categoría funcional más una categoría léxica en términos de sintagmas de años atrás. No sería extraño que un destino similar al de la X' le ocurriera a la teoría de fases tras dispararse el número de categorías que las constituyen, y que en un tiempo se repitiera el ciclo bajo otro nombre.

estructura sintáctica, que resista la variabilidad teórica, y que se encontrarían como a medio camino de nuestras ideas de las fases y de los sintagmas. Se ha notado que este espacio intermedio es menor de lo que se creía, puesto que cuanto más en serio nos tomamos las hipótesis que se han realizado sobre las fases, más fases aparecen y más se parecen a los sintagmas de toda la vida.

Para evidenciar la homogeneidad entre fases y sintagmas, (i) se ha reinterpretado la herencia de rasgos y el movimiento de núcleos como la unidad de núcleos de fase y de no-fase (sonda derivada); (ii) se ha discutido que la sobrecarga de operaciones (como el *etiquetado*) del núcleo de fase y de la operación de la transferencia se debe a que estamos incluyendo en ella mecanismos y propiedades que podían expresarse mejor en la teoría X', como la endocentricidad; (iii) se ha señalado que el desplazamiento de proyecciones máximas y mínimas (y nunca intermedias) de lo que podrían considerarse fases y sintagmas se comporta siempre igual y hacia unas mismas posiciones; y (iv) se ha subrayado que incluso las fases y los sintagmas se identifican a partir de unas mismas pruebas sintácticas, lo cual apunta a que la realidad subyacente es la misma. Si no llevamos hasta sus últimas consecuencias las nociones que las definen, las fases se vuelven un objeto teórico vacío. Si, por el contrario, un ejercicio de congruencia nos lleva a unificar varios constructos teóricos (fases y sintagmas), aunque sea en un algo distinto al común, el resultado confiere sensación de continuidad y estabilidad a un conjunto de teorías que, enfrentadas y vistas en perspectiva, ofrecían una imagen de caos y la sensación de que la elección de una u otra era arbitraria.

En la realidad subyacente a nuestros análisis, parecen existir elementos similares a un núcleo, en el sentido de que actúan de enlace entre el resto de elementos situados en diversos ciclos derivacionales; algo similar a los complementos, que tienen una vida derivacional más corta y entran en relaciones más locales; y alguna suerte de especificadores o bordes, que permanecen más tiempo en el espacio computacional sintáctico y establecen relaciones más globales, lo cual ha llevado a incluir en ello estructuras nominales y que sufren el desplazamiento.

11 Generación de estructura a partir de ritmos

En este capítulo, veremos cómo los ritmos que implementan los diferentes mecanismos (v. § 9) interactúan para generar la estructura sintáctica de § 10 (v. Boeckx 2013, Ramírez 2014). Para ello, se ampliará la distinción categorial de dos elementos realizada en § 9 (en que el elemento que proyectaba oscilaba a *beta* y el que no lo hacía oscilaba a *gamma*) a la de tres discutida en § 10. Siguiendo con el principio de multiplexación por división de tiempo para la discriminación de elementos categorialmente distintos (v. § 8.1.3.3, Weiss y Mueller 2003), debemos asignar un ritmo al nuevo elemento : el borde(/especificador/elemento movido). Defenderemos que los bordes podrían usar *beta* 1, mientras que los núcleos podrían usarían *beta* 2. Tras esta distinción, discutiremos cómo interactúan los ritmos (v. § 11.2) para construir sintagmas o fases, y cómo de ahí se puede llegar a construir una oración (v. § 11.3). De la estructura generada, se intentará finalmente deducir alguno de los principios de la derivación sintáctica y de las relaciones entre los diversos elementos (v. § 11.4). Estaremos así más cerca de visualizar qué forma podrían tener los árboles sintácticos en el cerebro, una cuestión que se presentaba como una intriga en la introducción⁷².

11.1 Etiquetas *gamma*, *beta* 2 y *beta* 1

Los ritmos que se emplean para discriminar asambleas que codifican diferentes clases de elementos son *gamma*, *beta* 2 y *beta* 1. Estos ritmos parecen adecuados por su carácter relativamente rápido y local (v. § 5.3), habida cuenta de que se espera un sustrato neuronal menor y más simple para las representaciones que para el uso de mecanismos como *ensamble* y *transferencia*, más globales e implementados por ritmos más lentos (v. §§ 9.2 y 9.4). La asignación de ciertos ritmos a ciertas categorías que proponemos

⁷² El presente capítulo, así como los diagramas, se basan en las versiones previas de la tesis, como los de Ramírez (2014, 2015b), Ramírez *et al.* (2015), así como otros que se hicieron en preparación para el mismo texto. Para un desarrollo paralelo, en que también se relacionan diagramas arbóreos con ritmos, véase Murphy (2016a, 2016b).

responde a un principio intuitivo: cuanto más tiempo permanece el elemento en la derivación (o el GW), más lento es el ritmo que sostiene la asamblea neuronal (v. Giraud y Poeppel 2012 para una correlación entre la duración de la representación y la frecuencia del ritmo). De esta forma, los complementos, que tienen una vida derivacional más corta, oscilan a *gamma*; los núcleos, que se sostienen algo más de tiempo para enlazar representaciones, se encuentran en un término medio y oscilan a *beta 2*; y los bordes, que serían los elementos con la vida derivacional más larga (pensemos, por ejemplo, en todas las posiciones que cruza un elemento desplazado hasta Espec-C), oscilarían al ritmo más lento de los tres, *beta 1*. El hecho de que núcleos y bordes compartan *beta* guarda relación con que estos elementos acaban siendo más parecidos entre sí que a los complementos (aunque son una mezcla de ambos, como se discute abajo). En efecto, en la bibliografía es habitual considerarlos una única unidad: el borde de fase, es decir, lo que no ha sido transferido. Igualmente, puede establecerse una correlación entre la frecuencia del ritmo y la complejidad de la representación, usándose ritmos más lentos para representaciones más complejas, lo cual, de alguna manera, reformula la importancia de la jerarquía y su relación con el factor temporal del procesamiento lingüístico de modelos como Bornkessel-Schlesewsky y Schlewsky (2013, 2016).

Junto al principio intuitivo, la categorización mediante estos tres ritmos presenta correlatos en la anatomía y conectividad de la corteza (v. § 4.1.3), la dirección del flujo de información a través de ella e incluso podría depender de algún principio físico poco comprendido que se intenta capturar matemáticamente, como discutimos más adelante. A pesar de que la discriminación de elementos en términos oscilatorios tienda a ser mediante el mecanismo de codificación por fase, la propuesta basada aquí en la multiplexación por división de tiempo (v. Weiss y Mueller 2003) ofrece convergencias interesantes entre el cerebro y la naturaleza de las representaciones. En este sentido, la división entre *beta* y *gamma* para núcleos(/bordes) y complementos se corresponde con la dualidad que puede trazarse anatómicamente entre capas profundas y superficiales de la corteza, con L4 actuando como frontera y L4-L6 más conectadas a lo subcortical. *Gamma* caracteriza las capas supragranulares y *beta* las infragranulares (v. § 6.1). Estas diferentes dinámicas y conexiones, además, se han usado para implementar el flujo de información, con *gamma* para *feed-forward* y *beta* para *feed-back* (v. Bastos *et al.* 2015a). Además, *beta 1* emerge de la interacción de las dinámicas de las láminas superficiales, oscilando a *gamma*, y de las profundas, oscilando a *beta*, por lo que nos encontramos con

un tercer ritmo en la columna cortical para una tercera categoría. Tal combinación de ritmos resulta sugerente si entendemos que los bordes empiezan, en paralelo, siendo más como complementos (*gamma*) pero, al mantenerse disponibles en el GW o la memoria de trabajo durante más tiempo, acaban comportándose de forma más similar a los núcleos (*beta*). Aparte, esta propiedad casa con la función atribuida al ritmo *beta* 1 de mantener representaciones nuevas en ausencia de *input* (v. § 7.1.2).

Finalmente, las diferencias entre ritmos (función, sustrato, frecuencia, etc.), lejos de ser aleatorias, parecen responder a algún principio físico que puede reflejarse matemáticamente: las principales bandas a las que oscilan los ritmos (como *beta* y *gamma*) se discriminan a una escala logarítmica de 2.17 (Buzsáki 2006) (básicamente, un ritmo arriba en el espectro es más o menos el doble de rápido que el inmediatamente inferior), mientras que dentro de una misma banda, como *beta*, pueden discriminarse subbandas mediante lo que Roopun *et al.* (2008) llaman una *golden mean* de 1.6, de modo que *beta* 1 oscila 1.6 veces más lento que *beta* 2 (por la suma del tiempo de un ciclo *beta* 2 y un ciclo *gamma*, que es el doble de rápido). Por eso, que haya tres ritmos relativamente rápidos (y por lo tanto circunscritos a computaciones relativamente locales por lo general) para procesar tres clases de representaciones distintas me parece una hipótesis, cuando menos, atractiva y con un mayor número de correlatos que otras alternativas, como la codificación por fase. Puesto que la correspondencia de *gamma* con los complementos (o elementos que no proyectan) y de *beta* con los núcleos (o elementos que proyectan) ya se ha desarrollado en §§ 9.1 y 9.3, aquí no se abundará en ello. En lo relativo a *gamma*, la idea esencial es que los complementos son objetos con menor potencial combinatorio y usan un ritmo más simple que el de la formación y mantenimiento de ensamblajes (Gray y Singer 1989), equivalentes a palabras neuronales (Buzsáki 2010, v. § 7.2.2). Respecto a *beta*, los núcleos son, desde un punto de vista sintáctico e implementacional (v. Honkanen *et al.* 2014, § 9.3), elementos más complejos, con un sustrato mayor (que obligaría a ralentizar el ritmo con la adición de información desde el sistema ejecutivo) y que actúan de enlace entre ciclos derivacionales (v. Duncan 2013) gracias a que *beta* permite mantener representaciones (Engel y Fries 2010, v. § 7.1.2).

La implementación de los bordes mediante *beta* 1 se debe discutir más por extenso. Se seguirán básicamente tres argumentos: son elementos novedosos o paralelos en la derivación (v. Boeckx 2015, Uriagereka 1999); la generación del ritmo recuerda el

mecanismo de copia del movimiento; y la función del ritmo de mantener información *nueva* disponible cuadra con la mayor disponibilidad de los bordes en la derivación⁷³.

11.1.1 *Beta 1* y los bordes.

Desde la teoría lingüística, se ha defendido que estos elementos se derivan en paralelo o arrancando (su propia) derivación (lo cual podría relacionarse con su naturaleza nominal, v. § 10.5). Justamente la idea de la novedad cuadra con la función de *beta 1* de mantener elementos novedosos en la memoria de trabajo. Según Kopell *et al.* (2011), los elementos de este tipo, en oposición a los familiares, son los que desencadenan el ritmo. Aparte, a *beta 1* también se le ha atribuido el mantenimiento de información en ausencia del *input*, argumentándose que las propiedades fisiológicas del ritmo lo hacen especialmente apto para esta función (Kopell *et al.* 2010, 2011). Los bordes se ajustan mejor que ningún otro elemento a este requisito de un sostenimiento más largo en el GW. A menor escala, esta mayor duración es también un requisito de los núcleos; este punto en común entre bordes y núcleos queda reflejado en que ambos tipos de representación usan subbandas de *beta*, el ritmo al que se le atribuye prototípicamente el mantenimiento de información (v. §7.1.2).

Por último, la génesis de *beta 1* parece correlacionarse con los subprocesos derivacionales de los bordes o piezas movidas (unificados en § 10.5). En lingüística, se defiende que los bordes son núcleos (de fase) que pueden moverse, y se descompone el movimiento en copia y reensamble. Así que son elementos que se forman (y ensamblan) mediante *gamma* (acoplada a *alpha*), que luego proyectan mediante *beta*, y que a continuación se copiarían (para moverse o reensamblarse en otra posición), según proponemos, mediante *beta 1*. Así pues, nos encontramos con tres pasos y tres ritmos: formación/*gamma*, proyección/*beta*, copia/*beta 1*. De forma paralela, en neurociencia se dice que *beta 1* emerge cuando un periodo de alta excitación decae (quizás el origen de la derivación) y las oscilaciones de las capas supragranulares e infragranulares interactúan y reinician sus fases (Kramer *et al.* 2008). El resultado de tal interacción es que la corteza

⁷³ Este paso exigiría justificar posteriormente la restricción de los núcleos a un ritmo *beta 2* concretamente, y no a *beta* en general. Por desgracia, el mejor argumento que puedo ofrecer, por ahora, es la complementariedad de estas propuestas y las distinciones anatómicas, dinámicas, etc. citadas. La función de los diversos ritmos *beta* sigue siendo un misterio (Cannon *et al.* 2014), de modo que, aunque no haya argumentos de peso para la identificación de los núcleos específicamente con la subbanda *beta 2*, tampoco los habría en contra (v. Ramírez 2015a).

se funde transitoriamente en una dinámica: *beta* 1. De este modo, la presencia de *gamma* y *beta* es un prerequisite para la formación de *beta* 1. Por lo tanto, la historia derivacional de un borde (movido) y el proceso por el que se genera *beta* 1 parecen seguir un patrón similar. Los elementos movidos se iniciarán primero como *gamma* y se convertirán en núcleos proyectando gracias a *beta*. Hasta aquí podría considerarse que el periodo de alta excitación y la coexistencia de los ritmos *gamma* y *beta* son requisitos para la formación de *beta* 1. Luego, la fusión de las dinámicas superficiales y profundas en *beta* 1 podría equivaler al subproceso de copia del movimiento, una suerte de segunda proyección (el reensamble consistiría en el acoplamiento con otras asambleas mediante el *alpha* del GW).

Si esta hipótesis va bien encaminada, puede que sea necesario postular la existencia de un nuevo mecanismo para la operación de movimiento, además de los contemplados en § 9, y que implique *beta* 1. Sin embargo, a falta de un desarrollo más completo de estas hipótesis, prefiero postergarlo para el futuro y no debilitar las propuestas ya desarrolladas, que considero más sólidas, con una base más firme tanto en la neurociencia cognitiva como en la propia lingüística (donde aun no se tiene claro en qué consiste el movimiento, si este no es más que *ensamble*, etc.). En definitiva, a nivel intuitivo hay propiedades del ritmo *beta* 1 que pueden correlacionarse con propiedades de los bordes: la novedad del elemento (nominal o paralelo), el mayor mantenimiento de información (rasgo compartido con los núcleos), y la copia o segunda proyección del que sería un núcleo, a la que se llega por un proceso similar a la génesis del ritmo *beta* 1.

11.2 Estructura sintáctica. Sintagmas/fases

Ahora que contamos con las categorías o elementos básicos de la estructura sintáctica (v. § 10) y con los mecanismos por los que se generan y combinan (v. § 9), se representará cómo se relacionan entre sí para dar lugar a la unidad estructural básica que pueden considerarse los sintagmas/fases. Por lo tanto, se intentará poner de manifiesto el funcionamiento de la sintaxis neuronal (v. § 7) subyacente a la sintaxis (aparentemente) lingüística (v. § 2). A pesar de que parte de ella se haya explicado ya en capítulos precedentes donde se ha explotado la interacción de ritmos (v. § 9), aquí se tratará de hacer más evidente esta interacción, representándose de una forma más visual la estructura de sintagmas y fases. Con este objetivo, puede que por deformación

profesional, se recurrirá a los diagramas y a figuras afines a lo que observaríamos en estudios de neurociencia desarrolladas en Ramírez (2014), en el manuscrito Ramírez *et al.* (2015) y en el transcurso de la tesis. Adaptándolos a las oscilaciones que se usaron para la implementación, se intentará ofrecer un tipo de respuesta a la pregunta que intrigaba en la introducción acerca de cómo podrían encontrarse los árboles en el cerebro (siempre en abstracto y en el marco de cierto análisis espacio-temporal... sin ningún ánimo de reproducir aquí los verdaderos patrones de actividad neuronal).

De esta forma, si en la sintaxis neuronal de Buzsáki (2010) se ponían en relación conceptos como la letra, la palabra y la frase con los ritmos, aquí se asociarán ciertos ritmos con nociones más específicas de la teoría lingüística. A grandes rasgos, se defenderá que los ciclos *gamma* equivalen a rasgos; las oscilaciones *gamma* a piezas léxicas (y complementos); *beta 2*, a núcleos; *beta 1*, a bordes; *alpha* (acoplando ritmos más rápidos), a conjuntos formados por ensamble; y *theta*, a fases/sintagmas. Se mostrará cómo el modelo de la presente tesis permite generar una estructura de tipo X' más bien clásica mediante oscilaciones cerebrales, así como una estructura a partir de teorías de fases más modernas (v. Ramírez 2014), que aquí se han unificado (v. § 10.6).

11.2.1 Núcleo-Complemento.

La derivación arranca con la *selección*: recuperación, formación y mantenimiento de representaciones formadas con *gamma* (recuperadas de la memoria semántica gracias, posiblemente, a la interacción con *theta*). Tomemos la construcción “el chico comer patatas”, donde todavía no se ha introducido la información temporal y para el cual usaremos la hipótesis del sujeto interno al predicado. Se seleccionan primero las piezas “comer” y “patatas”⁷⁴:

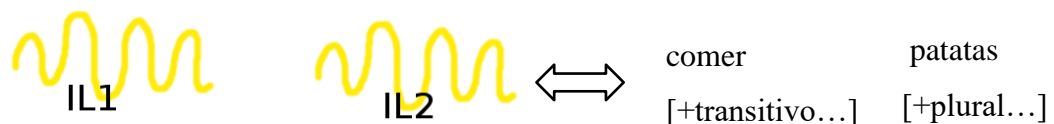


Figura 11-Ítems léxicos a *gamma*.

⁷⁴ Por razones expositivas simplificamos las figuras, de manera que el dibujo no refleja la proporción entre ciclos de los ritmos rápidos y lentos. Aparte, puesto que todo el proceso ocurriría bajo ciclos *theta* y su implicación es más evidente en el caso de la transferencia y la relación que establecería con ritmos como *alpha* y *beta*, no se representa en este paso de la derivación, como sí se hace en otras figuras.

que podrían equivaler a dos piezas léxicas seleccionadas que no han sido combinadas aun. Estas ensamblajes equivaldrían, conforme a una visión más afín al generativismo temprano, a los nudos terminales. No habiéndose aplicado otras operaciones, estas ensamblajes no estarían organizadas estructuralmente (encontrándose quizás aisladas en un espacio de la preconsciencia), pero sí podrían tener una organización interna (rasgos o bits de información menores constitutivos de la representación) con diferentes rasgos valiéndose de diferentes ciclos *gamma* (v. § 9.1).



Figura 11-2 Rasgos en los ciclos *gamma* individuales.

Luego, estas ensamblajes a *gamma* se integrarían en el GW de la consciencia o la memoria de trabajo, mediante el acoplamiento inter-frecuencia de *gamma* y *alpha*. *Alpha* intercomunicaría las regiones distantes y abriría, para esas representaciones, las ventanas de integración de información en un espacio global:

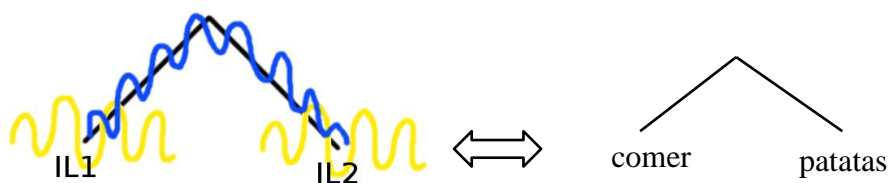


Figura 11-3 Conjunto mediante acoplamiento entre *gamma* y *alpha*.

En esta interacción, se respetarían los principios de que el ritmo lento domina al rápido y que la sincronía en una extensión mayor del cerebro requiere de un ritmo más lento. Después, una de las piezas proyectaría (aunque la periodicidad de esto podría estar controlada por el ritmo *theta* responsable de la transferencia, v. § 9.4.4), mediante *beta*. Conforme a lo postulado en § 9.3, el núcleo se ralentizaría desde *gamma* hasta *beta*, añadiéndose información bajo el control del sistema ejecutivo y seleccionándose para ser mantenida durante más tiempo en el GW (en la figura 11-4, el núcleo se abrevia como N, el complemento como C, y la línea discontinua indica que se trata del mismo elemento, es decir, habría una única oscilación a *beta*, y no dos);

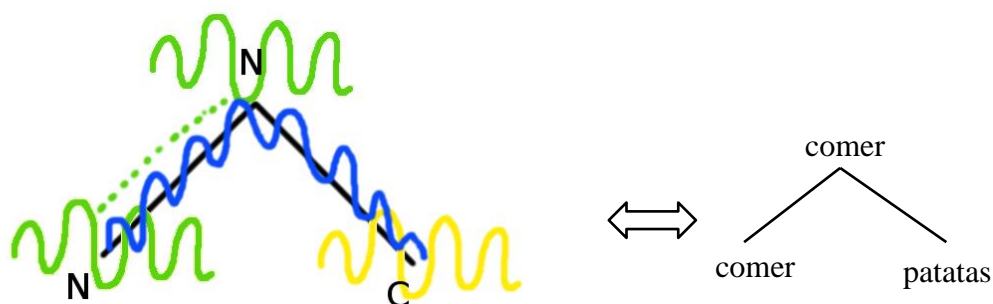


Figura 11-4 Proyección del núcleo mediante beta.

De esta forma, *beta* sería responsable de la proyección, el nivel intermedio o *X'* de sintagmas/fases, o de lo que, en etapas del generativismo temprano, eran nudos no terminales. Cualquiera que sea la naturaleza de este elemento o mecanismo, desde comienzos del generativismo se ha asociado a una de las propiedades clave del lenguaje: la recursividad, gracias a la cual podemos generar jerarquía y construcciones potencialmente infinitas (v. § 2.2.2.4). Si consideramos que la temporalidad de la proyección mediante *beta* está determinada por un ciclo *theta* impuesto por el control ejecutivo (v. § 9.4), puede que la aplicación de la proyección se produjera en determinada fase de un ritmo *theta*. Además, a diferencia del núcleo, el complemento se transferiría, si somos coherentes con la unificación de sintagmas y fases de § 10. Para ello, el complemento perdería la sincronía con *alpha*, y se acoplaría a un ritmo *theta* que lo pusiera en comunicación con los sistemas externos (v. § 9.4).

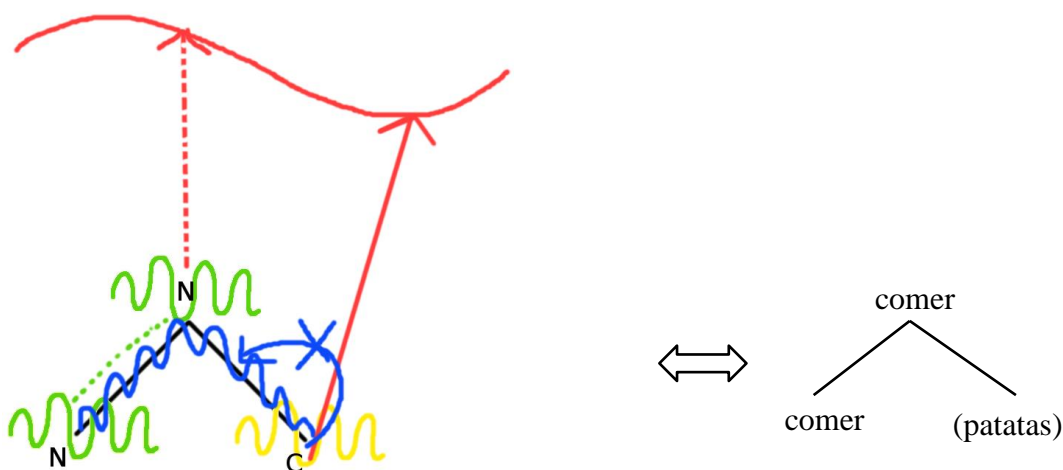


Figura 11-5 Transferencia del complemento: desincronización de alpha y sincronía con theta.

Puede que la aplicación de la transferencia se produjera en una fase distinta del ritmo *theta*, como se ha defendido en otros trabajos en que la codificación por fase se usa

para discriminar el periodo de codificación y de recuperación de la memoria (v. § 8.2.6). *Theta* introduciría así los ciclos más lentos en la derivación, agrupando en una suerte de dominio temporal y estructural la aplicación de otras operaciones y fragmentando la estructura en conjuntos menores que todo el bloque que constituiría la oración (similar a lo que se defiende en algunos estudios sobre *delta*, v. §§ 8.1.3.3.2 y 8.1.3.4.2). *Theta*, por lo tanto, podría equivaler a unidades como las fases y los sintagmas. Si representamos este proceso en una figura donde se refleje mejor el tiempo, que fluiría de izquierda a derecha, y donde las líneas verticales negras diferenciarían ciclos de los ritmos lentos, el proceso sería como sigue:

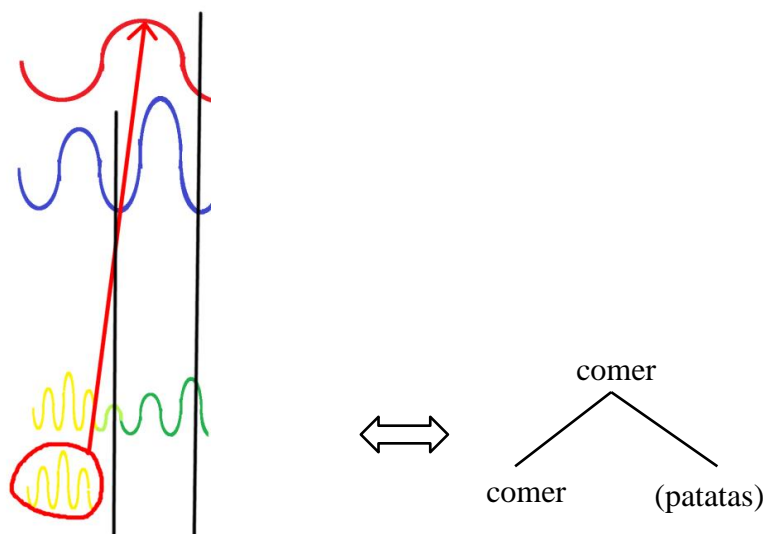


Figura 11-6 Representación del núcleo y el complemento en el tiempo. El complemento a gamma abandona el GW y el núcleo se mantiene en él a beta.

En cualquier caso, el resultado, en este punto de la derivación, es que el núcleo sigue acoplado a *alpha* mientras que el complemento pierde esta sincronía. Al mantenerse acoplado a *alpha*, el núcleo sigue disponible para futuras combinaciones y acabaría encontrándose diferentes ciclos derivacionales definidos por *theta*, actuando así de enlace entre las representaciones.

11.2.2 Borde-Núcleo-Complemento.

En el punto anterior es posible ensamblar el borde, que sería una asamblea a *beta* 1. La explicación sencilla es que al ritmo *alpha*, que mantiene el núcleo acoplado al GW, se une mediante la sincronía a una asamblea que oscila a *beta* 1 y que constituye el borde. Entonces, se establecería la relación entre núcleo-borde(/especificador) y ya habríamos

obtenido una estructura sintagmática o de fases básica, que en conjunto se representaría como sigue.

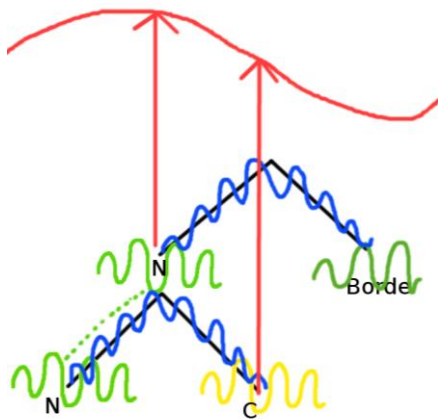


Figura 11-7 Diagrama de ritmos para un sintagma/fase.

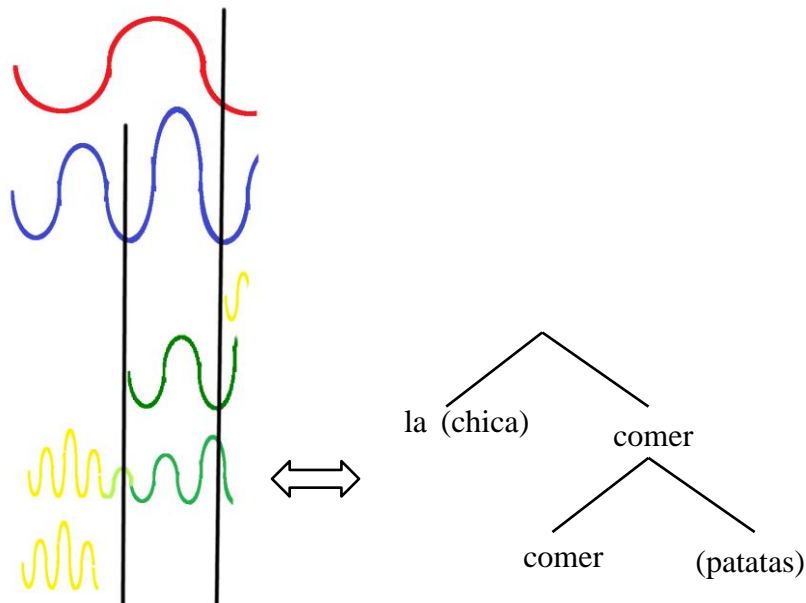


Figura 11-8 Formación de sintagma mediante ritmos en el tiempo.

Nótese que la jerarquía de la estructura sintáctica surge de la temporalidad con que se aplican los mecanismos (y que, a su vez, los ritmos que los implementan están jerarquizados, con los lentos dominando los rápidos, v. § 7.2.1). Es decir, la diferente temporalidad con que el complemento y el borde se han acoplado al GW y al núcleo determina las diferentes posiciones en la jerarquía sintáctica que ocupan y si establecen una relación de complemento o de especificador con el núcleo. Es decir, la representación a *beta* 1 del borde está más arriba de la jerarquía porque ha llegado más tarde.

Llegado este punto, puede que el lector se pregunte de dónde procede la asamblea *beta* 1 que constituye el especificador. Desde un punto de vista lingüístico, se puede

recurrir en abstracto a espacios derivacionales en paralelo (a lo Uriagereka 1999) en los que ese elemento (de carácter nominal) ha arrancado su propia derivación (a lo Boeckx 2015). Sin embargo, aquí se debería ser más concreto y tratar de dar una respuesta que encaje en el resto del modelo. ¿Dónde se encontraría el espacio para el procesamiento en paralelo? ¿En un módulo fuera del GW? ¿Acaso tiene el GW la capacidad de procesar en paralelo? Antes de responder estas preguntas, pensemos cómo hemos podido llegar a obtener esa representación a *beta* 1.

Conforme a lo discutido sobre el uso y la génesis de *beta* 1, estos elementos necesitan antes de la coexistencia de *gamma* y *beta*. Por consiguiente, cabe pensar que han sufrido un proceso similar al que llevara a la formación del núcleo-complemento planteada en § 11.2.1. Así, la derivación de “el chico” sería como sigue: primero, se forman las piezas por *selección* (*gamma*); luego, se crea el conjunto mediante el acoplamiento entre *gamma* y *alpha*; después, el núcleo proyecta valiéndose de *beta* y el complemento se transfiere mediante la pérdida de sincronía con *alpha* y el acoplamiento a *theta*:

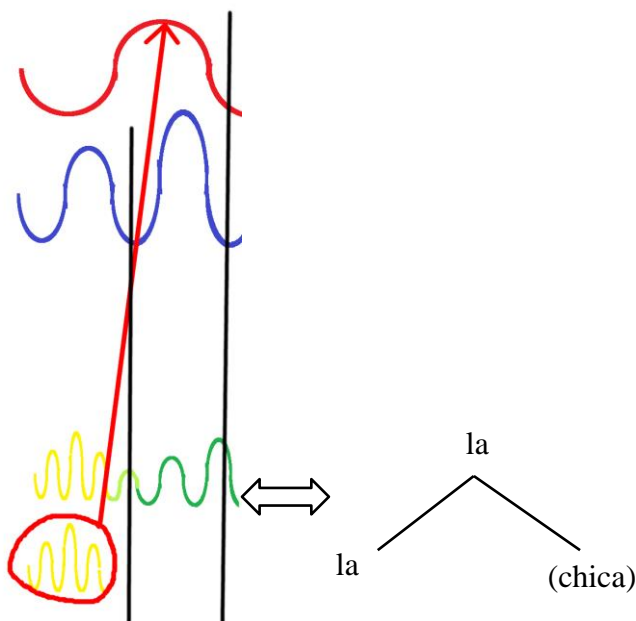


Figura 11-9 Primeros pasos en la formación del especificador/borde en paralelo.

Ahora, necesitamos explicar el paso de *beta* 2 a *beta* 1. Habiéndose derivado en paralelo, siendo un elemento novedoso, y que debe arrancar la derivación, puede decirse que tiene las propiedades adecuadas para que recurramos a *beta* 1. Supongamos que en el GW se ha generado “la chica”, y que todavía no han entrado las otras piezas que tienen que combinarse con ese constituyente (“comer”, “patatas”). La memoria de trabajo puede

ser necesaria para mantener durante bastante tiempo esa representación en el espacio y para ello puede ser necesario *beta 1*:

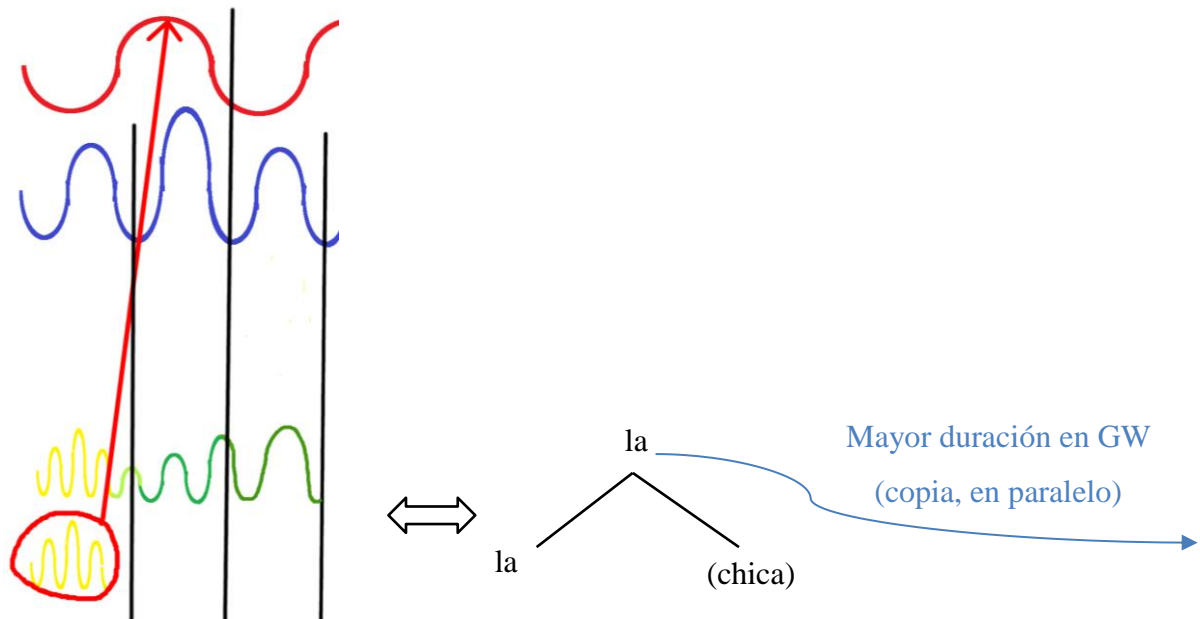


Figura 11-10 Ralentización del borde a *beta 1* para un sostenimiento más prolongado en el GW.

Si se admite simplemente la existencia de esa representación a *beta 1* en el GW, alcanzaríamos un punto como el siguiente, en que en el GW se encuentran la asamblea a *beta 1* del borde y la asamblea a *beta 2* del núcleo, que es el punto previo a la combinación de núcleo y borde del principio de la sección:

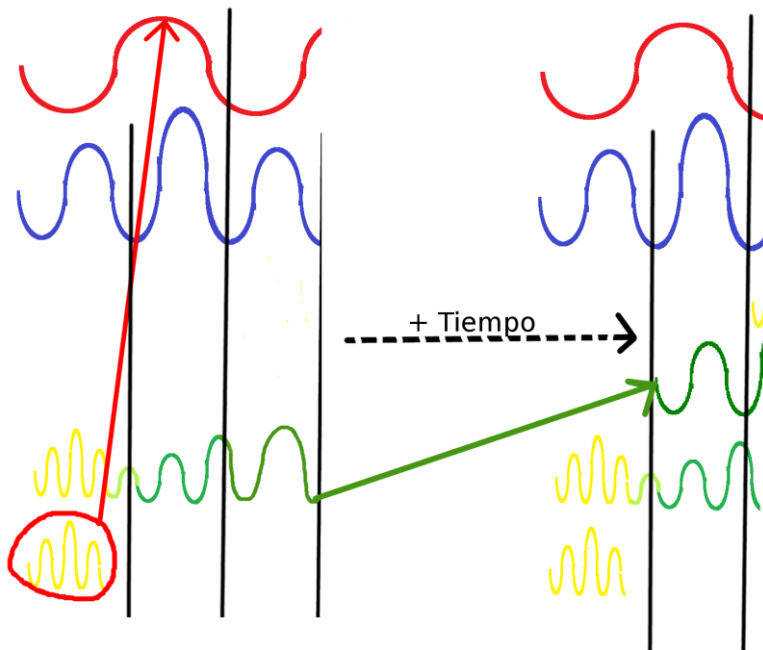
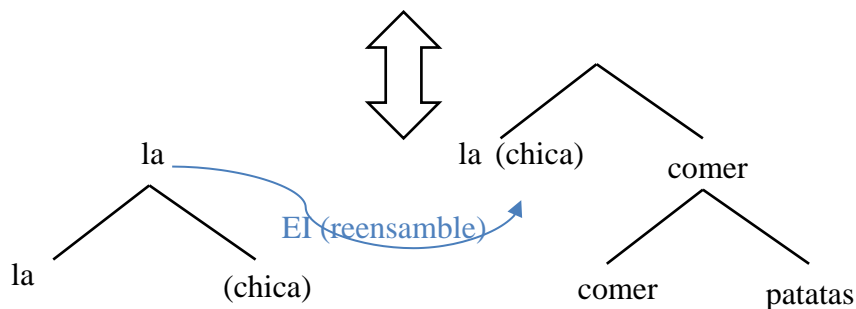


Figura 11-11 Ensamble del borde a la espina oracional.



El ensamble de estos elementos no sólo da lugar a la relación núcleo-borde de arriba, sino que indirectamente pone en relación los elementos que han estado en diferentes ciclos derivacionales, como “chica” y “patatas”, gracias a los elementos que les han sobrevivido mediante *beta*. Pero esto sigue sin responder a la cuestión del procesamiento en paralelo. Si nos atenemos a la función integradora del GW de la consciencia, el procesamiento en paralelo no encaja demasiado. Habría sólo un *alpha* y sólo un GW, de modo que, mientras generábamos el núcleo-complemento “come patatas”, el elemento a *beta* 1 ya se encontraría ahí, posiblemente “estorbando”, si se permite la expresión. Por lo tanto, ya habría una suerte de núcleo, que pese a ello no se erige en núcleo en la estructura sintáctica [come patatas]. Esto es, “la” (de “la chica”) no es el núcleo de “come patatas”, aunque si bloqueamos la derivación en paralelo esto podría ser lo que predice el modelo.

Puede especularse con la opción de no tratar de forma unitaria el espacio de la consciencia y de la memoria de trabajo. Si bien así se obtendrían dos espacios interconectados, se perdería la unión de ambos a la que intuitivamente apuntan algunos trabajos (v. § 8.4). Asimismo, sería posible valerse de múltiples espacios de la memoria de trabajo, inspirándonos en, por ejemplo, la división entre un *buffer* para la información verbal y otro para la visión, además de uno general en el modelo de Baddeley (2012). Sin embargo, quedaría sin justificar por qué los bordes deberían valerse de uno y juntarse a la espina oracional en otro. En la misma línea, podría echarse mano de la organización del procesamiento en paralelo en otros dominios cognitivos, típicamente en vías dorsales y ventrales (v. § 8.1.2.1.3). Esto supondría distanciarnos demasiado del modelo aquí propuesto y quedaría falto de toda una justificación completa. En consecuencia, aunque el procesamiento en paralelo es una capacidad del cerebro en multitud de sistemas, el modelo de la presente tesis no ahonda lo suficiente en si es posible que se produzca en el espacio en que tiene lugar la combinatoria sintáctica. Parece, pues, preferible postergar la cuestión a trabajos futuros, antes de introducir soluciones *ad hoc* que lo que arreglen por un lado lo estropeen por otro⁷⁵. Con todo, creo que las hipótesis aquí desarrolladas permiten dibujar una suerte de diagrama arbóreo de ritmos coherente con los principios de la sintaxis neuronal y los mecanismos notados arriba y que, al mismo tiempo, no se aleja demasiado de la concepción que se tiene en lingüística.

⁷⁵ Si tuviera que servir de consuelo, sigue siendo un interrogante que tampoco se ha resuelto en décadas de lingüística teórica. Es curioso que, desde diferentes ángulos, se acabe llegando a unos mismos problemas.

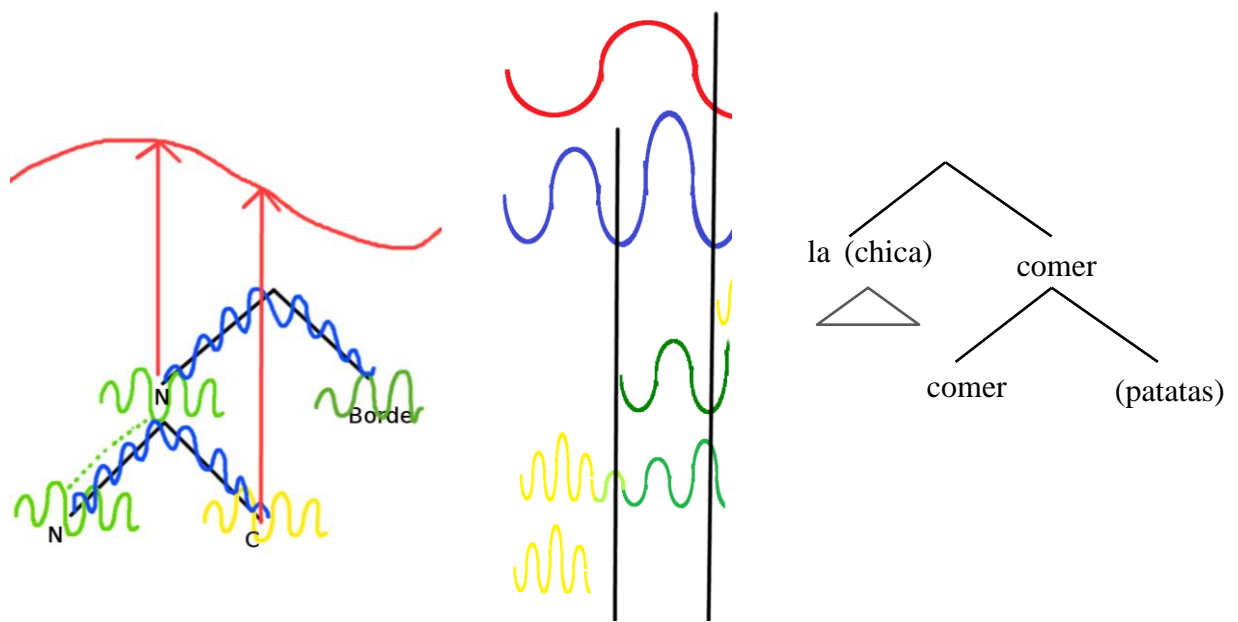


Figura 11-12 Representaciones varias del sintagma/fase.

11.2.3 *Beta* y la capacidad para formar dependencias (a distancia).

La atribución a *beta* de la capacidad de enlazar elementos de estadios derivacionales distintos (*beta* 2 para relaciones locales y *beta* 1 para relaciones a distancia) y, por consiguiente, de un mayor poder computacional que otros mecanismos, puede relacionarse con el mayor desarrollo en humanos de las regiones frontales, que parecen valerse de este ritmo (v. § 6.2). Además, *beta* caracteriza también los ganglios basales (v. § 6.5.1), por lo que la secuencia de núcleos que se va seleccionando y proyectando y lleva a la construcción de la espina oracional puede relacionarse con la capacidad de los ganglios basales de enlazar estados sucesivos en la memoria de trabajo, donde uno desencadena el siguiente (Schroll y Hamker 2013). Lo mismo se defiende en Duncan (2013), al afirmar que el comportamiento complejo requiere de la consecución de pasos secundarios organizados para lograr el objetivo principal, de modo que el resultado de uno desencadena el siguiente.

De hecho, la capacidad para relacionar elementos más allá del estado actual es uno de los rasgos definitorios del lenguaje por excelencia. Chomsky (1957) (v. Lasnik *et al.* 2000 para una revisión) propone que tenemos la capacidad de generar infinitud a partir

de medios finitos y de estructura, donde se establecen dependencias no locales (que se intentarían capturar con transformaciones). Para generar estas dependencias y enlazar ciclos computacionales, como señalan Balari y Lorenzo (2013) (quienes también resaltan la importancia de los ganglios basales), se requiere de más memoria de trabajo. Justamente, la función prototípica de *beta* es la del mantenimiento de la información (v. § 7.1.2). Por todo esto, el ritmo *beta*, la proyección, los núcleos (que permanecen acoplados al *alpha* del GW) ... parecen estar detrás de la capacidad de formar jerarquía, de la recursividad.

Si la derivación no consiste en una sucesión de estadios independientes (que podrían capturar la infinitud), sino que estos están interrelacionados (de modo que surge la estructura), la función de mantenimiento (en la memoria de trabajo) de *beta* permite esta interrelación. Por lo tanto, tiene sentido la atribución que hicimos arriba al ritmo de núcleos o, dicho de otro modo, nudos no-terminales, que son el método con que Chomsky (1957) formalizaría en su sistema de reglas (*phrase-structure grammar*) la capacidad de agrupar conjuntos de elementos y que luego, en la teoría X', lo harían las proyecciones de X. Puede que, gracias a que el núcleo (o el borde en casos de relaciones a distancia) a *beta* sigue acoplado a *alpha* (en diferentes ciclos *theta*), los elementos que se encuentran en esos ciclos distintos tengan un nexo de unión. Los núcleos (y bordes) sobreviven a la transferencia y enlazan el pasado (lo que pasó antes y está más abajo en la jerarquía) con el futuro (lo que ocurre después y está más arriba en la jerarquía).⁷⁶

11.3 Estructura oracional

Si concebimos la construcción de la oración como la fusión sucesiva de sintagmas/fases formadas en ciclos como los de arriba, para generarla tendríamos que explicar algo como la siguiente combinación de dominios o ciclos derivacionales:

⁷⁶ Un revisor opina que el modelo sólo captura dependencias *context-free*, no *context-sensitive*, pero la mayor duración en el GW de *beta* 1 (bordes), y su coexistencia con otras representaciones en múltiples ciclos *theta* derivacionales, permite crear dependencias globales y generar el tipo de “interferencias” a distancia que él esperaría encontrar.

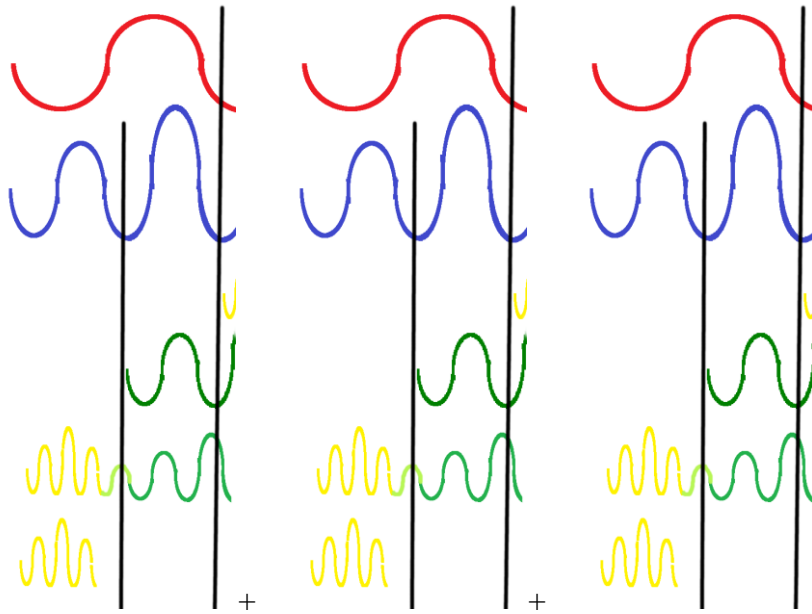


Figura 11-13 Combinación de sintagmas/fases en el GW.

Para ello, se puede recurrir a la propiedad *beta* de encontrarse en múltiples ciclos derivacionales, que daría lugar así a la recursividad, siendo coherente con lo discutido en § 11.2.3. Nótese en la figura 11-14 que las oscilaciones *beta* se encuentran en más de un ciclo *theta*, a diferencia de, por ejemplo, los ritmos *gamma*:

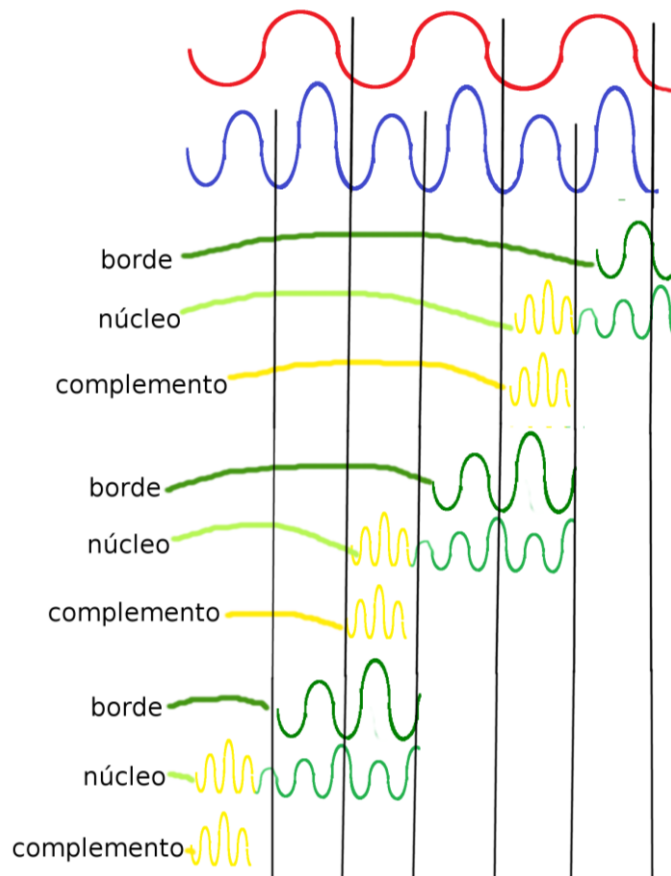
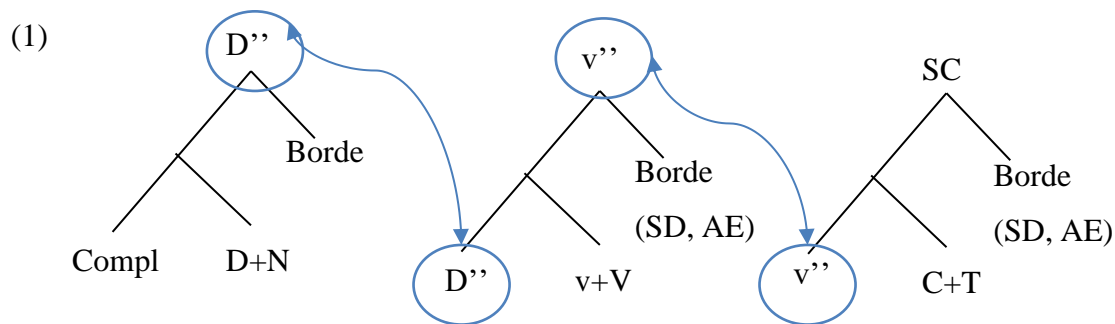


Figura 11-14 Posible formato de la oración en la sintaxis neuronal, y la tríada de elementos en la estructura.

Sin embargo, surge un problema potencial: todos los sintagmas tienen su propio complemento como un elemento distinto e independiente de los otros ciclos derivacionales, mientras que los análisis lingüísticos indican que, en la construcción de la oración, lo que empieza siendo el núcleo de un constituyente y proyectando es lo que acaba siendo seleccionado y actuando como complemento del constituyente inmediatamente superior. En otras palabras, el uso de etiquetas de carácter relacional a la hora de definir tipos de unidades en la oración, como el complemento, resulta problemático más allá del ciclo. Sin embargo, las propiedades generales que se han atribuido en secciones previas a cada tipo elemento, como la distinta duración en el GW, su complejidad, etc. están por encima de cómo se representan en la estructura sintáctica y de qué significado tienen sus nombres en la tradición generativista. Para ejemplificar el problema, en (1) se creará una equivalencia de los elementos de la sintaxis neuronal de arriba con sintagmas/fases más clásicos, con una correspondencia aproximada al dominio nominal, verbal y temporal.



En (1) se aprecia que, analizados independientemente, cada uno de estos dominios cuenta con una tríada de elementos. No obstante, al combinarse, por expresarlo de algún modo, el núcleo de verbal selecciona como complemento la proyección máxima nominal y el tiempo selecciona como complemento la proyección máxima del dominio verbal. Por consiguiente, lo que era un núcleo (junto con su especificador/borde) de un constituyente acaba siendo el complemento de otro. Combinando así la estructura de múltiples ciclos derivacionales, resulta que la espina oracional consistiría únicamente en dos categorías: núcleos/complementos y bordes, salvo en el constituyente más bajo de la oración. Así pues, parecería más apropiado sustituir la figura 11-14 por 11-15:

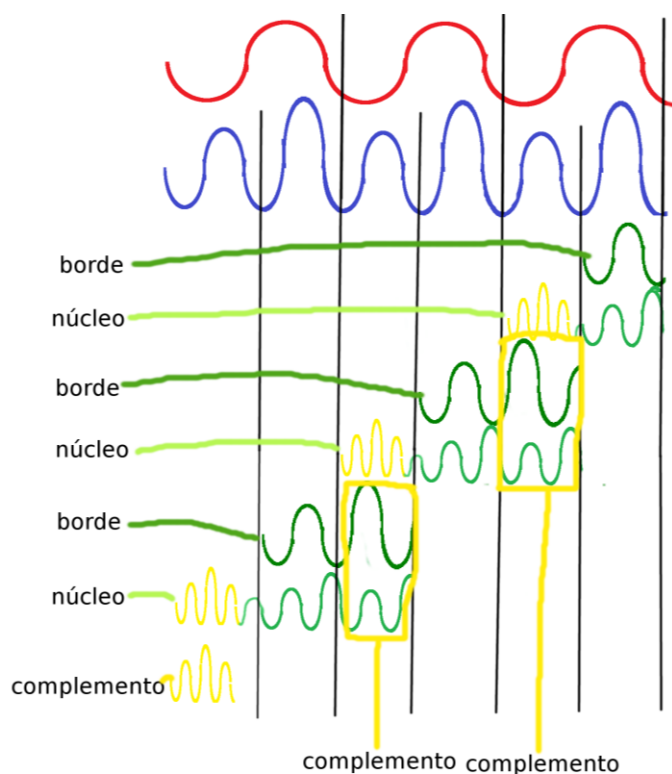


Figura 11-15 Posible formato de la oración en la sintaxis neuronal tras combinar múltiples ciclos.

A pesar de que en la figura 11-15 se puedan identificar complementos más allá del primer dominio derivacional, los habría de distinto tipo. Aunque descriptivamente adecuado, esto supondría la pérdida de la relación (establecida en § 11.1) de ritmos con los elementos básicos de la estructura oracional identificados en § 10. Dicho de otro modo, existiría una variabilidad en el tipo de unidades que forzaría a recategorizar algunos elementos si se quiere preservar su correspondencia con ritmos.

A uno se le ocurren múltiples “soluciones”, pero parece mejor rechazarlas en aras de la prioridad de lo explicativo. Por ejemplo, podría echarse marcha atrás, haciendo que el núcleo, cuando está en el estadio derivacional siguiente a aquel en que proyectó, dejase de usar *beta* y volviera a *gamma*, debido a que se transformaría en un complemento. Aunque esto nos permitiría recuperar la categoría de complemento, la vuelta de un ritmo *beta* a un ritmo *gamma* me parece arbitraria y contraria al funcionamiento de la proyección tal como se propuso en § 9.3. Con imaginación, se podría dar alguna justificación (como la pérdida del componente de trabajo del control ejecutivo, que dejaría de operar con ese núcleo, y haría que la asamblea se redujera y se perdiera la conexión a *beta* con estructuras frontales, etc.) pero me parece una solución interesada.

Otra posibilidad es variar la correspondencia entre categorías y ritmos afirmando que *beta 2* se corresponde con núcleos de fase, *beta 1*, con su borde, y *gamma* con la sonda derivada, siguiendo más o menos el formato acategorial de fases delineado en § 10.3. De esta forma, se podría solventar más o menos el problema que se produce en la mayor parte de la oración (pero seguiría siendo problemática la primera proyección). Alternativamente, podría usarse, como en trabajos previos (v. Ramírez 2014, 2015a), la teoría de fases de Boeckx (2015), considerando que *beta 2* corresponde a núcleos de fase transitiva, *beta 1* a núcleos de fase transitiva, y *gamma* a no núcleos de fase, aunque estos abarcarían múltiples elementos. Algo similar podría hacerse en términos de categorías funcionales, léxicas, etc. Sin embargo, dar pasos en estas direcciones supondría la adscripción a teorías que considero demasiado específicas e inexactas; la pérdida de la uniformidad de fondo que se ha notado en las estructuras ternarias discutidas en § 10, con la que se intenta poner algo de orden en el caos y la variabilidad de la corriente; la vinculación demasiado fuerte a cierto tipo de cartografía, etc.

Y una tercera opción sería, como se ha discute en otras partes de la tesis renunciar al mecanismo de multiplexación por división de frecuencia, optándose, en su lugar, por el popular mecanismo de codificación por fase (v. § 5.4.7). Entonces la recategorización

comentada arriba no sería problema, puesto que podría recurrirse a diferentes fases del ciclo *theta* para diferenciar elementos, cuando las assembleas de los mismos, en el transcurso del procesamiento, varían la relación de sus disparos con el ciclo *theta*. No obstante, se perderían todos los paralelismos interesantes que se han encontrado en § 11.1, y se reduciría la coherencia interna del modelo, en el que la distinción de tres ritmos rápidos en ciertas estructuras permite explicar otras propiedades del lenguaje como sus límites (v. § 12). Aparte, podría aumentarse, a conveniencia, la cantidad de bandas para diferentes categorías, pudiéndose dar una reproducción más fiel de la estructura oracional más popular: por ejemplo, se podría echar mano de cinco ritmos rápidos para cinco posiciones, afirmando que *beta 2* es el núcleo de fase, *beta 1* el borde (posición A'), *gamma* lento el especificador de la sonda derivada (posición A), *gamma* medio la sonda derivada, y *gamma* rápido el complemento de fase (sin que esto solventara el problema de la recategorización del complemento, pero sí otros como los señalados en § 10, la coexistencia de múltiples especificadores, etc.).

Estimo que aceptar estas posibilidades supone restar solidez conceptual al resto de propuestas de la presente tesis, recurrir a trampas y picotear de aquí y de allá entre teorías de forma demasiado arbitraria (como, en ocasiones, se hace en lingüística). Prefiero una explicación más o menos persuasiva de la estructura básica de la oración (sintagmas o fases), que una explicación menos convincente de toda la oración. De hecho, como ocurre por ejemplo en el caso de los especificadores y las preguntas que suscitan sobre el espacio computacional en paralelo, este es un problema que aqueja igualmente la teoría: en la teoría de fases, por ejemplo, no hay ideas claras de cómo se enlazan (a distintos niveles, como el semántico) los diferentes complementos que se van transfiriendo, ni cómo esto se reconcilia con el hecho de que las unidades que analizamos como bloques son fases al completo, y no los complementos que se transfieren (v. Müller 2011). Sería utilizar un doble rasero esperar aquí, por el contrario, una explicación irrefutable a cómo se combinan las estructuras de § 11.2.

11.4 Propiedades estructurales, relaciones y principios

Habiendo abordado la manera en que la sintaxis neuronal o la interacción de ritmos puede generar la estructura sintáctica, es interesante ver cómo la interacción de los

ritmos se ajusta (o respeta) algunas propiedades y principios notados desde la lingüística. Para empezar, en § 2.2.2.2 se puso de relieve que las producciones lingüísticas se organizan en una estructura jerárquica. En este capítulo, se ha visto que las posiciones que ocupan los elementos en la jerarquía se siguen directamente de la temporalidad con que se aplican los mecanismos y de la función de los propios ritmos, como *beta*, que permite a ciertos elementos vertebrar la estructura y enlazar diferentes ciclos derivacionales, por estar más tiempo disponibles en el GW (v. §§ 9.2-9.3).

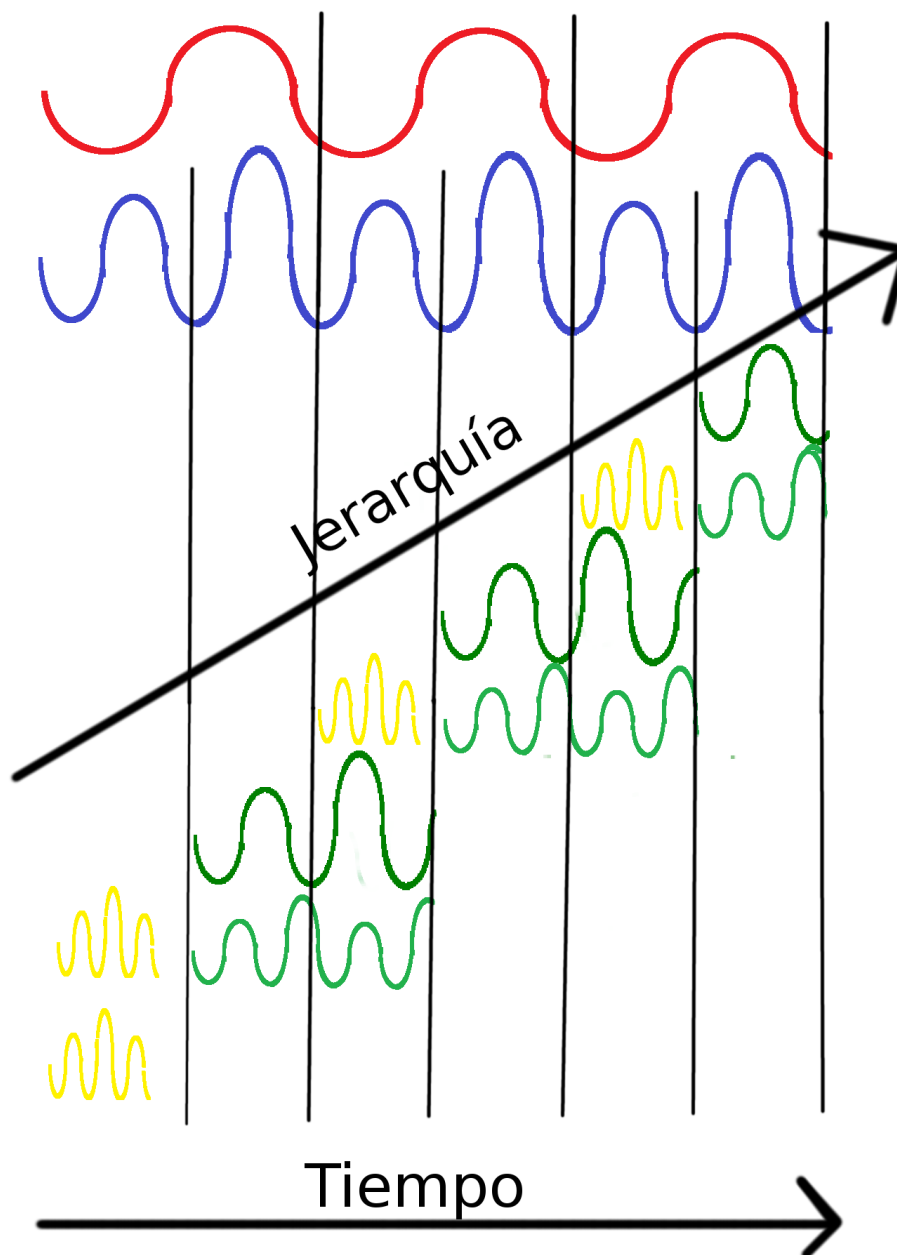


Figura 11-16 Formación de estructura jerárquica a partir de relaciones temporales.

Que los elementos puedan encontrarse en diferentes ciclos derivacionales o en diferentes posiciones responde a un factor temporal, esto es, a que su permanencia en el GW es mayor. Este sería el caso, por ejemplo, de los bordes a *beta* 1, que se sostienen durante más tiempo que ninguna otra clase de elemento. Además, los núcleos que se valen del mecanismo de proyección implementado por *beta* sirven para capturar la propiedad de la endocentricidad de las estructuras sintácticas. Es un elemento prominente porque es seleccionado, dura más tiempo, sufre más trabajo del control ejecutivo, etc. Asimismo, podría ser responsable de la recursividad (v. § 11.2.3) por la susodicha capacidad de actuar de enlace.

En §§ 2.2.2.3 y 2.2.2.6 se hizo referencia al establecimiento de relaciones locales y a distancia entre los elementos de la estructura. Arriba, las relaciones locales han dependido del acoplamiento inter-frecuencia entre el ritmo que forma y sostiene la representación y la oscilación *alpha* del GW. Por consiguiente, la relación núcleo-complemento dependería del acoplamiento inter-frecuencia de asambleas a *gamma* (una de ellas a *beta* al proyectar) con *alpha*, y la relación núcleo-borde surgiría del acoplamiento a *alpha* entre la asamblea a *beta* 2 del núcleo y la del borde a *beta* 1 (que ocurría más tarde). En la misma línea, las relaciones a distancia (en pasos locales) dependería de la posibilidad de *beta* 1, responsable del borde, de permanecer durante más tiempo acoplada al GW. En él, se iría combinando sucesivamente (y localmente) con los múltiples núcleos que pasaran por ese espacio.

Otra propiedad es que la estructura se comunica a otros sistemas (v. § 9.4). Esto sería producto de la sincronía con *theta* (y la asincronía con *alpha*), que a su vez podría conectar con regiones más específicas como el área de Broca. Es en estas regiones donde tendrían lugar ciertas constricciones que también caracterizan las construcciones lingüísticas y las relaciones que pueden establecerse en ellas. Sin embargo, esta cuestión se desarrollará por extenso en § 12.

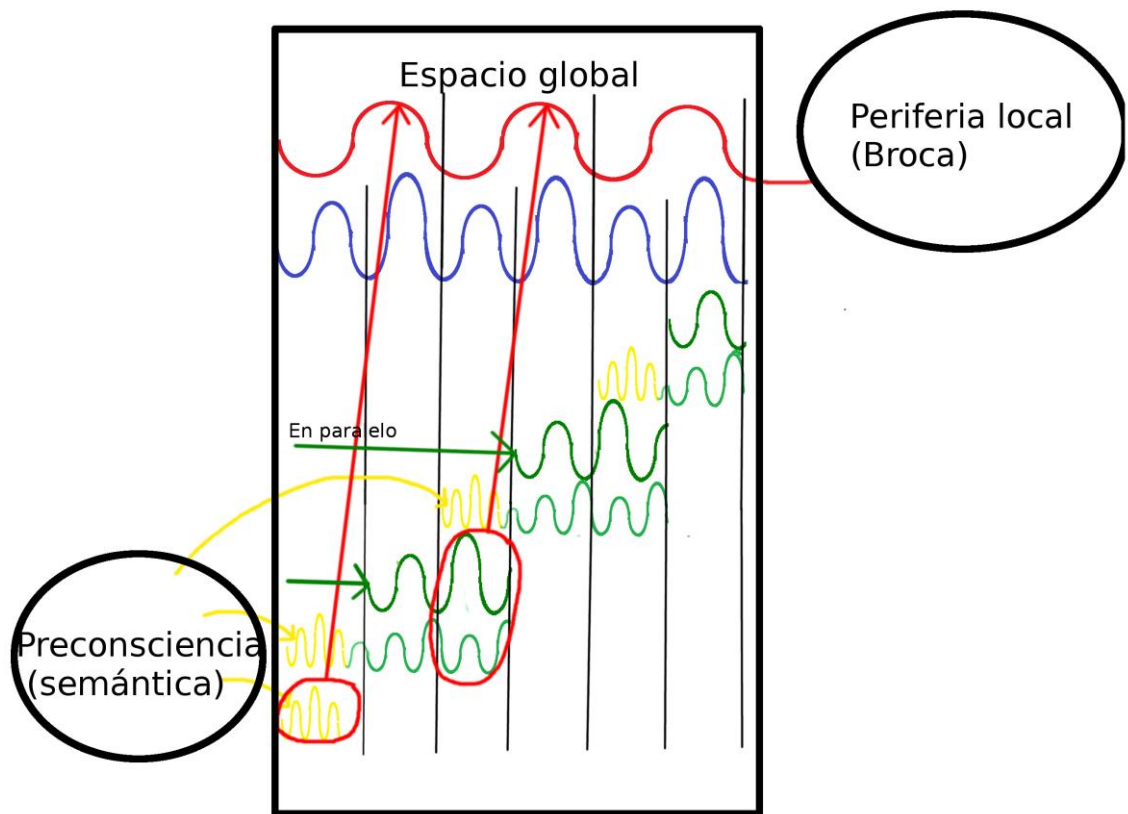


Figura 11-17 Transferencia de las representaciones por sistemas en relación con la consciencia en una arquitectura global/local.

Dejando ahora a un lado las propiedades, y entrando en los principios, podemos empezar por el de interpretación plena. Conforme a este, la información debe ser compatible entre los sistemas interconectados. En la sintaxis de arriba, toda la información compartida entre estructuras gracias a ritmos (lentos) es compatible. Asimismo, son compatibles las interacciones entre ritmos, que respetan la jerarquía que gobierna su acoplamiento en la sintaxis neuronal (v. § 7.2) y están respaldadas por las conexiones entre las estructuras implicadas. Igualmente, la condición de extensión o de *no tampering*, que consiste en que el procesamiento debe ser básicamente acumulativo y no modifica el de estadios previos, parece cumplirse⁷⁷. Por cómo parece funcionar el universo mismo, el procesamiento cerebral se sucede en el tiempo y lo que sucede en un estadio previo influye en lo que se procesa luego, pero nunca a la inversa⁷⁸. Así, por

⁷⁷ Este principio no significa que el procesamiento de estadios previos no pueda elaborarse más. De hecho, el cerebro parece una suerte de máquina en que se reelabora información sencilla en información más compleja. Tampoco significa que todo procesamiento sea *feed-forward*: existe modulación *top-down* (en nuestro caso, ejercida por *beta* y *theta* del control ejecutivo), las predicciones de sistemas de mayor orden pueden alterar el procesamiento en regiones de menor orden, etc.

⁷⁸ Esto es distinto a que sistemas de mayor orden influyan en sistemas de menor orden, aunque la visión simplista es que, cuanto más alto en la jerarquía, más tarde se activa el procesamiento.

ejemplo, para que *proyección* pueda aplicarse, se actúa sobre una representación a *gamma*, pero eso no anula el mecanismo previo de selección y recuperación de un elemento de la memoria semántica. Aunque todo esto parezcan obviedades en el contexto de la presente tesis, no es infrecuente que en lingüística se retroceda a puntos previos de la derivación o se altere información que ha dejado de estar disponible.

También se respeta el principio lingüístico de *last resort*, por el que no existirían operaciones vacuas, puesto que en la sintaxis neuronal aquí esbozada, todo ritmo tiene una función y toda interacción sirve para algo. Sería absurdo, y contrario a lo costosa que parece la computación en el cerebro, introducir mecanismos vacuos, sin correlatos en el lenguaje, o ritmos aleatorios sin que esto repercutiera significativamente sobre el procesamiento normal. De nuevo, algo que necesitamos hacer explícito en lingüística parece una obviedad en el contexto del cerebro, por lo que puede ser de utilidad tomar cierta distancia de la teoría y reconsiderarla. Además, la condición de impenetrabilidad de fase, según la cual la información que se transfiere de un sistema a otro deja de estar disponible para el procesamiento del primero, se sigue naturalmente de la pérdida de sincronía de los elementos transferidos con el *alpha* del GW y la conexión mediante *theta* con sistemas externos. Una vez se ha roto la coherencia con el GW, se ha roto la comunicación (v. § 5.4.4) y la posibilidad de que sus estructuras alteren significativamente lo que ocurre en otra región y con otra temporalidad.

Por último, el principio de inclusividad postula que la información transferida a los demás sistemas ya debe estar contenida en las propias representaciones. En la sintaxis neuronal aquí esbozada la información que forma parte de las representaciones (en ciclos de la oscilación rápida, por ejemplo) alcanza el resto de sistemas, pero también se añade información nueva, incluso en las propias dinámicas. Por tanto, el principio de inclusividad se viola, opino que necesariamente. Si, conforme al mismo, el *input* y el *output* del procesamiento fuera el mismo, todo el procesamiento cerebral se volvería vacuo y la gran mayoría de interacciones de los ritmos serían irrelevantes. Aunque la inclusividad pueda ser una noción de utilidad para evitar que el lingüista sea demasiado prolijo en la introducción de símbolos, etc. en las representaciones, desde un punto de vista del funcionamiento cerebral, es un sinsentido.

11.5 Conclusiones

La discriminación de los tres elementos básicos que componen la estructura sintáctica/fásica, complementos, núcleos y bordes, implementados mediante ritmos *gamma*, *beta 2* y *beta 1*, respectivamente, presenta interesantes paralelismos con la organización estructural y dinámica de la corteza. En general, se producen ciertos principios, como una relación directa entre la frecuencia del ritmo, la duración en el GW de la representación que este implementa (una menor frecuencia equivale a una a mayor duración) y la complejidad del tipo de representación (una frecuencia menor supone una mayor complejidad). Asimismo, habría correlaciones, a nivel teórico, entre la función que desempeñan los ritmos, o incluso su propia generación, y las propiedades de los elementos que identifican, como la relación entre la génesis de *beta 1* y el proceso de *copia* o derivación en paralelo de los bordes.

Los tres ritmos/representaciones se enmarcan en una sintaxis neuronal más compleja, donde se han identificado unidades sintácticas relevantes para la lingüística teórica con mayor precisión y riqueza que en neurolingüística (v. § 8.1.3.3) y en la sintaxis neuronal de Buzsáki (2010). De esta forma, se han identificado los ciclos *gamma* con los rasgos; las oscilaciones *gamma*, fruto de la *selección*, con las piezas léxicas (y los complementos); las oscilaciones *alpha*, que acoplarían los otros ritmos más rápidos de las ensamblas neuronales de las representaciones, con los conjuntos formados por *ensamble*; las oscilaciones *beta* (a las que se ralentizan las *gamma* y que pueden estar gobernadas por *theta*) con los nudos no-terminales, concretamente, *beta 2* constituiría los núcleos, que crean dependencias más locales, y *beta 1* implementaría los bordes, que crean dependencias globales; y, finalmente, los ciclos *theta* se han asociado a sintagmas/fases⁷⁹.

⁷⁹ Recuérdese la asociación de colores y ritmos: amarillo representa *gamma*; verde claro, *beta 2*; verde oscuro, *beta 1*; azul, *alpha*; rojo, *theta*.

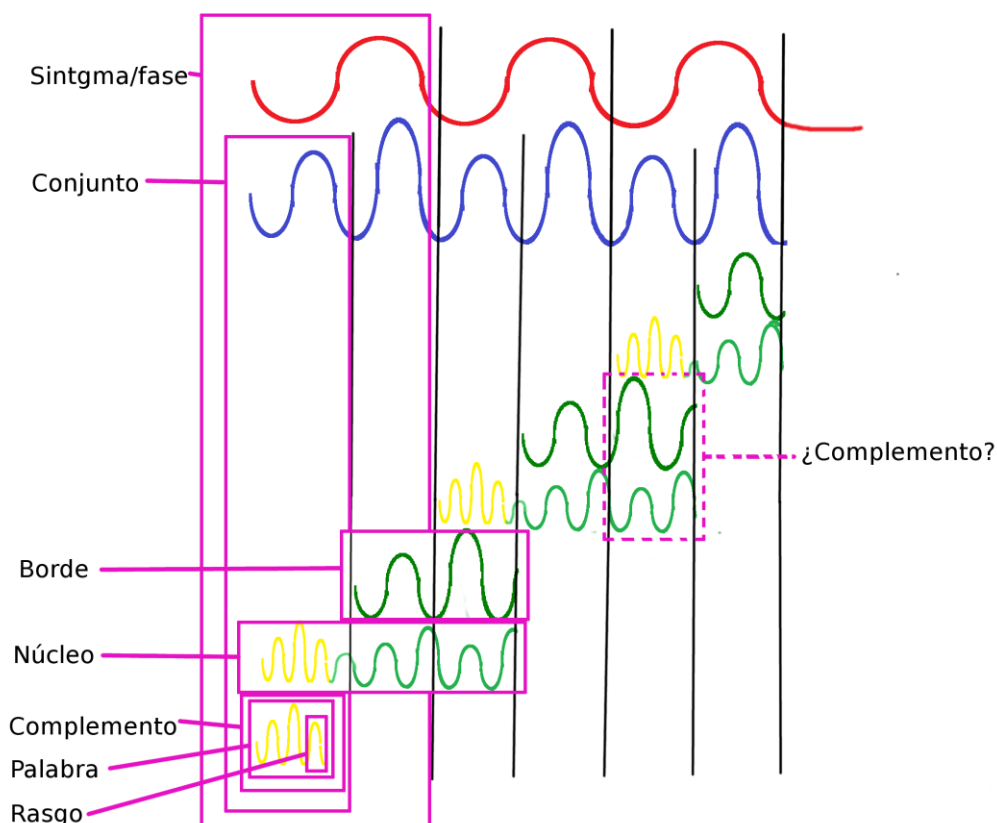


Figura 11-18 Unidades lingüísticamente relevantes de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.

En todas estas interacciones de ritmos, se ha sido fiel a las funciones definitorias de cada uno y a los principios que gobiernan la sintaxis neuronal (v. §§ 3.4 y 7.2). Por ejemplo, los ritmos lentos han gobernado los rápidos, y no a la inversa; se han usado para las operaciones que reclutan regiones más amplias del cerebro, mientras que los ritmos más rápidos se asocian a las asambleas más locales; los ritmos a mayor frecuencia (con la salvedad de *beta*, supeditado al control temporal de *theta*) han identificado unidades más frecuentes en la oración, y los más lentos, unidades y operaciones menos frecuentes; etc. Asimismo, se han explotado las interacciones de ritmos para obtener el mayor poder computacional, verbigracia, el *ensamble* usa el acoplamiento inter-frecuencia entre *alpha* y ritmos más rápidos en la franja *beta-gamma*.

Con todo, hay dificultades a la hora de generar e introducir los especificadores, para los cuales tampoco se ha encontrado una explicación clara en la lingüística. Sobre la necesidad del procesamiento en paralelo, se ha especulado con sistemas que teóricamente serían capaces (diferentes *buffers* de la memoria de trabajo, la vías duales, etc.), pero no

se ha querido complicar el modelo con hipótesis de menor solidez conceptual y que podrían debilitarlo por otro lado. Intencionadamente, tampoco se ha salvado el problema potencial que plantea la combinación de sintagmas/fases en la oración al surgir la necesidad de recategorizar los elementos (definidos a partir de nociones relacionales que se alteran en el curso de la derivación pero que podrían resultar estables usando como referencia los ciclos (*theta*)). Se ha preferido priorizar la capacidad explicativa de las hipótesis desarrolladas hasta el momento a dar soluciones *ad hoc* o con una base teórica menos convincente. La explicación se ha focalizado en la generación de lo esencial de la estructura sintáctica considerando que, de haber algo básico y transversal en todos los análisis, eso es la estructura ternaria a la que condujo la discusión de § 10.

Al margen de estas cuestiones, se ha mostrado que a través de la aplicación de los mecanismos y de su temporalidad se podría generar una estructura sintáctica/fásica clave en la teoría lingüística. La organización jerárquica se sigue, pues, del factor temporal, de modo que cuanto más tarde se sincroniza un elemento, más arriba aparece en la jerarquía. Asimismo, para construirla, se ha destacado la función de *beta*, que permite a los núcleos encontrarse en múltiples estadios derivacionales y a los bordes crear dependencias globales, capturándose así propiedades definitorias del lenguaje como la recursividad o la capacidad de relacionar elementos no adyacentes, para la cual son importantes estructuras frontales y los ganglios basales. En la misma línea, se han reconocido algunos principios del lenguaje y algunas propiedades de las estructuras sintácticas (v. § 2). Respecto a estas, se ha asociado la endocentricidad a *beta*, las relaciones locales a *alpha*, las relaciones a distancia a *beta 1*, la comunicación con otros sistemas a *theta*, etc. En lo referente a los principios lingüísticos, algunos han resultado ser una noción casi de sentido común, como la *no tampering condition*, por la misma naturaleza del procesamiento en el cerebro (que se sucede en el tiempo, igual que el resto de eventos en un universo determinista donde el estado previo condiciona el futuro y no viceversa) o el de *last resort*, que se mantiene por parecer un absurdo introducir ritmos con funciones vacuas, etc. De forma similar, la PIC depende solo de que las assembleas pierdan la sincronía con el *alpha* del GW y establezcan sincronía a *theta* con los sistemas externos, de modo que el principio lingüístico sería fruto, en última instancia, del principio cerebral de la CTC. Por el contrario, habría principios de la lingüística que carecen de sentido a la luz de cómo funciona el cerebro, como es el caso de la *inclusividad*, que tornaría vacuo todo el procesamiento descrito. En definitiva, se ha mostrado una forma en que la sintaxis

lingüística (§ 2) podría surgir de la neuronal (§ 7) al interactuar los mecanismos (§ 9) adecuadamente, esto es, respetando los principios, las funciones de las oscilaciones, las funciones y propiedades del lenguaje, etc. Una vez se han abordado los mecanismos, principios y relaciones del lenguaje, el siguiente paso es tratar de subsanar otra laguna de la neurolingüística: la explicación de algunos límites. Pasamos al capítulo siguiente.

12 Implementando límites.

Localidad en las estructuras cerebrales y lingüísticas

En este capítulo, en coherencia con las premisas y propuestas de la presente tesis (v. § 3), se defenderá que hay constricciones del lenguaje que emergen de los límites en los patrones oscilatorios que pueden sostener ciertas estructuras cerebrales locales (v. § 11 para la sintaxis neuronal en un espacio global). Se desarrolla, por lo tanto, la idea defendida en Ramírez (2014, 2015a) que, a su vez, desarrolla la idea de Boeckx (2013:473) de que la prohibición de elementos de la misma categoría en complementos de fase “may result from constraints imposed by how many rhythms the brain can couple in particular activities”⁸⁰. Si las oscilaciones sirven para implementar mecanismos, sus propios límites acotarán el poder computacional de los mecanismos. De estos límites pueden nacer algunas constricciones que observamos desde arriba en el lenguaje. Básicamente, los efectos de localidad en el lenguaje surgirían de efectos de localidad en estructuras cerebrales, que se seguirán de un principio general del cerebro a sincronizar su actividad. Este enfoque acercará la teoría al nivel implementacional (Marr 1982), explorándose una vía para explicar por qué la cognición tiene ciertas propiedades y no otras a partir de las propiedades de los circuitos cerebrales que la generan. Se llegará así a una respuesta a la pregunta *why* del programa minimista (Chomsky 1995) más profunda que la habitual y que, además, resultará más creíble o familiar a miembros de otros campos científicos.

El proceso por el cual los mecanismos generan (en el lenguaje) estructura con determinadas propiedades universales está sujeto a ciertos límites también universales. A continuación propondremos una implementación para alguno de ellos, como se hace en neurociencia para otros dominios cognitivos, pero como no se practica en los principales

⁸⁰ Para una discusión paralela, véase Murphy (2016b).

modelos neurolingüísticos. Una de las constricciones fundamentales del lenguaje, de las que pueden nacer otras, es el conflicto que plantea la coexistencia de elementos ambiguos o demasiado similares en ciertos dominios locales (v. Richards 2010, Boeckx 2015). Aquí, con “dominios” nos referimos al marco estructural o la parte del proceso derivacional donde tienen lugar las constricciones o las condiciones sobre la estructura que se genera o las relaciones que pueden establecerse. En cada uno de estos dominios se realizan determinadas operaciones y relaciones. Al observar toda la derivación, se aprecia un proceso de naturaleza cíclica, es decir, hay ciclos o tandas de operaciones que se repiten una y otra vez. Cada ciclo se corresponde con un dominio (local) que en el modelo de la presente tesis se construye en el periodo de un ciclo *theta* responsable de la transferencia (v. § 9.3). Además de constricciones dentro de dominios (o a corta distancia) se ha defendido la existencia de constricciones a través de dominios (o a larga distancia), de manera que pueden considerarse, respectivamente, relaciones locales y globales (v. §§ 2.2.2.3 y 2.2.2.6). Sin embargo, ambas se intentarán reducir a un mismo fenómeno de ambigüedad dentro de dominios locales. Esto supondrá, en última instancia, que diversos fenómenos donde operan constricciones lingüísticas (estructura sintagmática, anti-identidad, anti-localidad, minimalidad, etc.) se reducirán a un efecto de localidad en dominios locales donde no pueden interpretarse elementos demasiado similares. Aunque los dominios pueden entenderse como fases y/o de sintagmas (v. § 10), las constricciones seguirán un mismo principio o una misma lógica, insensible a esta distinción.

12.1 La restricción de base: la anti-ambigüedad

A pesar de que en lingüística se han identificado múltiples constricciones (transgresiones de ligado, de movimiento, etc.), es posible que buena parte de ellas pueda reducirse a una restricción que calificaremos como “anti-ambigüedad”: el lenguaje estaría limitado en el procesamiento de elementos demasiado similares demasiado cerca el uno del otro porque tal coexistencia plantea una ambigüedad interpretativa irresoluble (v. Boeckx 2015). Así, se ha defendido que al alcanzar los sistemas externos (subáreas de Broca en el modelo de la presente tesis), el procesamiento lingüístico se topa con problemas para interpretar construcciones de tipo *XX, esto es, construcciones donde hay elementos (categorialmente) equivalentes dentro de ciertos dominios. Este fenómeno lo denominaremos anti-ambigüedad, en un intento de aunar en una categoría mayor varias

constricciones lingüísticas que pueden tener un origen común. En un primer momento, se unificarán los fenómenos de anti-identidad (coexistencia de categorías iguales, Richards 2010, Boeckx 2015, Narita 2012) tanto en relación con las fases como con los sintagmas (lo cual difiere de la concepción de anti-identidad común) y los fenómenos de anti-localidad (Grohmann 2011), en que se bloquea el movimiento dentro de dominios locales. Luego, la misma anti-ambigüedad servirá para explicar efectos de minimalidad, en que parece bloquearse el movimiento de constituyentes a través de dominios cuando hay (cerca) elementos demasiado similares. Para ello, se defenderá que en realidad el fenómeno se produce dentro de dominios, en un ciclo derivacional y, por lo tanto, de forma igualmente local.

12.1.1 Ejemplos

Si reparamos en sintagmas, nos encontramos la restricción de que no podría haber más de un elemento de cada tipo (núcleo, especificador, o complemento):

- (1) a. * Bea v [come **manzanas naranjas**]
 * [núcleo **complemento complemento**]
 b. * [**Javi Bea** [comen manzanas]]
 * [**especificador especificador** [núcleo complemento]]
 c. * Bea [**come pela** manzanas]
 * [**núcleo núcleo** complemento]

Desde el punto de vista de la teoría de fases, la coexistencia de elementos categorialmente idénticos está bloqueada:

- (2) a. *sono [**molte foto del muro**][**la causa della rivolta**] (adaptado de Moro 2000)
 b. *Describieron [**a un maestro de zen**][**al papa**] (adaptado de Boeckx 2008)
 * Y [**X**] [**X**]

De forma similar, Grohmann (2000, 2011) apunta a una constricción de “Anti-localidad” (3), que, a grandes rasgos, bloquea las dependencias (de movimiento) en fragmentos locales de estructura, que serían transferidos a sistemas externos.

(3) *...T... [**John_i** likes **t_i**] (adaptado de Grohmann 2011)

* [**X Y X**]

Según Grohmann (2011), el movimiento se restringe a fragmentos de estructura (denominados “dominios prolíficos”) en los que se establecerían las relaciones temáticas, de concordancia y de discurso y que se corresponden con lo que, de acuerdo con algunas teorías (v. Gallego 2010), vienen a ser o comportarse como fases: Sv, ST y SC. No obstante, una posibilidad que el mismo Grohmann (2011) discute es considerar que los dominios relevantes son sintagmas. Por ejemplo, si en (3) el dominio local se considera SV, el fenómeno ocurre a nivel sintagmático; si, en cambio, se considera Sv (Larson 1988, Hale y Keyser 1993), puede considerarse un dominio prolífico o, siendo sospechosamente similares, una fase (o complemento de la misma).

Por último, aunque a primera vista parezca una constricción diferente, nos encontramos con efectos de minimalidad, donde el movimiento de elementos a través de dominios se bloquea cuando están presentes otros elementos demasiado similares, como sucede con varios elementos interrogativos:

(4) a. How do you think [he v [behaved (how)]]? (adaptado de Rizzi 2011)

b. *How do you wonder [**who** v [behaved (**how**)]]?

* ...Y... [...**X**...]**X**...

Defenderemos que esta constricción puede explicarse en los mismos términos que las anteriores.

12.2 Unificando los dominios, la anti-localidad y la anti-identidad

A pesar de las distinciones de dominios entre sintagmas, fases y dominios prolíficos, creo que existe una uniformidad de fondo y que es posible unificar los dominios donde tienen lugar estas constricciones. Aquí no se abundará en la unificación

de sintagmas y fases (v. § 10) y se asumirá que los dominios prolíficos son sólo una reinterpretación o una versión de las fases a partir de un criterio distinto al popular: la coherencia interpretativa, que ya apuntara Chomsky (2000) en su definición de fase (v. Ramírez 2015a para más detalles). Por consiguiente, consideraremos que los dominios relevantes son, al mismo tiempo, sintagmas, fases y dominios prolíficos o que pueden, por lo menos, ser tratados de forma semejante para dar con una explicación.

Para reducir las diferencias entre la anti-identidad (Richards 2010, Boeckx 2015) y la antilocalidad (Grohmann 2000, 2011), puede contemplarse la hipótesis de que los productos de *ensamble* interno y de *ensamble* externo son lo mismo (Boeckx 2008). De ser así, en ambos casos se llega a un mismo tipo de estructura ambigua a través de unos mecanismos (prácticamente) similares y en ambos casos, la ambigüedad se produce en el sistema (externo) por no poder interpretar dos elementos iguales dentro del dominio, al margen de que procedan de *ensamble* externo (fenómeno normalmente recogido en la anti-identidad) o de *ensamble* interno (anti-localidad). De hecho, si comparamos (2) y (3), el conflicto es el mismo: dos elementos iguales en un dominio local.

12.3 Reduciendo constricciones globales a dominios locales

Los efectos de minimalidad han sido advertidos desde el *A-over-A principle* de Chomsky (1964) (v. den Dikken y Lahne 2012 para una revisión). En estos casos, los elementos más altos en la estructura (pero debajo de la sonda, en términos de Chomsky 2001) actúan como interventores o bloqueadores para elementos del mismo tipo más bajos en la jerarquía (Rizzi 1990). Simplificando, esto puede verse como que la combinación de ciertas piezas resulta conflictiva cuando coinciden con otras muy similares (un caso más de anti-ambigüedad), aunque ahora con la aparente salvedad de que los elementos parecen encontrarse en dominios distintos. Si el lector vuelve sobre (4), tendrá la impresión de que se trata de una dependencia global, no local. Imaginando (de una forma metafórica que suele emplearse en lingüística) que hay algo (C) que atrae el elemento interrogativo *how*, esta atracción es bloqueada por la presencia de un elemento interventor más cercano al atractor.

Chomsky (2013) plantea que estas constricciones pueden relacionarse con los problemas de etiquetado con estructuras *SX SX (que no dejan de ser de la misma

naturaleza que la anti-ambigüedad). Así pues, insistiendo en la unificación de fenómenos, parece que una restricción a larga distancia, o entre dominios, podría reducirse a una restricción a corta distancia, o dentro dominios, del tipo de anti-ambigüedad discutido arriba. En realidad, contamos con un recurso para unificar las restricciones intra e interdominios: el movimiento (*ensamble* interno) cíclico. El movimiento es un candidato excelente para mostrar la ciclicidad de las operaciones, así como la existencia de los diferentes dominios, puesto que el elemento desplazado debe ensamblarse en los bordes de cada uno de ellos. Si el movimiento debe atravesar todos los ciclos o dominios locales de la derivación (v Müller 2004, 2011), cabe la posibilidad de que las restricciones sobre él no emerjan de la trayectoria completa, sino de un conflicto en un punto concreto del recorrido. Por consiguiente, el movimiento cíclico permite explicar los casos de (4) como conflictos locales que se producen en uno de los ciclos (5). Además, este conflicto puede entenderse en los mismos términos que las restricciones *XX que vimos en los complementos de fase (2) y MI (3). Como muestra (5), los elementos aparentemente implicados en una restricción dentro de la fase en realidad no están en diferentes dominios cuando la restricción tiene lugar (v Müller 2004, 2011).

- (5) *How do you wonder [**who(how)** v [behaved (how)]]? (adaptado de Rizzi 2011)
 * [...**X X** ... [...]]

En el análisis de (5), lo que en apariencia era una restricción entre dominios (*[...X... [...X...]]) es una restricción dentro de un dominio (*[...*X X... [...]]). Estamos, pues, ante a un caso en que tanto las restricciones entre dominios como las restricciones intradominios se explicarían por el bloqueo de ensamblar piezas locales ambiguas. Por todo ello, la anti-localidad y la anti-identidad son asimilables, y también lo son las restricciones entre dominios y dentro de dominios. Sólo existirían, en última instancia, restricciones *XX dentro de dominios locales.

12.4 Un único principio general

El principal de este capítulo es proponer una explicación para todas estas restricciones de anti-ambigüedad a partir de un único principio, en términos de

oscilaciones cerebrales. A pesar de que el intento de explicar múltiples fenómenos y condiciones a partir de un único principio es práctica común en la lingüística generativa, la clase de principios que acaban postulándose es siempre demasiado específica y circunscrita a la propia teoría lingüística. Por ejemplo, para explicar constricciones sobre el movimiento a través de dominios (entre otros fenómenos), se recurre a la PIC:

“Phase-Impenetrability Condition

In phase α with head H, the domain of H is not accessible to operations outside α ; only H and its edge are accessible to such operations”
(Chomsky 2000:108)

El principio que postulo para explicar los fenómenos de anti-ambigüedad es más general y parece estar probado en otros campos científicos: simplemente, el cerebro tiende a sincronizar su actividad (Buzsáki 2006). El hecho de que el cerebro tienda a sincronizar la actividad de sus estructuras condiciona los patrones que estas puedan sostener. Un efecto posible de este condicionamiento es que las estructuras locales se atrapen más fácilmente en oscilaciones únicas y que las globales tengan un margen más amplio porque la sincronía a esa escala es más costosa (lo cual, a su vez, impone límites, como la necesidad de ritmos lentos para sincronizar regiones distantes, v. § 5.3).

Principio de localidad en estructuras cerebrales y lingüísticas

El cerebro tiende a sincronizar su actividad, lo cual condiciona los patrones oscilatorios en estructuras cerebrales y la cognición (lingüística) y sus propiedades emergentes. Cuando estas estructuras son locales, se dan unos límites, cuando son más amplias, se dan otros.

Si mi hipótesis de que los sistemas externos son subregiones locales del área de Broca va bien encaminada, esta clase de sistemas podría ser incapaz de sostener múltiples ritmos en la misma banda. La razón, como se discute en la sección siguiente, es que la población de neuronas es tan pequeña que una oscilación en determinada banda acabará forzosamente acoplando la población en su conjunto (o más neuronas de las que debería y que aportan información no deseada) y, por lo tanto, serán imposibles múltiples ritmos en la misma banda. De este modo, si los diferentes ritmos sirven para discriminar las diferentes categorías (v. § 8.1.3.3), estos sistemas, que no pueden sostener múltiples ritmos en la misma banda, tampoco podrán interpretar múltiples elementos categorialmente iguales. En otras palabras, emergerá una ambigüedad, una sincronía inapropiada.

12.5 Anti-ambigüedad oscilatoria

Por todo lo dicho en el presente capítulo (y el resto de la tesis), tiene sentido que los efectos de localidad en el lenguaje emergen de efectos de localidad sobre las oscilaciones que pueden sostenerse en estructuras cerebrales locales. De esta forma, los límites interpretativos del lenguaje emergen de límites en los patrones de actividad cerebral en determinadas estructuras. Si los ritmos *beta 1*, *beta 2* y *gamma* sirven para discriminar las diferentes representaciones (v. § 11.1), la coexistencia imposible de categorías iguales, como dos complementos, tiene que deberse a la imposibilidad de que coexistan dos ritmos iguales en una estructura cerebral. Mi hipótesis es que una coexistencia imposible de múltiples ritmos en la misma banda tiene lugar en una estructura local, demasiado pequeña para que múltiples ritmos (que emerjan independientemente) puedan permanecer sin acabar sincronizándose (Ramírez 2014). La tendencia natural a la sincronía fuerza el acoplamiento de ritmos rápidos que discriminan las categorías. En consecuencia, si existe un ritmo en la banda *beta-gamma*, se reclutará toda la población (siempre y cuando las neuronas tengan propiedades intrínsecas que le permitan oscilar a esa frecuencia) en una única oscilación en una banda específica (o un número demasiado amplio de neuronas que codificarían información no relevante o conflictiva). Aun en el caso de que diferentes neuronas hubieran empezado a oscilar de manera independiente, la sincronía se establecería demasiado pronto y se unificarían (ambiguamente) las asambleas dentro de la misma banda. Si una asamblea equivale a una representación, y lo que debieran ser varias asambleas se integran en una sola debido a la sincronía, se estará mezclando información inadecuadamente. Es decir, se produce lo que podría considerarse

Una ambigüedad oscilatoria

Un mismo ritmo puede estar representando lo que deberían ser múltiples asambleas, cuando en realidad una asamblea con actividad coherente sólo puede implementar una representación.

Puesto que la categorización dependería de cuántos de estos ritmos pueden sostenerse, sólo podría identificarse una categoría en cada banda: *beta 1*, *beta 2* y *gamma*, o lo que es lo mismo, un núcleo, un borde y un complemento. Por consiguiente, múltiples elementos del mismo tipo no pueden diferenciarse ni ser computados adecuadamente en cada dominio/ciclo de la derivación (que dependen de *theta* y la transferencia, v. § 9.3).

Este tipo de limitación de los patrones oscilatorios es apropiado en las estructuras locales que, en la presente tesis, se han asociado con sistemas externos de subregiones del área de Broca. Estas áreas periféricas son mucho más pequeñas que las propuestas para los mecanismos generales que constituirían el núcleo del lenguaje. Así, los fenómenos de anti-ambigüedad en el lenguaje emergen: i) la sincronización inevitable y ambigua de ritmos en estructuras cerebrales causa una ambigüedad en la asamblea intolerable para los sistemas externos, que ii) se produce en regiones locales (que identificamos con el subárea de Broca y la periferia) debido a los breves retrasos de conducción axonal y a la tendencia natural a la sincronía de la actividad cerebral. Por lo tanto, lo que se ha considerado siempre (fenómenos y constricciones de) localidad en el lenguaje puede deberse, en última instancia, a lo que puede entenderse como (fenómenos y constricciones de) localidad en la actividad cerebral.

12.6 Una visión mecanicista complementaria a lo típico en neurociencia cognitiva. La periferia constriñendo el núcleo

Puesto que todos los mecanismos propuestos hasta ahora, y sus límites, son generales, la hipótesis de efectos de localidad en estructuras cerebrales debería ser extensible a otros dominios cognitivos y ser compatible con las propuestas de la neurociencia cognitiva. Efectivamente, los límites en los patrones oscilatorios se han utilizado para explicar límites cognitivos: por lo que respecta a la consciencia (v. § 8.4), se ha dicho que la capacidad del GW está constreñida por limitaciones en la sincronización del TRN (Min 2010); en relación a la atención, Miller y Buschman (2013) hablan de un ancho de banda limitado; y en lo referente a memoria de trabajo, Lisman (2010) argumenta que existe un máximo de 7 ± 2 ítems que podemos mantener a corto plazo porque este es el número máximo de ciclos *gamma* que pueden incrustarse un único ciclo *theta*. Esta limitación de la codificación por fase puede exportarse a un máximo de 4 ítems en la interacción entre *gamma* y *alpha* (Roux y Uhlhaas 2014), quizás empleada para la memoria visuoespacial. También en líneas generales, Palva *et al.* (2010) atribuyen los límites de memoria de trabajo a efectos de cuello de botella en las oscilaciones cuando implican un *hub* como el surco intraparietal.

Así las cosas, la hipótesis del presente capítulo comparte la idea principal de otros trabajos de neurociencia cognitiva: los límites cognitivos pueden surgir de límites en los patrones oscilatorios. No obstante, no hay explicaciones iguales que la que damos aquí, donde los límites, más que encontrarse en el núcleo del propio sistema, dependen de la capacidad de sistemas periféricos para procesar el *output* del núcleo. Aunque ello pueda considerarse una disonancia o desventaja con respecto a la neurociencia cognitiva, puede verse también como una aportación teórica. De hecho, los límites cognitivos atribuidos a patrones oscilatorios se han explicado de formas varias, con poco consenso y con una tendencia a ser bastante generales. En cambio, para defender la hipótesis aquí desarrollada, podemos valernos de lo que viene postulándose en lingüística teórica en las últimas décadas. En este sentido, se cree que los sistemas externos imponen constricciones que de otra forma no se esperarían, como pronunciar sólo una copia de los elementos movidos. En definitiva, las constricciones de un sistema pueden proceder de otro subsistema periférico con el que conecta y la hipótesis es, en líneas generales, conciliable con la neurociencia cognitiva (e incluso complementaria).

12.7 Sincronía ambigua. Traduciendo la teoría a ejemplos

Para traducir ahora esta teoría a casos lingüísticos concretos, recuérdese que los núcleos emplearían *beta 2*, los bordes(/especificadores), *beta 1*, y los complementos, *gamma*. Como los sintagmas contienen un máximo de un núcleo, un complemento y un especificador (Kayne 1994), su estructura queda reflejada en el máximo de un ritmo rápido en cada banda, como (6) evidencia, con un máximo de tres elementos distintos en un dominio local:

(6) [sx especificador [núcleo complemento]]
 [beta1 [beta2 gamma]]

Asimismo, la estructura ternaria de arriba puede extenderse a la de las fases (v. § 10.5). Usando como ejemplo una visión de las fases más clásica en (7), se sigue apreciando una correspondencia entre ritmos y categorías:

- (7) [... C [T (EA) v [...]]]
 [... núcleo [complemento (borde) núcleo [...]]]
 [...*beta2* [*gamma* (*beta1*) *beta2* [...]]]

La distinción entre núcleos y bordes (o núcleos de fase intransitivas, v. Boeckx 2015), limitados a un máximo de uno por dominio, puede explicar la anti-identidad. Realizando el mismo análisis de Ramírez (2015a), basado en la teoría de fases de Boeckx (2015), en (8) vemos que la coexistencia de dos bordes/fases-intransitivas/*beta1* en el dominio local está vedada.

- (8) *sono [[**molte foto del muro**][**la causa della rivolta**]] (adaptado de Moro 2000)
 *núcleo [[**borde/fase-intransitiva**][**borde/fase-intransitiva**]]
 beta2* [[*beta1***][***beta1***]]

Por el contrario, los patrones rítmicos se vuelven sostenibles cuando uno de los ritmos *beta 1*, que causaba ambigüedad, se transfiere a la periferia en el siguiente ciclo derivacional:

- (9) [Molte foto del muro sono [la causa della rivolta] (adaptado de Moro 2000)
 [borde/fase-intransitiva núcleo [borde/fase-intransitiva]]
 [*beta1 beta2* [*beta1*]]

La misma lógica puede extenderse a la coexistencia ambigua de dos núcleos (analizados en versiones anteriores como núcleos de fase transitiva, v. Boeckx 2015), que prohíben construcciones como (10), mejor enmarcada en una estructura de fases, y como (11), que fragmenta la estructura en sintagmas.

- (10) *Descr**ib**ieron [[**a un maestro de Zen**] [**al papa**]] (Richards 2010)
 *núcleo [[**núcleo/fase transitiva**] [**núcleo/fase transitiva**]]
 beta2* [[*beta2***] [***beta2***]]

- (11) *... Bea... [**come pela** patatas]

- *... borde... [**núcleo núcleo** complemento]
- * *beta1* [**beta2 beta2** *gamma*]

Sin embargo, transformar uno de los núcleos de (10) en un borde (12) resuelve el problema del sostenimiento imposible de dos ritmos *beta 2*.

- (12) Describieron [[un maestro de Zen][al papa]]
núcleo [[borde] [núcleo]]
beta2 [[*beta1*] [*beta2*]]

Dada la equivalencia entre la anti-identidad y anti-localidad (v. § 12.3), la misma explicación ofrecida para (8) puede aplicarse para los conflictos de tipo *XX en estructuras como (13):

- (13) *...T... [**John_i** likes **t_i**] (adaptado de Grohmann 2011)
* [**borde núcleo borde**]
* [**beta1 beta2 beta1**]

Finalmente, si los elementos movidos son sostenidos por *beta 1*, podemos buscar una explicación similar para efectos de intervención. En el caso de (14), cuando un *beta 1* (ensamblado internamente) coexiste en un estadio derivacional con otra asamblea de la misma naturaleza, emerge una constricción de tipo *XX en forma de dos *beta 1*.

- (14) *How do you wonder [**who(how)** v [behaved (how)]]? (adaptado de Rizzi 2011)
*... núcleo [**borde borde** núcleo [complemento...]]
*...*beta2* [**beta1 beta1 beta2** [*gamma*...]]

12.7.1 ¿Laxitud en el método científico?

A pesar del alcance explicativo, la explicación de la anti-ambigüedad en el modelo que presentamos parece predecir (erróneamente) una violación de la anti-ambigüedad cuando, debido al movimiento cíclico, un elemento movido coexiste con un especificador (15).

- (15) How do you think [**he(how)** v [behaved (how)]]?
... *beta2* [**beta1 beta1** *beta2*[*gamma*...]]

El problema se puede resolver si se considera que la coexistencia se produce en el GW, no en la periferia (de modo que se implican estructuras mucho más amplias, que permiten la coexistencia de múltiples ritmos en la misma banda). Es decir, estos dos elementos no alcanzarían la periferia en el mismo momento, que es lo que causa el conflicto (el especificador *he* se transfiere antes). Dado que el elemento movido sigue desplazándose, no se desacopla del GW. Entonces, la anti-ambigüedad se produciría sólo si el elemento movido coexiste con un especificador en el punto final donde aterriza.

En cambio, si, en contra de mi modelo, considerásemos que las copias se transfieren, se tendría que dar un efecto de anti-identidad entre el *he* y la segunda ocurrencia del *how*, ya que ambos son sostenidos por *beta 1* en un mismo ciclo derivacional. Además, tratándose de dos elementos de la misma naturaleza (*beta 1*), cabría esperar un efecto de minimalidad (en términos de Chomsky 2001) o una intervención de *he* entre la presunta sonda C y la meta, *how*. Sin embargo, estas violaciones no se producen.

12.7.1.1 Alternativas menos convincentes (por ahora)

En Ramírez (2014) se ofrece una implementación alternativa para los especificadores, que podría salvar casos como (14). Se argumenta que los bordes se podrían sincronizar con el núcleo (de fase) al que se ensamblan, formándose una única asamblea bajo *beta*. Otra alternativa podría ser incrementar el número de bandas que categorizan los ítems. Por ejemplo, disponemos del rango que va desde *gamma* lenta a *gamma* rápida, lo cual nos proporcionaría más etiquetas para diferenciar elementos. Esta posibilidad, sin embargo, me parece arbitraria e interesada a falta de una justificación detallada. Asimismo, se ha descartado en otros puntos la alternativa de codificación por fase, que podrían dar cabida a un mayor número de elementos dentro de los ciclos. Aunque echar mano de estos recursos teóricos sería fácil, no creo que deba hacerse por conveniencia y a costa de perder congruencia en el conjunto de la teoría.

12.7.1.2 Lo común del problema. El eterno conflicto entre adecuación descriptiva y explicativa

Sin ánimo de menospreciar la existencia de un aparente conflicto dado el desarrollo actual del modelo (siempre que no aceptemos que el especificador y el elemento desplazado no se transfieren a la vez), esta suerte de problemas no es excepcional. De hecho, es muy común en lingüística teórica. Una de las lecciones de la lingüística generativa es que cuanto más detalladamente se analizan los datos lingüísticos, más excepciones surgen a las teorías con mayor poder explicativo. A este respecto, los adjuntos, los especificadores, las islas, el movimiento... son fenómenos que no están completamente explicados, ni siquiera desde un punto de vista aislado y teórico, en teorías tan influyentes como las de Kayne (1994) o Uriagereka (1999). Sin embargo, esto no ha obstado para que sus teorías se hayan considerado de las más elegantes e inspiradoras. Por lo tanto, y salvando las distancias, no debería descartarse el modelo de la presente tesis simplemente porque parezca haber contraargumentos en los datos. Al menos, esto no debería hacerse conforme a los estándares de método científico que tendemos a asumir en la lingüística teórica. Mal que nos pese, los datos lingüísticos parecen estar más sujetos a libre interpretación que los datos de otras ciencias, y, tal vez por necesidad, somos menos rigurosos con su interpretación.

Así las cosas, prefiero dejar estas “contraevidencias” como una laguna por resolver en futuras investigaciones a desechar todo el modelo. La propuesta sobre constricciones lingüísticas de esta sección, por incompleta que sea, ha mostrado que la sincronización ambigua de oscilaciones en estructuras locales cerebrales puede dar cuenta de la estructura ternaria de sintagmas y fases, y de las constricciones de anti-identidad, la anti-localidad y la minimalidad (englobadas todas en la anti-ambigüedad). Crucialmente, todo esto puede hacerse a partir de un solo principio común que puede explicar muchas propiedades lingüísticas: el cerebro sincroniza su actividad (localmente). El hecho mismo de que haya algo de plausibilidad en este tipo de explicación, que a mi juicio es el mínimo que debería esperar alguien interesado en la mente/cerebro, empuja a considerarla digna de desarrollarse, incluso en el caso de que esté equivocado en los detalles concretos.

12.8 Conclusiones

Con la propuesta de implementación de constricciones del lenguaje realizada en esta sección se intenta nuevamente aventajar en capacidad explicativa los mapas más bien estáticos que solemos encontrar en neurolingüística, más centrada en localizar funciones que en explicar sus límites, así como las explicaciones demasiado específicas y abstractas de la lingüística. En cambio, en la presente tesis se ofrecen mecanismos que traen consigo limitaciones que pueden subyacer a las constricciones lingüísticas. De esta forma, se ha basado la implementación de constricciones en los mecanismos oscilatorios (§ 9) y en su interacción (§ 11). La idea fundamental es que de la misma manera que los patrones temporales que establecen las oscilaciones pueden crear patrones cognitivos y en la estructura lingüística (v. § 9.4.4), los límites en esos patrones oscilatorios pueden subyacer a los límites con que nos topamos en el lenguaje. Concretamente, se ha tratado de explicar efectos de localidad en el lenguaje a partir de efectos de localidad en parte de las estructuras cerebrales encargadas del procesamiento. Así, la intolerable ambigüedad de elementos demasiado similares demasiado cerca en el lenguaje se debería a la imposibilidad de discriminarlos mediante ritmos en estructuras cerebrales locales, debido al principio cerebral general de que la actividad cerebral tiende a la sincronía.

Las estructuras periféricas (subregiones del área de Broca), que recibirían el material transferido (a un ritmo *theta*), serían incapaces de sostener más de un ritmo rápido en la misma banda. Esto es, habría un máximo de una oscilación *beta 1*, *beta 2* y *gamma* con las que identificamos los tres elementos básicos de la estructura sintáctica: bordes, núcleos y complementos (v. § 11.1). En consecuencia, sería imposible tener múltiples elementos de un tipo específico en determinado dominio o ciclo derivacional (v. § 9.4 sobre la transferencia). Las ambigüedades lingüísticas surgirían de una suerte de ambigüedad oscilatoria en que se integraría en una sola asamblea neuronal (sincronizada en cierta banda) información conflictiva entre sí.

Bajo esta restricción, denominada anti-ambigüedad, se han englobado constricciones que comparten una uniformidad profunda, pero que se suelen analizar en lingüística como fenómenos diversos: los límites en la estructura sintagmática, la estructura de las fases, la anti-localidad y la minimalidad. Igualmente, se han intentado agrupar constricciones a corta distancia y constricciones a larga distancia, o entre y dentro de dominios. Este intento de generalizar hace ganar en capacidad explicativa, pero pierde ciertos detalles y debe afrontar la existencia de contraejemplos, como ocurre

sistemáticamente en lingüística teórica. Frente a la disyuntiva de dar muchas explicaciones a muchos fenómenos o dar una sola y más general, se ha preferido la segunda vía, reduciendo principios y constricciones lingüísticas a propiedades generales y físicas de estructuras del cerebro. Así pues, se establece una conexión entre determinadas propiedades lingüísticas, que, aisladas, parecen un misterio, con propiedades del órgano que las produce. De la misma forma que computar a escala global puede exigir el uso de ritmos lentos para comunicar estructuras, computar a escala local puede limitar los ritmos (rápidos) que pueden sostenerse.

Esta explicación puede dar cuenta de la observación, formulada con sorpresa desde la lingüística, de que los sistemas externos parecen imponer límites sobre la computación lingüística (v. § 9.4.2.1). Asimismo, complementa otras explicaciones en términos similares que se ofrecen en neurociencia cognitiva, donde se recurre más a límites de codificación por fase o más generales, como limitaciones en el ancho de banda de regiones clave. Incluso si esta disonancia sugiere que la propuesta concreta de este capítulo podría ser incorrecta, creo que es un camino digno de explorarse dada la coherencia general tanto con los rudimentos de la neurociencia cognitiva como con los fundamentos de la lingüística teórica.

13 Conclusiones generales

El lenguaje consta, por un lado, de mecanismos cerebrales usados asimismo en otros dominios de la cognición de mayor nivel, evolutiva y genéticamente determinados. Por tanto, estos mecanismos tienen homólogos en otras especies y, pese a considerarse una suerte de “conocimiento” en lingüística, no se adquieren (simplemente, así es cómo computa el cerebro). Por otro lado, el lenguaje también consiste en representaciones de memoria semántica cuyo sustrato neuronal y procesos de formación son generales y están delimitados de forma innata. Así pues, el procesamiento lingüístico consiste en la puesta en marcha de esos mecanismos que operan con las asambleas neuronales de las representaciones, por lo que no existe una competencia sintáctica independiente de la actuación o del uso del lenguaje. Aunque se crea que el procesamiento está gobernado por “reglas” o “rasgos”, con este formalismo se hace poco más que etiquetar la interacción de múltiples dominios cognitivos poco comprendidos como el sistema ejecutivo (especialmente implicado). Una concepción no modular ni específica del lenguaje como esta no obsta para identificar propiedades universales de las estructuras ni del procesamiento (sintácticos) que exigen una explicación, como son la organización jerárquica, la endocentricidad, el establecimiento de relaciones locales y globales entre elementos, la intercomunicación de sistemas, ciertos principios y límites, etc. Pese a tratarse comúnmente como característica específicas, la presente tesis muestra cómo podrían seguirse de mecanismos generales, su interacción y límites.

Para la implementación pueden ser necesarias las oscilaciones cerebrales, que son la actividad cerebral a una resolución temporal alta asociada a grandes estructuras como las reclutadas en la cognición de mayor nivel. La complejidad del cerebro exige fijar un nivel de análisis determinando una escala espacio-temporal, en el cual las oscilaciones son una suerte de lenguaje de programación entre el *software* (lenguaje) y el *hardware* (cerebro). Para analizar este último se ha adoptado una serie de premisas que han vertebrado el desarrollo de la (segunda parte de la) tesis: que las estructuras y conexiones cerebrales determinan su función y, a un nivel inferior, su actividad; que esta consiste en oscilaciones cerebrales a cierto nivel de análisis; que permiten la interacción de estructuras y proporcionan mecanismos neutrales usados en distintos dominios cognitivos, cuya temporalidad en el procesamiento podría responder a la de los ritmos

cerebrales; que la interacción de las oscilaciones está gobernada por una sintaxis neuronal con sus propios principios; y que esto constituye la base la cognición una vez la descomponemos en mecanismos simples que permiten una categorización más neutral y transversal de los dominios cognitivos, reduciéndose las tendencias apriorísticas. Sobre todo este contexto no modular se integra el lenguaje.

Hipótesis como la localización funcional llevan a fijar como punto de partida un mapeo de las estructuras y conexiones cerebrales. Habida cuenta de la neutralidad con que las estructuras pueden proporcionar mecanismos, se ha hecho una revisión de la corteza (centrándonos en las áreas asociativas) y de parte de las principales estructuras subcorticales. De la corteza se ha resaltado su organización en láminas, las vías, las conexiones a nivel de columnas corticales y las áreas funcionales definidas citoarquitectónicamente a partir de la investigación de Brodmann; del tálamo, sus conexiones con la corteza, los núcleos de primer y mayor orden que lo componen y el TRN; del hipocampo, sus regiones y la sucesión de estructuras mediante las cuales se interconecta con la corteza; de los ganglios basales, la compleja organización interna en canales paralelos, las diferentes vías, etc. En definitiva, todo esto lleva al diseño de una red como la siguiente, mucho más compleja que la típica de Broca-Wernicke-Lichtheim-Geschwind, pero que facilita la integración del lenguaje con otros dominios cognitivos y regiones excluidas en el modelo clásico.

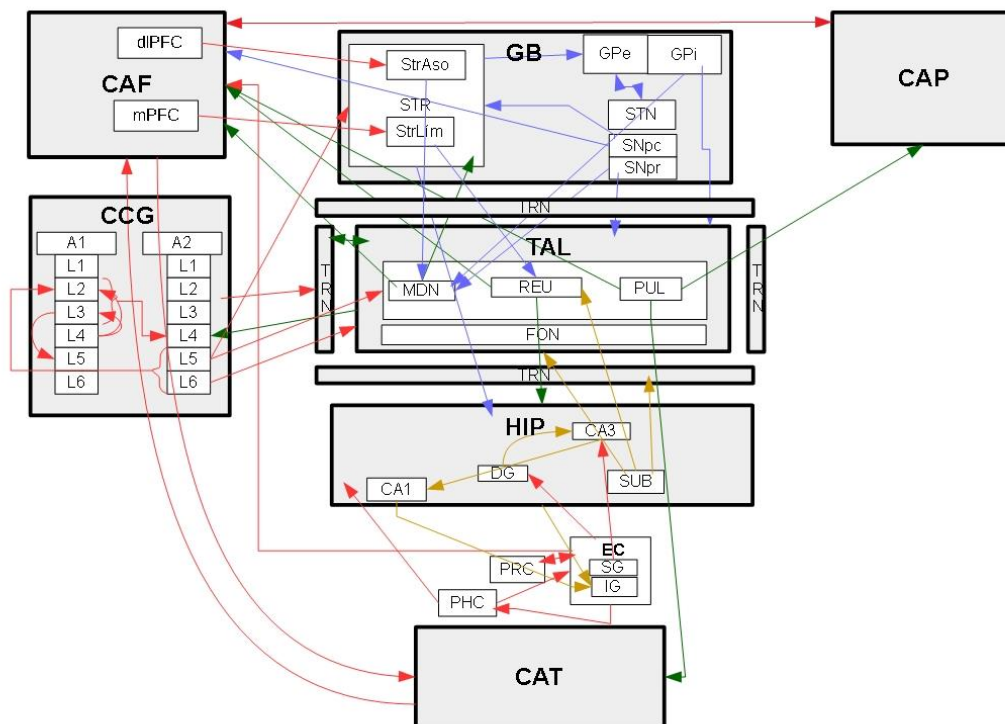


Figura 13-1 Conectoma en tamaño reducido (v. § 4.5)

En estas estructuras las propiedades de las neuronas como la permeabilidad selectiva de la membrana, el movimiento de iones, los constantes cambios en el potencial de membrana... generan oscilaciones incluso a nivel unicelular. Entender su surgimiento primero como un balance entre despolarización e hiperpolarización permite comprender luego las oscilaciones a nivel poblacional, cuando las neuronas se sincronizan dentro de ventanas temporales y se produce cierto ritmo entre la excitación y la inhibición. De hecho, las oscilaciones son un mecanismo por el que el cerebro obtiene naturalmente la sincronía y su frecuencia está fuertemente determinada por los periodos de silencio que imponen las células inhibitorias. A nivel poblacional se cumplen algunos principios básicos como que los ritmos lentos dominan los rápidos, que los lentos se ocupan de lo global y los rápidos de lo local, etc. Asimismo, las oscilaciones y sus interacciones proporcionan mecanismos de menor nivel, por lo que son computacionalmente útiles a pesar de implicar estructuras mucho mayores que las neuronas y las sinapsis individuales. En este sentido, los ritmos intervienen directamente en la comunicación entre neuronas mediante la detección de coincidencia y la modulación de ganancia, forman asambleas locales y globales mediante la sincronía con los mecanismos de BBS y CTC,

(de)seleccionan grupos de neuronas o redes jugando con la alineación temporal de los disparos y reiniciando la fase, inhiben el procesamiento de algunas regiones introduciendo unas dinámicas anti-naturales en relación a las requeridas para el procesamiento normal, son capaces de mantener información por canales separados haciendo que las asambleas oscilen a diferente frecuencia o que las neuronas disparen en diferentes puntos de la fase de un ritmo lento, crean patrones rítmicos con los que gobernar la temporalidad de la cognición y del comportamiento en última instancia, etc.

Puesto que las propiedades de las neuronas y las conexiones determinan las oscilaciones, y la composición y conexiones de las estructuras son distintas, las dinámicas que las caracterizan son por consiguiente diferentes. Con la superposición de la dimensión temporal a la espacial del conectoma se obtiene lo que se ha dado en llamar el dinoma, con el que se pretende superar límites explicativos de aquel describiendo cómo se produce realmente el intercambio de información o la formación de asambleas. Respecto a la correspondencia entre estructuras, conexiones y dinámicas, la corteza se caracteriza por *gamma* en lo superficial, *beta* (y ritmos más lentos) en las capas profundas, y *beta 1* en la interacción entre las láminas supragranulares e infragranulares; a nivel de regiones corticales más amplias, las temporales se asocian a *theta*, las frontales a *beta* y las parietales a *alpha*. En lo referente al complejo hipocámpico existen múltiples generadores de *theta* (aunque localmente es típico que interactúe con ritmos *gamma*) tanto a nivel neuronal como de estructuras relativamente amplias, siendo necesaria una colaboración para la sincronía a gran escala (que implique la corteza). En lo relativo al tálamo, aunque *alpha* sea el predominante diferentes núcleos pueden oscilar a diferentes ritmos relacionados con las estructuras con las que conectan: el *reuniens* a *theta* (conecta con el hipocampo y regiones temporales), el pulvinar a *alpha* (conecta con la corteza parietal) y el MDN a *beta* (conectando con los ganglios basales y estructuras frontales). Aparte, el TRN puede ejercer una función reguladora de las oscilaciones talamo-corticales cuyo origen sigue sujeto a debate. De forma parecida, la complejidad en la estructura y conexiones de los ganglios basales se refleja en sus dinámicas, habiendo varios generadores (corticales o no) de diferentes oscilaciones en diferentes bucles, como *theta* en el que conecta con el complejo hipocámpico (la redundancia funcional apunta a que se trata de un mismo ritmo) o *beta* en el que conecta con estructuras frontales. Por tanto, si superponemos el análisis de las dinámicas a la red de las principales estructuras y conexiones analizada previamente, se obtiene una red espacio-temporal coherente:

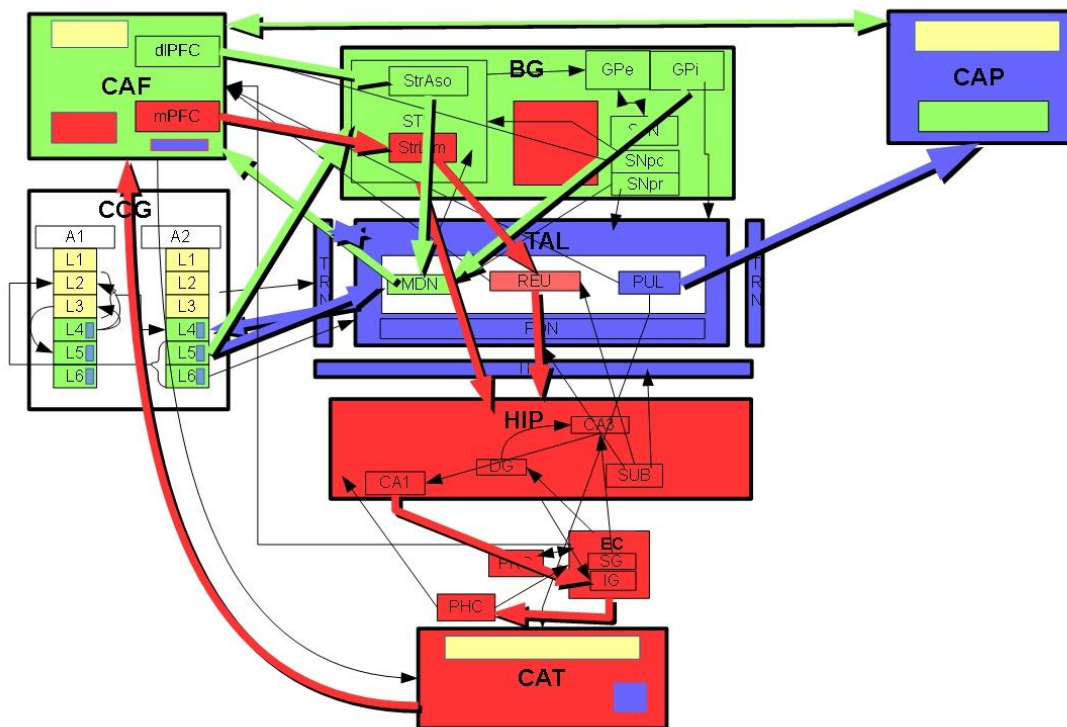


Figura 13-2 Dinoma en tamaño reducido (v. § 6.6).

Esta red nos acerca a la identificación de mecanismos neutrales en la interacción de las oscilaciones y que se atribuyen a estructuras a partir de sus propiedades, en vez de partir de un mapeo funcional tradicional como suele ocurrir en neurolingüística. En términos generales, *gamma* se ocupa de la formación de ensamblas a nivel más local; *beta* de su mantenimiento; *alpha* de la inhibición o la regulación de la intercomunicación de estructuras amplias; y *theta* de sincronizar regiones a gran escala, organizar su procesamiento y controlar su temporalidad. Estas funciones generales casan con las estructuras en que se generan típicamente los ritmos: por ejemplo, el uso de *beta* para el mantenimiento de información cuadra con la implicación de los ganglios basales y las estructuras frontales en la memoria de trabajo; o la implicación de *alpha* en el bloqueo o la apertura del flujo de información es coherente con que el tálamo es una estructura que media entre la corteza y el resto del cerebro. De este modo pueden superponerse algunos mecanismos generales al dinoma, obteniéndose una simplificación como la siguiente (v. § 7.3 para las figuras a tamaño completo):

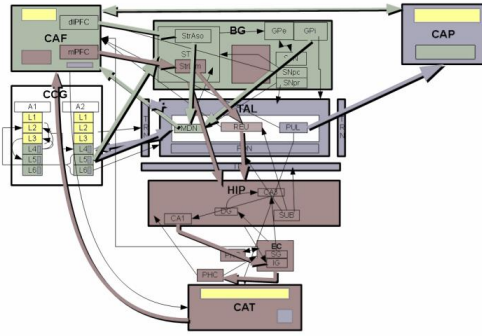


Figura 13-3 Gamma forma ensamblas (o representaciones) locales.

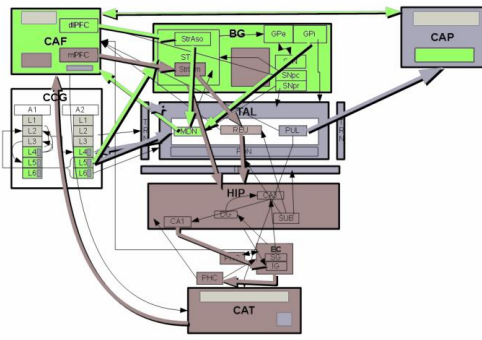


Figura 13-4 Beta selecciona y mantiene ensamblas.

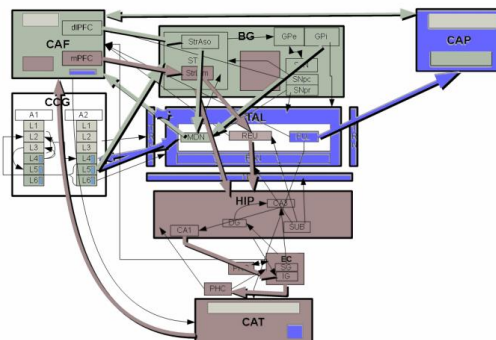


Figura 13-5 Alpha habilita o inhibe el procesamiento.

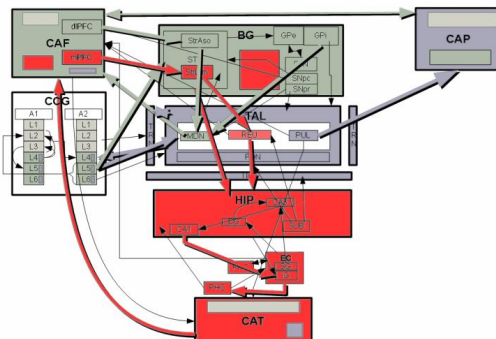


Figura 13-6 Theta organiza ensamblas e interconecta regiones.

Estos ritmos interactúan respetando ciertos principios en lo que Buzsáki llama una sintaxis neuronal, por lo que las interacciones tienen que fundamentarse en conexiones anatómicas; el acoplamiento (fase-amplitud) no es arbitrario, sino que los ritmos se jerarquizan con los más lentos dominando a los más rápidos; las relaciones temporales entre unos y otros deben ser cognitivamente significativas; la frecuencia se corresponde con la temporalidad de los mecanismos que implementan y con la extensión espacial de las estructuras que sincronizan; y en los límites de estos ritmos e interacciones pueden yacer ciertos límites cognitivos. De esta forma, en la sintaxis neuronal que gobierna la actividad cerebral al nivel de análisis fijado pueden acabar identificándose diferentes unidades, como letras, palabras y frases según Buzsáki, u otros tipos de unidades conforme se defiende aquí que son más significativas en términos sintácticos: rasgos, piezas léxicas, conjuntos y sintagmas/fases, para empezar. Por lo tanto, de una interacción de ritmos (figura 13-7) podemos extraer la sintaxis lingüística y las unidades que pueden diferenciarse en la estructura sintáctica (figura 13-8) :

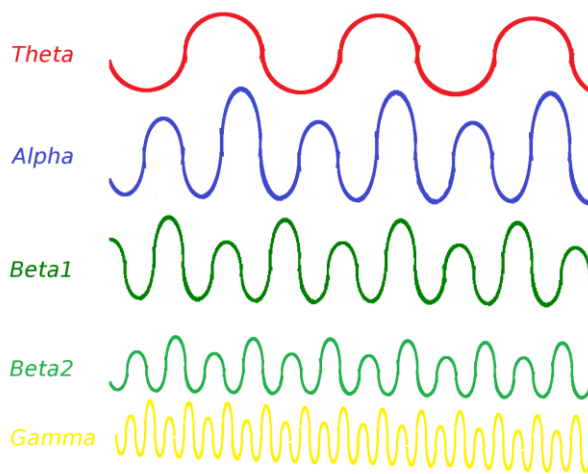


Figura 13-7 Jerarquía de ritmos (v. §7.2.1).

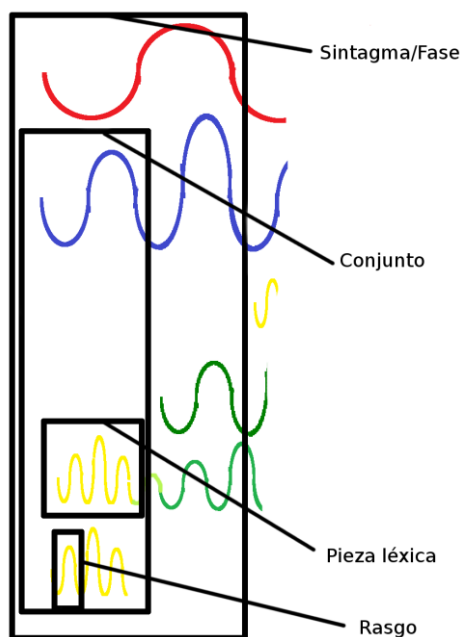


Figura 13-8 Anticipo a las unidades básicas de la sintaxis neuronal de la presente tesis.

Teniendo en cuenta que los mecanismos del lenguaje son reciclados del resto de la cognición de mayor nivel, es útil ver cómo los diferentes mecanismos oscilatorios y las estructuras responsables son utilizados, según la neurociencia cognitiva, por la atención, la consciencia, la memoria, el control ejecutivo, y el propio lenguaje. Para ello, tras un repaso general obligado debido al desconocimiento que aqueja el ámbito de la lingüística, se ha descompuesto cada dominio cognitivo en operaciones sencillas implementadas mediante oscilaciones, lográndose un resultado coherente con la red espacio-temporal apuntada antes, así como con las funciones de cada ritmo. En síntesis, la memoria se descompone en la codificación, el mantenimiento y la recuperación de representaciones. Para ello, contribuyen los mecanismos emergentes de *gamma*, *theta* y su interacción. *Gamma* favorece la codificación de representaciones, la activación de huellas de memoria y su mantenimiento activo, mientras que *theta* se ocupa de la organización, discriminación y ordenación temporal de las representaciones (mediante mecanismos como la codificación por fase en la interacción *theta-gamma*), así como de la intercomunicación con el hipocampo (gracias a la CTC, lo cual podría favorecer la recuperación).

La atención consiste en la (de)selección de un subconjunto de información mediante influencias *top-down* y *bottom-up*, lo cual constituye básicamente la operación de la orientación atencional (las suboperaciones de control y alerta definen una función de otro dominio cognitivo y un estado general del cerebro). A grandes rasgos, la selección

se obtiene mediante la sincronía a banda *beta* con estructuras frontales en la orientación endógena, a banda *gamma* para la atención exógena, y la deselección podría depender de la oscilación *alpha* (pudiendo bastar la falta de alineación temporal entre ritmos). Además, *theta* puede controlar la temporalidad de este procesamiento.

La consciencia consiste en la capacidad de globalizar el procesamiento local según la visión de más calado en neurociencia cognitiva y puede precisar del acoplamiento de *alpha* con los ritmos *gamma* que subyacen a los contenidos más locales de la consciencia y que gracias a la sincronía acceden al GW en redes talamo-corticales (con mediación del TRN). Esta hipótesis es más controvertida debido a la función inhibitoria atribuida tradicionalmente al ritmo *alpha* que, sin embargo, podría habilitar las ventanas temporales en las que las representaciones acceden al GW, como apuntan diversos estudios sobre percepción.

El control ejecutivo, menos comprendido y más entremezclado con otros dominios cognitivos, controla el flujo de información entre otros sistemas mediante *theta*, el cual sirve asimismo para manipular y organizar las representaciones en la memoria de trabajo. El sistema de control también forma reglas con que guiar el comportamiento, activadas mediante *beta*, con el que influye a lo *top-down* en el procesamiento de regiones de menor orden; inhibe mediante *alpha* respuestas automáticas o el procesamiento de información irrelevante; actualiza la memoria de trabajo, contribuyendo a la flexibilidad cognitiva, nuevamente a través de *alpha*, etc. En todos estos casos, el sustrato neuronal atribuido al dominio cognitivo, así como las funciones y los diferentes ritmos de cada uno son coherentes con la red espacio-temporal que se ha diseñado y con los mecanismos que pueden proporcionar las oscilaciones en esas estructuras.

En contraste con la imagen ofrecida de la cognición de mayor nivel, en neurociencia cognitiva los modelos del lenguaje más populares dan prioridad al mapeo de amplios componentes del lenguaje en regiones de la red clásica Broca-Wernicke-Lichteim-Geschwind, desatienden la dimensión temporal del procesamiento (abordando a lo sumo los correlatos de los ERP), y tienen una visión del mismo poco mecanicista y poco integrada con el resto de la cognición (aunque puntualmente se resalte la implicación de los sistemas de memoria y, en menor medida, de control). Por el contrario, existe una minoría de modelos basados en oscilaciones que tratan de conectarlas con operaciones difíciles de conciliar con las reconocidas en lingüística teórica y, en menor medida, con las de otros dominios cognitivos. De igual forma, los principios, propiedades estructurales

y los límites sintácticos quedan prácticamente huérfanos de explicación en los modelos neurolingüísticos de todo tipo, dándose siempre una simplificación excesiva del lenguaje.

Así las cosas, el lenguaje se suele mostrar como una excepción a una propiedad general del resto de dominios de la cognición de mayor nivel: su interrelación. Por ejemplo, las funciones ejecutivas parecen gobernar procesos atencionales, de memoria (de trabajo) e incluso el acceso a la consciencia; el GW de esta puede identificarse al mismo tiempo con el espacio de la memoria de trabajo, alcanzado a través del filtro de la atención; y esta, a su vez, selecciona qué memorias son recuperadas. De igual forma, existen redundancias funcionales de los ritmos en esos dominios: por ejemplo, *theta* organiza y controla la temporalidad del procesamiento ya sea en la atención o en la memoria de trabajo. Por consiguiente, el lenguaje no debe ser un dominio cognitivo aislado ateniéndonos a la coherencia evolutiva y cognitiva. Con esta idea en mente, hemos señalado puntos de unión entre el lenguaje y mecanismos y propiedades de otros sistemas: la temporalidad de la atención; la globalización consciencia; la memoria semántica para el sustrato del léxico; la flexibilidad y el flujo de información del sistema de control ejecutivo; etc. Tanto es así que el siguiente paso ha sido proponer una implementación de los principales mecanismos lingüísticos, la *selección*, el *ensamble*, la *proyección* y la *transferencia*, basada en cómo están implementadas las operaciones fundamentales del resto de la cognición de mayor nivel.

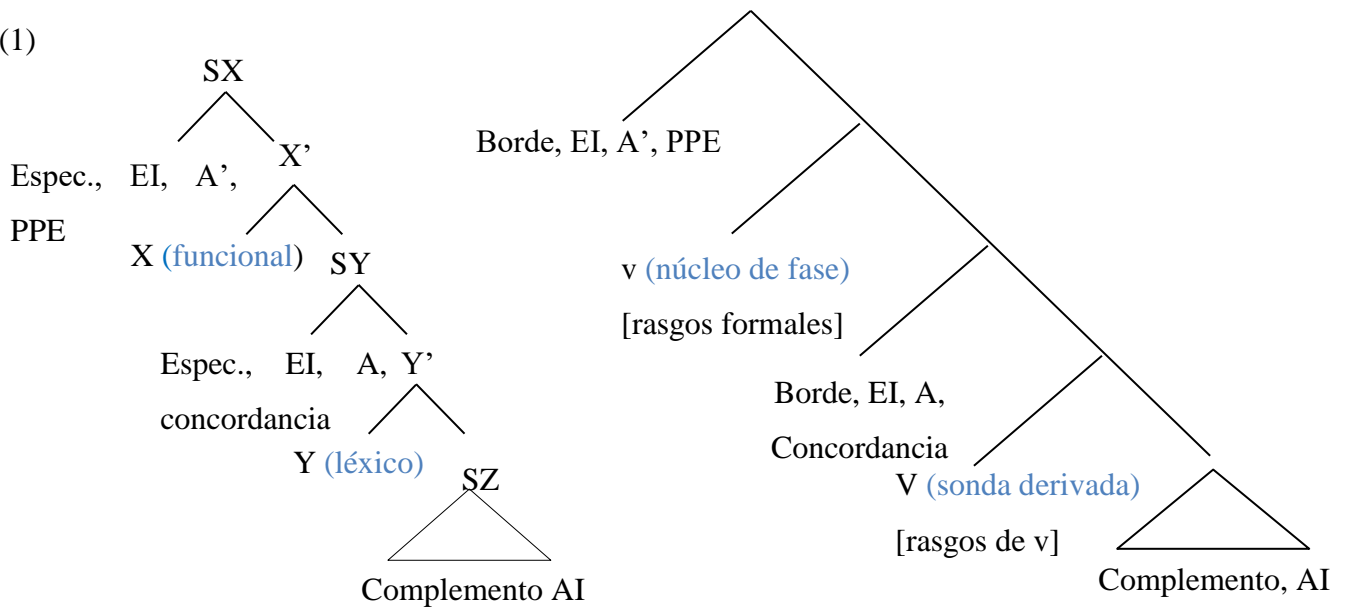
Preservando la coherencia con la red, dinámicas, mecanismos e interacciones de los ritmos en el resto de la mente analizados hasta el momento, hemos defendido que la *selección* dependería de los mecanismos empleados en la memoria, con *gamma*, en las capas superficiales de la corteza, implementando la formación y el mantenimiento de las representaciones de memoria semántica distribuidas por cortezas de asociación. Además, los ciclos de este ritmo rápido codifican los rasgos, mientras que el *theta* del hipocampo en conexión con regiones temporales y frontales coordina la sincronía entre las asambleas recuperadas. Por su parte, *ensamble* recurre al mecanismo de globalización usado en la consciencia en el cual un ritmo *alpha* talamo-cortical, con especial participación del pulvinar y regiones parietales, acopla y habilita el acceso al GW de las representaciones preconscientes que oscilan a *gamma*, cumpliendo por consiguiente una función no inhibitoria. La *proyección*, a su vez, depende de los mecanismos empleados en la atención, la memoria de trabajo y el control ejecutivo: la representación relevante se ralentiza desde *gamma* hasta *beta*, sincronizándose el bucle cognitivo de los ganglios

basales, estructuras frontales y el MDN. En ese punto, *beta* implementa la función triple de la selección del núcleo (de carácter atencional), el mantenimiento prolongado de la representación (en la memoria de trabajo) para que actúe de enlace entre otros elementos, y la adición de información (de carácter reglar) que le otorga la categoría (desde el control ejecutivo). Por último, *transferencia* depende de un mecanismo general de transmisión de información entre sistemas, teniendo como destino subregiones locales del área de Broca a las que se llega por varias vías a larga distancia y conexiones subcorticales. Sin embargo, se da una especial implicación del control ejecutivo en la regulación de ese tráfico mediante *theta*, pudiendo participar en la sincronía el núcleo reuniens del tálamo y el hipocampo (por la parte que les toca de memoria de trabajo). Asimismo, es razonable la participación del TRN en la desincronización de *alpha* para que las representaciones dejen de estar ancladas al GW. Además, este ritmo *theta* de la transferencia gobierna la temporalidad del procesamiento lingüístico constituyendo los ciclos de la derivación sintáctica y determinando, en su interacción con *alpha* y *beta*, algunos patrones estructurales o la interrelación entre la *transferencia* y la *proyección*.

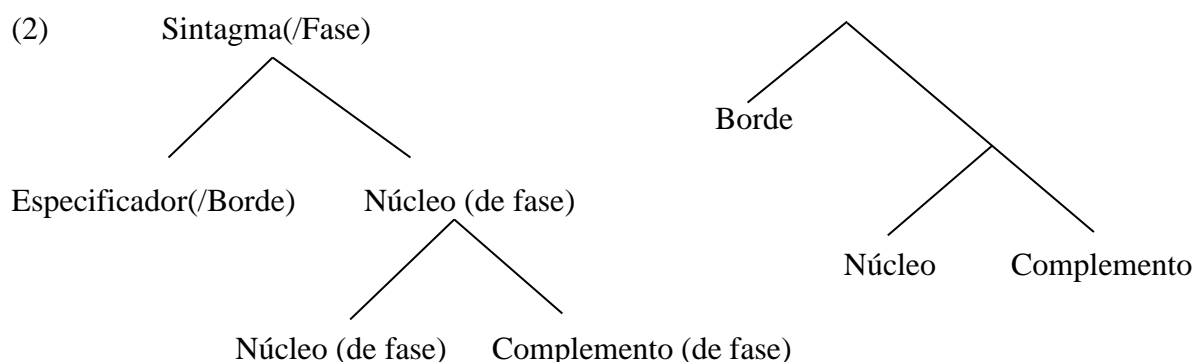
A partir de la interacción de estos mecanismos se genera la estructura sintáctica, lo cual plantea el problema de cómo es la misma y qué elementos la constituyen. Para describirla hemos unificado la teoría X', que la explica en términos de sintagmas, con la teoría de fases, considerando que ambas se aproximan desde ángulos diversos a una misma estructura que no acabamos de aprehender. Evitamos así una diversidad excesiva de elementos a la vista del reducido número de mecanismos fundamentales, debida a que las propiedades que en tiempos se codificaban mediante la teoría X', y fueron abandonadas con la radicalización del minimismo y el menosprecio de los mecanismos que las generaban, ahora se intentan recuperar soterradamente con la teoría de fases (y la sobrecarga de la operación de *transferencia*). De hecho, si se llevan hasta las últimas consecuencias las propiedades con las que se definen las fases, se llega a un formato acategorial que vuelve inevitables la multiplicación de su número y, finalmente, la unificación con los sintagmas. En este sentido, la estructura se construye hoy en torno a los núcleos de fase como tiempo atrás lo hacía alrededor de los sintagmas; los rasgos formales con los que algunos las definen están presentes en muchos más sintagmas de los que se aceptan como fases; el movimiento de elementos va actualmente de fase en fase como anteriormente cruzaba de sintagma en sintagma; se utilizan unas mismas pruebas para identificarlos a unos y a otras, que arrojan fragmentos estructurales iguales; la

herencia de rasgos transforma en núcleos de fase los supuestos núcleos de no-fase; los núcleos de fase categorizan pedazos estructurales como antes hacían los núcleos de sintagma (y, según el enfoque, categorías funcionales); sintagmas y fases son sintácticamente menos activos en la proyección intermedia; etc. Tanto se asemejan las teorías que las fases está en camino de sufrir la misma expansión que se produjo con las categorías funcionales en el caso de los sintagmas, y en ambos casos se ha observado una alternancia de categorías funcionales/fases con categorías sustantivas/no-fases. Así pues, pueden establecerse paralelismos entre los análisis de unos y otras (1)

(1)



cuya validez acaba dependiendo del momento, autor, y modelo concreto de la teoría. En consecuencia, la unificación de sintagmas y fases contribuye a ofrecer una imagen menos caótica de una corriente notablemente inestable en los detalles a lo largo del tiempo, en la que siempre puede esgrimirse un dato o hipótesis de un trabajo con la que rebatir otro. Por el contrario, podemos concluir que siempre nos encontramos con una tríada de elementos (2):



primero, los núcleos, que permanecen durante más tiempo en la derivación (que los complementos), son prominentes, enlazan los demás elementos mediante relaciones locales y sufren mayor número de operaciones; segundo, los complementos, que se transfieren antes y tienen, por ende, una combinatoria más pobre; y, tercero, los bordes, que establecen relaciones a distancia, son los que permanecen más tiempo en el GW, y parecen derivarse en paralelo (unificándose ahí los elementos movidos con las estructuras de naturaleza nominal).

Luego, cada uno de estos tres elementos se ha identificado con un ritmo rápido diferente que caracteriza la corteza y que se discriminan a partir de propiedades independientes. De acuerdo con el mecanismo de multiplexación por división de frecuencia, los núcleos oscilan a *beta 2*, los bordes a *beta 1* y los complementos a *gamma*. En general, existe una correlación entre la frecuencia del ritmo y el tiempo que el elemento que identifica se encuentra en el GW, siendo los más duraderos los bordes, teniendo los núcleos una duración intermedia, y siendo los complementos los más breves. Asimismo, se produce una correspondencia entre la complejidad del elemento y la frecuencia del ritmo, con ritmos más lentos usados para representaciones más complejas. Además, se han argumentado correspondencias interesantes entre *beta 1* y los bordes: el proceso de generación de *beta 1* recuerda al mecanismo de *copia* de los elementos que sufren *ensamble* interno; su derivación en paralelo puede relacionarse con que es un ritmo desencadenado por elementos novedosos; la mayor carga que imponen los bordes sobre la memoria de trabajo puede satisfacerse con la capacidad de *beta 1* de sostener elementos.... Igualmente, el uso de subbandas *beta* por núcleos y bordes pone de manifiesto las similitudes entre los mismos, como la capacidad de establecer dependencias (locales y globales) al encontrarse en múltiples ciclos derivacionales.

Hecha esta asociación, hemos esbozado cómo la sintaxis neuronal subyace a la sintaxis lingüística, mostrando paso a paso la interacción de ritmos y mecanismos para generar la estructura sintáctica y dibujando una suerte de diagramas arbóreos similares a los de la lingüística teórica. Con la *selección* y *gamma* se agrupan rasgos en representaciones léxicas (figura 13-9); luego se *ensamblan* mediante el acoplamiento con *alpha* para formar conjuntos (figura 13-10); el núcleo *proyecta* mediante *beta 2* (figura 13-11); el complemento se *transfiere* desacoplándose de *alpha* y acoplándose a *theta* (figura 13-12); y el borde a *beta 1*, derivado en paralelo, se acaba acoplando a *alpha* y al núcleo (figura 13-15), pudiendo identificarse la estructura sintáctica básica en la jerarquía de ritmos de la sintaxis neuronal (figuras 13-16 y 13-17).



Figura 13-9 Formación de representaciones léxicas.

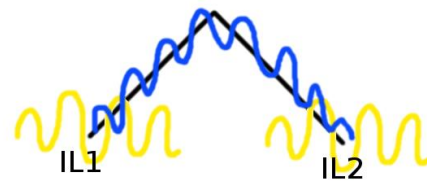


Figura 13-10 Formación de conjunto.

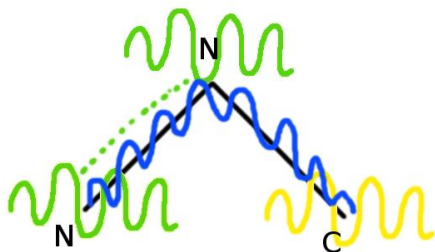


Figura 13-11 Proyección del núcleo.

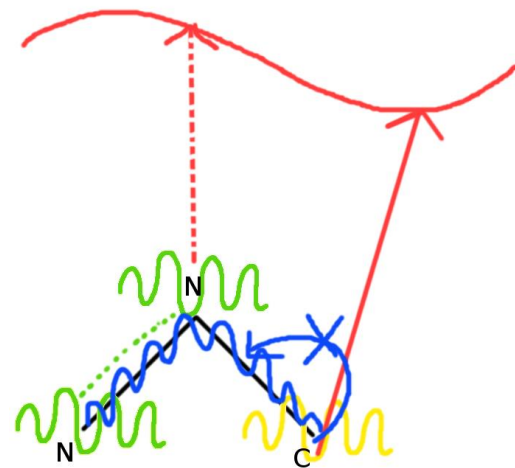


Figura 13-12 Transferencia del complemento.

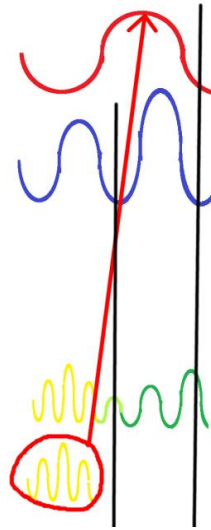


Figura 13-13 Representación alternativa del núcleo complemento.

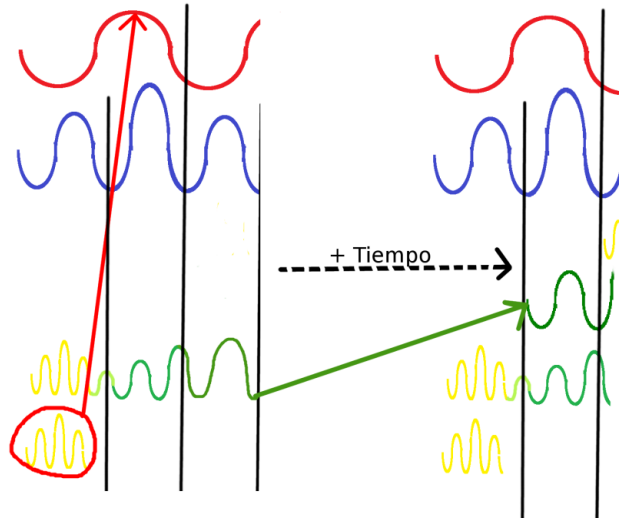


Figura 13-164 Derivación en paralelo del borde y ensamble a la espina.

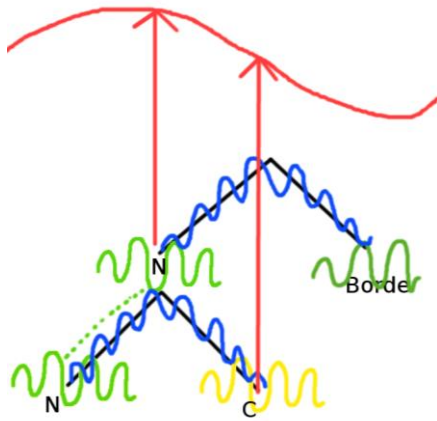


Figura 13-15 Diagrama de ritmos para el sintagma/fase.

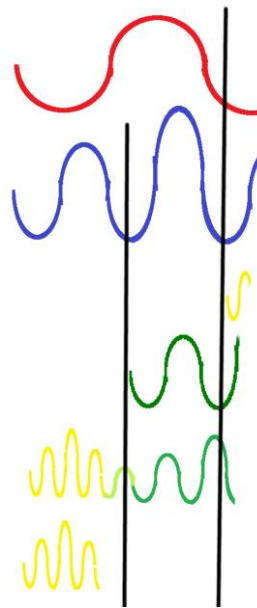


Figura 13-146 Representación alternativa del sintagma/fase en la sintaxis neuronal.

De esta forma es posible relacionar ritmos o el producto de la aplicación de los mecanismos que implementan con unidades lingüísticas relevantes: los ciclos *gamma* con rasgos, las oscilaciones *gamma* al completo con piezas léxicas y complementos, el acoplamiento de *gamma* (o ritmos rápidos en general) y *alpha* con conjuntos formados por *ensamble*, las oscilaciones *beta 2* con los núcleos, las *beta 1* con los bordes y los ciclos *theta* con ciclos derivacionales o dominios mayores, en los que aquí se integran fases y sintagmas.

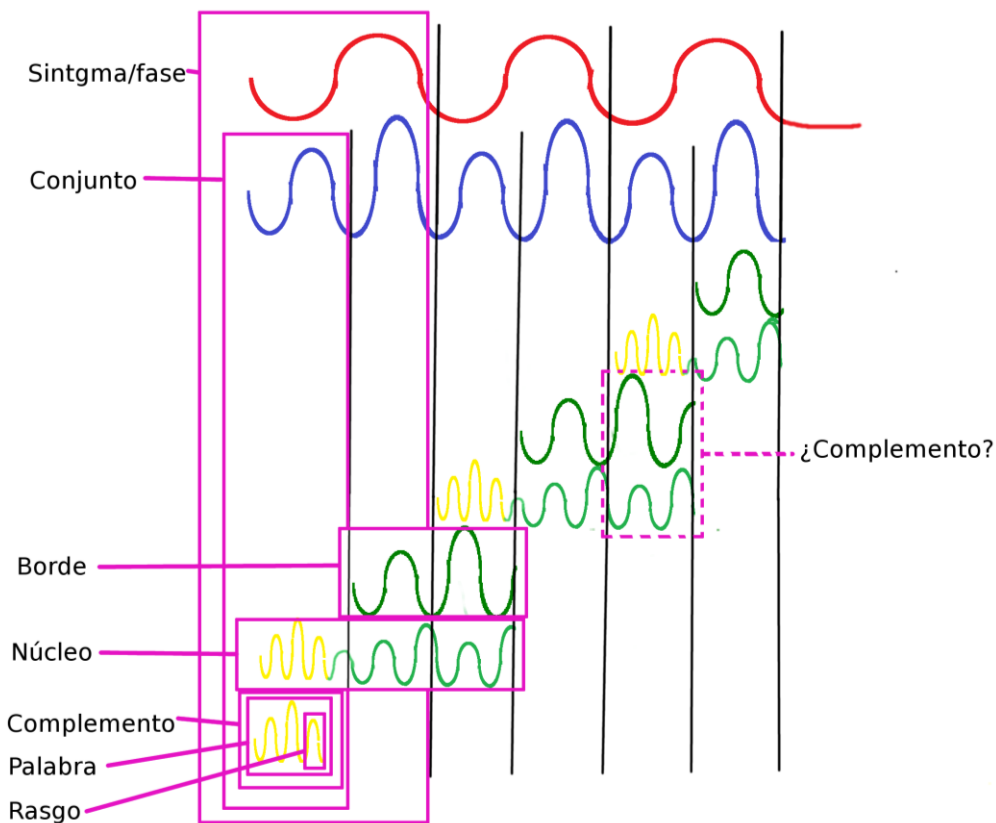


Figura 13-17 Unidades de la sintaxis neuronal del modelo de la presente tesis.

En este proceso de generación de estructura se han planteado cuestiones teóricamente intrigantes como la derivación en paralelo de los especificadores, la fusión de sintagmas/fases en la formación de la oración (que parecía conducir a la recategorización de complementos), el estatus de operación independiente de la formación del borde en relación con *ensamble* interno, etc. A pesar de que se ha apuntado la posibilidad de especular con soluciones teóricas y qué dirección podrían tomar, resultando más o menos verosímiles si se argumentaran con suficiente detenimiento, preferimos priorizar la solidez conceptual de las propuestas ya hechas, la coherencia

interna del modelo y la capacidad explicativa de la simplicidad por encima de los subterfugios dialécticos. Poco aportaría al modelo (o restaría incluso) una discusión interesada y excesivamente técnica de carácter lingüístico, escogiendo a la carta argumentos de teorías variadas, o bien echar mano de alternativas en neurociencia como la codificación por fase y perdiéndose con ello muchos paralelismos interesantes. Es mejor resultar persuasivo sobre la generación de una estructura ternaria básica, que ganar en detalle a costa de convicción. Es más, los problemas de carácter formal aquí abordados tampoco cuentan con una solución ni consenso en la propia lingüística. Siendo realistas, seguimos sin saber qué es un especificador, qué categorías componen la estructura oracional, qué ciclos la generan y cómo se combinan entre sí, o qué es el traslado. El planteamiento y ambicioso intento de poner en relación estas cuestiones con propiedades de la cognición de mayor nivel y el cerebro lo hacemos aquí con el objetivo de aproximarnos a la realidad o de darle un sentido, no de revelarla definitivamente. Exigir a este trabajo que resuelva de una vez por todas lo que no somos capaces de explicar de forma interna (y ahí yace un error de enfoque) sería fijar el listón excesivamente alto.

Con todo, en la sintaxis neuronal desarrollada es posible relacionar propiedades lingüísticas, que al principio consideramos fundamentales, con los ritmos y su interacción: la endocentricidad, con *beta*; las relaciones locales, con el acoplamiento de ritmos rápidos y *alpha*; la comunicación con sistemas externos, con *theta*; las relaciones a distancia, con *beta* 1; la jerarquía de la estructura, con la temporalidad en la aplicación de los mecanismos y el factor temporal conforme al que se acoplan al GW los elementos; la localidad, como se recordará más adelante, con los patrones oscilatorios que pueden o no pueden generar ciertas estructuras locales, etc. De igual forma, algunos principios notados en la lingüística como la condición de extensión se siguen naturalmente de cómo el procesamiento cerebral se sucede en el tiempo; otros, en apariencia muy específicos, como la PIC dependen de algo tan básico como la CTC; mientras que otros como la inclusividad resultan contradictorios con el procesamiento cerebral. Al mismo tiempo, no sólo hemos respetado respetado o reflejado los principios sintácticos, sino que se ha hecho lo propio con los de la sintaxis neuronal: por ejemplo, los ritmos lentos han gobernado los rápidos y se han usado para las operaciones más globales, complejas y menos frecuentes en general. En este sentido, no habría posibilidad de hacer lo uno sin lo otro..

El último paso, una vez propuesta una implementación para mecanismos, su interacción, la estructura resultante y las propiedades y relaciones que se establecen en la

misma, ha sido abordar los límites que tienen lugar en este procesamiento, tratando de subsanar otra de las lagunas que caracterizan la neurociencia cognitiva del lenguaje. En la constricción que se ha etiquetado como antiambigüedad se han englobado fenómenos de localidad en los que no se toleran elementos demasiado iguales demasiado cerca (en sistemas periféricos). Se trata de una de las principales constricciones lingüísticas en la que se han reducido los casos de relaciones a través de dominios, como la minimalidad, a casos en dominios locales gracias al movimiento cíclico, y se han unificado los diversos tipos de dominios locales (sintagmas, fases, o dominios prolíficos) a la estructura ternaria defendida en capítulos previos. En ese marco estructural, pueden explicarse en los mismos términos la antiidentidad y la antilocalidad. En consecuencia, tal reducción de fenómenos a una única constricción de localidad en un único tipo de dominio permite plantear un único principio, basado en oscilaciones, para explicarlos todos.

La lógica subyacente es que, de la misma forma que las oscilaciones implementan mecanismos, los límites de las propias oscilaciones deben explicar los límites cognitivos o computacionales de esos mecanismos. Por lo tanto, los efectos de localidad en el lenguaje surgen de efectos de localidad en estructuras cerebrales, lo cual funde en una hipótesis elegante propiedades del lenguaje y del cerebro con la que responder a la pregunta minimista de por qué el lenguaje tiene ciertas propiedades y no otras. Una de las principales ventajas del presente modelo es que la respuesta consiste en un principio general y constatado en otros campos científicos: el cerebro tiende a sincronizar su actividad. Más concretamente, el principio podría formularse como sigue:

Principio de localidad en estructuras cerebrales y lingüísticas

El cerebro tiende a sincronizar su actividad, lo cual condiciona los patrones oscilatorios en estructuras cerebrales y la cognición (lingüística) y sus propiedades emergentes. Cuando estas estructuras son locales, se dan unos límites, cuando son más amplias, se dan otros.

Al igual que las computaciones requieren ritmos lentos para comunicar las estructuras, computar a escala local puede limitar los ritmos (rápidos) que pueden sostenerse. Una estructura local de este tipo son los sistemas externos locales donde tiene lugar la susodicha constricción de ambigüedad, que se corresponden con (subregiones de) el área de Broca próxima a la externalización. Este tipo de estructura, por ser demasiado local, sería incapaz de sostener múltiples ritmos en la misma banda sin sincronizarlos. Si utilizamos los ritmos rápidos para discriminar núcleos, bordes y complementos, esto implica que la estructura es capaz interpretar un máximo de un elemento de cada tipo,

habiendo sólo un ritmo *beta 2*, *beta 1*, y *gamma*. Los fenómenos de localidad surgen de intentos fallidos de sostener múltiples ritmos en la misma banda. Si cada ritmo implementa una asamblea con un tipo de elemento, y lo que deberían ser dos asambleas se funden en una sola mediante la sincronía de los ritmos en la misma banda, se producirá una ambigüedad tanto en términos cerebrales como en términos lingüísticos. Por ejemplo, no podemos tener dos núcleos en un dominio porque los dos ritmos *beta 2* que los diferenciarían en el GW, al encontrarse luego en un espacio local, se sincronizarían de forma ambigua. En suma, los fenómenos de anti-ambigüedad en el lenguaje emergen porque: i) la ambigüedad intolerable en los sistemas externos es producto de una sincronización inevitable y ambigua de ritmos en estructuras cerebrales, que ii) se produce en regiones locales (que identificamos con el subáreas de Broca y la periferia) debido a los breves retrasos de conducción axonal y a la tendencia natural a la sincronía de la actividad cerebral.

Con esta hipótesis se ofrece un mecanismo complementario a los de la neurociencia cognitiva, en la cual los límites oscilatorios también se identifican con límites cognitivos pero apelándose a anchos de banda limitados o límites en la codificación por fase. No obstante, aquí la periferia es el origen de la constricción, y no el propio núcleo del sistema (el GW), coincidiendo la idea minimista de que algunas propiedades del lenguaje proceden de exigencias de sistemas externos. Pese a ello, aquí el núcleo del lenguaje es de naturaleza general, mientras que lo más específico es lo periférico (redundando en la coherencia evolutiva y cognitiva). Finalmente, se han notado problemas en la coexistencia de especificadores y elementos movidos (con soluciones potenciales), volviéndose al eterno conflicto entre la adecuación descriptiva y explicativa. Una vez más, se ha priorizado la capacidad integradora y explicativa del modelo, que en cualquier caso puede dar sentido estructura ternaria de fases, sintagmas, la minimalidad, la antilocalidad y la antiambigüedad de un modo verosímil o asimilable para un científico de otro campo.

Por todo lo dicho, esta tesis muestra cómo es posible invertir el método típico de la lingüística, yendo del cerebro a la mente y de ahí al lenguaje (y no a la inversa) y ofrecer así explicaciones más profundas. Las hipótesis aquí formuladas han abordado, desde el cerebro y el resto de dominios cognitivos, las principales operaciones o mecanismos del lenguaje, la manera en que interactúan y generan estructura, y sus características, principios y límites. Las propuestas se alejan un poco de la lingüística, de la

neurolingüística y de la neurociencia cognitiva al uso, pero con el objetivo de encontrarse en una zona intermedia de coherencia. En realidad, las disonancias con el resto de modelos deben ser bien recibidas habida cuenta de lo estancados que estamos en explicaciones y lo mucho que se ignoran algunas disciplinas entre sí. En definitiva, confío en haber desarrollado un modelo en que el lenguaje se muestre integrado en la mente/cerebro, recuperando el espíritu y la ambición que expresan los primeros escritos de Chomsky. Cuando en el 1957 se publicó *Syntactic Structures* seguro que se tenía la expectativa de que un día se llegara a una implementación de las estructuras sintácticas. La presente tesis es un esforzado intento teórico de alguien con una formación fundamentalmente lingüística.

Bibliografía

- Abney, S. P. (1987). *The English noun phrase in its sentential aspect*. Tesis Doctoral no publicada, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Ackermann, H., y Brendel, B. (2016). Cerebellar Contributions to Speech and Language. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds., pp.73-84), *Neurobiology of Language*. USA: Academic Press.
- Adrian, E. D. (1944). Brain rhythms. *Nature*, 153, 360 -362.
- Adrover, D., Muñoz, E., Sánchez-Cubillo, I, y Miranda, R. (2013). Neurobiología de los sistemas de aprendizaje y memoria. En D. Redolar (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 411-438). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Akam, T., y Kullmann, D. M. (2010). Oscillations and filtering networks support flexible routing of information. *Neuron*, 67(2), 308-320.
- Akam, T., y Kullmann, D. M. (2014). Oscillatory multiplexing of population codes for selective communication in the mammalian brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 15(2), 111.
- Aminoff, E. M., Kverega, K., y Bar, M. (2013). The role of the parahippocampal cortex in cognition. *Trends in cognitive sciences*, 17(8), 379-390.
- Amunts, K., y Catani, M. (2014). Cytoarchitectonics, Receptorarchitectonics, and Network Topology of Language. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds., pp. 619-628), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.). Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press.
- Anderson, K. L., Rajagovindan, R., Ghacibeh, G. A., Meador, K. J., y Ding, M. (2009). Theta oscillations mediate interaction between prefrontal cortex and medial temporal lobe in human memory. *Cerebral Cortex*, 20(7), 1604-1612.
- Andreu, L. L. (2013). Especialización hemisférica. En Redolar, D. (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 463-484). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Antzoulatos, E. G., y Miller, E. K. (2014). Increases in functional connectivity between prefrontal cortex and striatum during category learning. *Neuron*, 83(1), 216-225.
- Azouz, R., y Gray, C. M. (2000). Dynamic spike threshold reveals a mechanism for synaptic coincidence detection in cortical neurons in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(14), 8110-8115.
- Baars, B. J. (2005). Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience. *Progress in Brain Research*, 150, 45-53.

- Baars, B. J., y Gage, N. M. (2013). *Fundamentals of cognitive neuroscience: a beginner's guide*. USA: Academic Press.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Baddeley, A. , y Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.
- Baker, M. (2001). *The Atoms of Language: The Mind's Hidden Rules of Grammar*. New York: Basic Books.
- Baker, M. (2005). The Innate Endowment for Language: Underspecified or Overspecified?. En P. Carruthers, S. Lawrence y S. Stich (eds.), *The Innate Mind: Structure and Contents* (pp. 156-174). Oxford: Oxford University Press.
- Baker, M. (2008). The Macroparameter in a Microparametric World. En T. Biberauer (ed.), *The Limits of Syntactic Variation* (pp. 351-374). Amsterdam: John Benjamins.
- Balari, S., y Lorenzo, G. (2013). *Computational Phenotypes: Towards an Evolutionary Developmental Biolinguistics*. UK: Oxford University Press.
- Bastiaansen, M., y Hagoort, P. (2006). Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension. *Progress in Brain Research*, 159, 179-196.
- Bastiaansen, M., y Hagoort, P. (2015). Frequency-based segregation of syntactic and semantic unification during online sentence level language comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(11), 2095-2107.
- Bastiaansen, M., Mazaheri, A., y Jensen, O. (2011). Beyond ERP: oscillatory neuronal dynamics. En S. J. Luck, y E. S. Kappenman (eds.) *The Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 31-50). New York: Oxford University Press.
- Bastiaansen, M. , Oostenveld, R., Jensen, O., y Hagoort, P. (2008). I see what you mean: theta power increases are involved in the retrieval of lexical semantic information. *Brain and Language*, 106(1), 15-28.
- Bastos, A. M., Usrey, W. M., Adams, R. A., Mangun, G. R., Fries, P., y Friston, K. J. (2012). Canonical microcircuits for predictive coding. *Neuron*, 76(4), 695-711.
- Bastos, A. M., Vezoli, J., Bosman, C. A., Schoffelen, J. M., Oostenveld, R., Dowdall, J. R., ... y Fries, P. (2015a). Visual areas exert feedforward and feedback influences through distinct frequency channels. *Neuron*, 85(2), 390-401.
- Bastos, A. M., Vezoli, J., y Fries, P. (2015b). Communication through coherence with inter-areal delays. *Current opinion in neurobiology*, 31, 173-180.

- Battaglia, F. P., Benchenane, K., Sirota, A., Pennartz, C. M., y Wiener, S. I. (2011). The hippocampus: hub of brain network communication for memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(7), 310-318.
- Bazhenov, M., y Timofeev, I. (2006). Thalamocortical oscillations. *Scholarpedia*, 1(6), 1319.
- Bear, M.F., Connors, B. W., y Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscience: Exploring the Brain* (4a. ed.). China: Wolters Kluwer.
- Bechtel, W. (1994). Levels of description and explanation in cognitive science. *Minds and Machines*, 4(1), 1-25.
- Ben Shalom, D., y Poeppel, D. (2008). Functional anatomic models of language: assembling the pieces. *The Neuroscientist*, 14(1), 119-127.
- Benchenane, K., Tiesinga, P. H., y Battaglia, F. P. (2011). Oscillations in the prefrontal cortex: a gateway to memory and attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(3), 475-485.
- Berke, J. D., Okatan, M., Skurski, J., y Eichenbaum, H. B. (2004). Oscillatory entrainment of striatal neurons in freely moving rats. *Neuron*, 43(6), 883-896.
- Berwick, R. C. (1982). *Locality principles and the aquisition of syntactic knowledge*. Tesis Doctoral no publicada, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Berwick, R. C., y Chomsky, N. (2016). *Why only us: Language and evolution*. Cambridge, Massachusetts: MIT press.
- Bi, G. Q., y Poo, M. M. (1998). Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons: dependence on spike timing, synaptic strength, and postsynaptic cell type. *Journal of Neuroscience*, 18(24), 10464-10472.
- Biberauer, T. (Ed.). (2008). *The limits of syntactic variation*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing.
- Boeckx, C. (2006). *Linguistic minimalism: Origins, concepts, methods, and aims*. New York: Oxford University Press.
- Boeckx, C. (2008). *Bare Syntax*. Oxford: Oxford University Press.
- Boeckx, C. (2010). *Language in Cognition: Uncovering Mental Structures and the Rules behind Them*. Singapore.: Wiley-Blackwell.
- Boeckx, C. (2013). Merge: biolinguistic considerations. *English Linguistics*, 30(2), 463-484.
- Boeckx, C. (2014). The role of the thalamus in linguistic cognition. Manuscrito, ICREA/UB, Barcelona.
- Boeckx, C. (2015). *Elementary syntactic structures: Prospects of a feature-free syntax*. UK: Cambridge University Press.

- Boeckx, C., y Benítez-Burraco, A. (2014). The shape of the human language-ready brain. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-23.
- Boeckx, C., y Grohmann, K. K. (2007a). The biolinguistics manifesto. *Biolinguistics*, 1, 001-008.
- Boeckx, C., y Grohmann, K. K. (2007b). Remark: Putting phases in perspective. *Syntax*, 10(2), 204-222.
- Boeckx, C., y Theofanopoulou, C. (2014). A multidimensional interdisciplinary framework for linguistics: the lexicon as a case study. *Journal of Cognitive Science*, 15, 403-420.
- Boeckx, C., y Theofanopoulou, C. (2018). (Neural) Syntax. En Gallego, Á. y R. Martin, R. (eds., pp. 295-315), *Language, Syntax, and the Natural Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bollimunta, A., Chen, Y., Schroeder, C. E., y Ding, M. (2008). Neuronal mechanisms of cortical alpha oscillations in awake-behaving macaques. *Journal of Neuroscience*, 28(40), 9976-9988.
- Bollimunta, A., Mo, J., Schroeder, C. E., y Ding, M. (2011). Neuronal mechanisms and attentional modulation of corticothalamic alpha oscillations. *Journal of Neuroscience*, 31(13), 4935-4943.
- Bonhage, C. E., Meyer, L., Gruber, T., Friederici, A. D., y Mueller, J. L. (2017). Oscillatory EEG dynamics underlying automatic chunking during sentence processing. *NeuroImage*, 152, 647-657.
- Bonnefond, M., y Jensen, O. (2012). Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters. *Current Biology*, 22(20), 1969-1974.
- Bookheimer, S. (2002). Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience*, 25(1), 151-188.
- Borer, H. (1984). *Parametric syntax: Case studies in Semitic and Romance languages*. Dordrecht: Foris Publications.
- Börgers, C., Epstein, S., y Kopell, N. J. (2005). Background gamma rhythmicity and attention in cortical local circuits: a computational study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(19), 7002-7007.
- Bornkessel-Schlesewsky, I., y Schlewsky, M. (2013). Reconciling time, space and function: a new dorsal-ventral stream model of sentence comprehension. *Brain and Language*, 125(1), 60-76.

- Bornkessel-Schlesewsky, I., y Schlesewsky, M. (2016). The Argument Dependency Model. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds., pp.357-369), *Neurobiology of Language*. USA: Academic Press.
- Bošković, Ž. (2014). Now I'm a phase, now I'm not a phase: On the variability of phases with extraction and ellipsis. *Linguistic Inquiry*, 45(1), 27-89.
- Bosman, C. A., Lansink, C. S., y Pennartz, C. (2014). Functions of gamma-band synchronization in cognition: from single circuits to functional diversity across cortical and subcortical systems. *European Journal of Neuroscience*, 39(11), 1982-1999.
- Bosque, I., y Gutiérrez-Rexach, J. (2009). *Fundamentos de sintaxis formal*. Móstoles: Ediciones Akal.
- Brittain, J. S., y Brown, P. (2014). Oscillations and the basal ganglia: motor control and beyond. *Neuroimage*, 85, 637-647.
- Broca, P. (1861). Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau. *Bulletins de la Societe Anthropologie*, 2(1), 235-238.
- Brodmann, K. (1909). Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Leipzig: Barth.
- Brookes, M. J., Woolrich, M., Luckhoo, H., Price, D., Hale, J. R., Stephenson, M. C., ... y Morris, P. G. (2011). Investigating the electrophysiological basis of resting state networks using magnetoencephalography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(40), 16783-16788.
- Buffalo, E. A., Fries, P., Landman, R., Buschman, T. J., y Desimone, R. (2011). Laminar differences in gamma and alpha coherence in the ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(27), 11262-11267.
- Burgess, N., y O'Keefe, J. (2011). Models of place and grid cell firing and theta rhythmicity. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(5), 734-744.
- Busch, N. A., Dubois, J., y VanRullen, R. (2009). The phase of ongoing EEG oscillations predicts visual perception. *Journal of Neuroscience*, 29(24), 7869-7876.
- Buschman, T. J., Denovellis, E. L., Diogo, C., Bullock, D., y Miller, E. K. (2012). Synchronous oscillatory neural ensembles for rules in the prefrontal cortex. *Neuron*, 76(4), 838-846.
- Buzsáki, G. (2002). Theta oscillations in the hippocampus. *Neuron*, 33(3), 325-340.
- Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the Brain*. New York: Oxford University Press.
- Buzsáki, G. (2010). Neural syntax: cell assemblies, synapsembles, and readers. *Neuron*, 68(3), 362-385.

- Buzsáki, G., Logothetis, N., y Singer, W. (2013). Scaling brain size, keeping timing: evolutionary preservation of brain rhythms. *Neuron*, 80(3), 751-764.
- Buzsáki, G., y Moser, E. I. (2013). Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal-entorhinal system. *Nature Neuroscience*, 16(2), 130-138.
- Buzsáki, G., y Wang, X. J. (2012). Mechanisms of gamma oscillations. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 203-225.
- Buzsáki, G., y Watson, B. O. (2012). Brain rhythms and neural syntax: implications for efficient coding of cognitive content and neuropsychiatric disease. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 14(4), 345.
- Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I. R., y Moscovitch, M. (2008). The parietal cortex and episodic memory: an attentional account. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(8), 613-625.
- Caha, P. (2009). *The nanosyntax of case*. Tesis Doctoral no publicada, University of Tromsø, Tromsø.
- Cannon, J., McCarthy, M. M., Lee, S., Lee, J., Börgers, C., Whittington, M. A., y Kopell, N. (2014). Neurosystems: brain rhythms and cognitive processing. *European Journal of Neuroscience*, 39(5), 705-719.
- Canolty, R. T., y Knight, R. T. (2010). The functional role of cross-frequency coupling. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(11), 506-515.
- Carmona, S. y Moreno, A. (2013). Control ejecutivo, toma de decisiones, razonamiento y resolución de problemas. En Redolar, D. (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 719-745). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Carroll, S. B. (2005). *Endless forms most beautiful: The new science of evo devo and the making of the animal kingdom*. WW Norton & Company.
- Caplan, D. (2016). Working Memory and Sentence Comprehension. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds.), *Neurobiology of Language*, (pp.95-114). USA: Academic Press.
- Caporale, N., y Dan, Y. (2008). Spike timing-dependent plasticity: a Hebbian learning rule. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 25-46.
- Cassel, J. C., De Vasconcelos, A. P., Loureiro, M., Cholvin, T., Dalrymple-Alford, J. C., y Vertes, R. P. (2013). The reuniens and rhomboid nuclei: neuroanatomy, electrophysiological characteristics and behavioral implications. *Progress in Neurobiology*, 111, 34-52.
- Catani, M., Jones, D. K., y Ffytche, D. H. (2005). Perisylvian language networks of the human brain. *Annals of Neurology*, 57, 8-16.

- Çavdar, S., Onat, F. Y., Çakmak, Y. Ö., Yananli, H. R., Gülgebi, M., y Aker, R. (2008). The pathways connecting the hippocampal formation, the thalamic reuniens nucleus and the thalamic reticular nucleus in the rat. *Journal of Anatomy*, 212(3), 249-256.
- Chan, J. L., Koval, M. J., Womelsdorf, T., Lomber, S. G., y Everling, S. (2014). Dorsolateral prefrontal cortex deactivation in monkeys reduces preparatory beta and gamma power in the superior colliculus. *Cerebral Cortex*, 25(12), 4704-4714.
- Chica, A. B., y Checa, P. (2013). Atención, procesamiento de la información sensorial y sistemas atencionales. En Redolar, D. (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 389-410). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Chomsky, N. (1964). Current issues in linguistic theory. En A. Fodor, y J. Katz (eds.), *The Structure of Language: Readings in the Philosophy of Language* (pp. 50-118). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (1981). *Lectures on Government and Binding*. Dordrecht: Foris Publications.
- Chomsky, N. (1986). *Knowledge of language: Its nature, origin, and use*. USA: Greenwood Publishing Group.
- Chomsky, N. (1991). Some Notes on Economy of Derivation and Representation. En R. Freidin (ed.), *Principles and Parameters in Comparative Syntax*, (pp.219-394). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (1993). A Minimalist Program for Linguistic Theory. En K. Hale, y S. K. Kaser, (eds.), *The View from Building 20: Essays in Linguistics in Honor of Sylvain Bromberger*, (pp.1-52). Cambridge, Massachusetts: MIT Press. *Faltan paginas*
- Chomsky, N. (1995). *The Minimalist Program*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (2000). Minimalist inquiries: The framework. En R. Martin, D. Michaels, y J. Uriagereka (eds.), *Step by Stepp. Essays on Minimalist Syntax in Honor of Howard Lasnik*, (pp. 89-155). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (2001). Derivation by phase. En Kenstowicz, M. (ed.), *Ken Hale: A life in language*, (pp. 1-52). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (2004). Beyond explanatory adequacy. En A. Belletti (ed.), *Structures and Beyond. The Cartography of Syntactic Structures* (pp.104-131). Oxford: OUP.
- Chomsky, N. (2005). Three factors in language design. *Linguistic inquiry*, 36(1), 1-22.

- Chomsky, N. (2007). Approaching UG from below. En U. Sauerland y H. M. Gartner (eds.), *Interfaces + Recursion = Language? Chomsky's Minimalism and the View from Syntax-semantics* (pp.1-30). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Chomsky, N. (2008). On phases. En C. Otero, R. Freidin, y M. L. Zubizarreta (eds.), *Foundational Issues in Linguistic Theory. Essays in Honor of Jean-Roger Vergnaud* (pp.134-166). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Chomsky, N. (2013). Problems of projection. *Lingua*, 130, 33-49.
- Chomsky, N., y Lasnik, H. (1993). The theory of principles and parameters. En Jacobs, J., Stechow, A., Sternefeld, W., y Vennemann T.(eds.), *Syntax: An international handbook of contemporary research, 1*, (pp. 506-569). Berlin, Boston: De Gruyter Mouton
- Cinque, G. (1999). *Adverbs and functional heads: A cross-linguistic perspective*. Oxford: Oxford University Press.
- Citko, B. (2014). *Phase theory: An introduction*. UK: Cambridge University Press.
- Colgin, L. L., Denninger, T., Fyhn, M., Hafting, T., Bonnevie, T., Jensen, O., ... y Moser, E. I. (2009). Frequency of gamma oscillations routes flow of information in the hippocampus. *Nature*, 462(7271), 353.
- Corver, N., y Nunes, J. (eds.). (2007). *The copy theory of movement*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing.
- Crick, F. (1984). Function of the thalamic reticular complex: the searchlight hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 81(14), 4586-4590.
- Crick, F., y Koch, C. (1990). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Seminars in the Neurosciences*, 2, 263-275.
- Crossman, A. R., y Neary, D..(2015). *Neuroanatomy: An Illustrated Colour Text* (5a ed.). China: Churchill Livingstone.
- Damasio, A. R. (1996). *El error de Descartes: La razón de las emociones*. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello.
- Davachi, L., y Preston, A. (2014). The Medial Temporal Lobe and Memory. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 539-546). Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press.
- Daitch, A. L., Sharma, M., Roland, J. L., Astafiev, S. V., Bundy, D. T., Gaona, C. M., ... y Corbetta, M. (2013). Frequency-specific mechanism links human brain networks for spatial attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(48), 19585-19590.

- De Kock, C. P. J., Bruno, R. M., Spors, H., y Sakmann, B. (2007). Layer-and cell-type-specific suprathreshold stimulus representation in rat primary somatosensory cortex. *The Journal of physiology*, 581(1), 139-154.
- De Pasquale, F., Della Penna, S., Snyder, A. Z., Lewis, C., Mantini, D., Marzetti, L., ... y Corbetta, M. (2010). Temporal dynamics of spontaneous MEG activity in brain networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 6040-6045.
- De Pasquale, F., Della Penna, S., Snyder, A. Z., Marzetti, L., Pizzella, V., Romani, G. L., y Corbetta, M. (2012). A cortical core for dynamic integration of functional networks in the resting human brain. *Neuron*, 74(4), 753-764.
- DeCoteau, W. E., Thorn, C., Gibson, D. J., Courtemanche, R., Mitra, P., Kubota, Y., y Graybiel, A. M. (2007a). Learning-related coordination of striatal and hippocampal theta rhythms during acquisition of a procedural maze task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(13), 5644-5649.
- DeCoteau, W. E., Thorn, C., Gibson, D. J., Courtemanche, R., Mitra, P., Kubota, Y., y Graybiel, A. M. (2007b). Oscillations of local field potentials in the rat dorsal striatum during spontaneous and instructed behaviors. *Journal of neurophysiology*, 97(5), 3800-3805.
- Dehaene, S., Kerszberg, M., y Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 14529-14534.
- Dehaene, S., y Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1), 1-37.
- den Dikken, M., y Lahne, A. (2012). The locality of syntactic dependencies. En M. den Dikken (ed.), *The Cambridge Handbook of Generative Syntax* (pp.655-697). New York: Cambridge University Press.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., y Poeppel, D. (2016). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*, 19(1), 158-164.
- Dipoppa, M., y Gutkin, B. S. (2013). Flexible frequency control of cortical oscillations enables computations required for working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12828-12833.
- Donner, T. H., Siegel, M., Fries, P., y Engel, A. K. (2009). Buildup of choice-predictive activity in human motor cortex during perceptual decision making. *Current Biology*, 19(18), 1581-1585.

- Douglas, R. J., y Martin, K. A. (2004). Neuronal circuits of the neocortex. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 419-451.
- Dragoi, G., y Buzsáki, G. (2006). Temporal encoding of place sequences by hippocampal cell assemblies. *Neuron*, 50(1), 145-157.
- Dugué, L., Marque, P., y VanRullen, R. (2011). The phase of ongoing oscillations mediates the causal relation between brain excitation and visual perception. *Journal of Neuroscience*, 31(33), 11889-11893.
- Dugué, L., Marque, P., y VanRullen, R. (2015). Theta oscillations modulate attentional search performance periodically. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27, 945-958.
- Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(4), 172-179.
- Duncan, J. (2013). The structure of cognition: attentional episodes in mind and brain. *Neuron*, 80(1), 35-50.
- Düzel, E., Penny, W. D., y Burgess, N. (2010). Brain oscillations and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 143-149.
- Engel, A. K., y Konig, P. (1991). Interhemispheric synchronization of oscillatory neuronal responses in cat visual cortex. *Science*, 252(5009), 1177-1179.
- Engel, A. K., y Fries, P. (2010). Beta-band oscillations—signalling the status quo?. *Current opinion in neurobiology*, 20(2), 156-165.
- Engel, A. K., y Singer, W. (2001). Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(1), 16-25.
- Epstein, S. D., y Seely, T. D. (2002). Rule applications as cycles in a level-free syntax. En S. D. Epstein, y T. D. Seely (eds.), *Derivation and explanation in the minimalist program* (pp.65-89). Malden: Blackwell.
- Federmeier, K. D., Wlotko, E. W., y Meyer, A. M. (2008). What's 'Right' in Language Comprehension: Event-Related Potentials Reveal Right Hemisphere Language Capabilities. *Language and Linguistics Compass*, 2(1), 1-17.
- Fedorenko, E., y Thompson-Schill, S. L. (2014). Reworking the language network. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 120-126.
- Fisch, A. (2012). *Neuroanatomy: Draw it to Know it* (2a. ed.). USA: Oxford University Press.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind: An essay on faculty psychology*. Cambridge, Massachusetts: MIT press.

- Fontolan, L., Morillon, B., Liegeois-Chauvel, C., y Giraud, A. L. (2014). The contribution of frequency-specific activity to hierarchical information processing in the human auditory cortex. *Nature Communications*, 5, 4694.
- Foxe, J. J., y Snyder, A. C. (2011). The role of alpha-band brain oscillations as a sensory suppression mechanism during selective attention. *Frontiers in Psychology*, 2, 1-13.
- Fukui, N. (2001). Phrase structure. En M. Batlin, y C. Collins (eds.), *The Handbook of Contemporary Syntactic Theory* (pp. 374-406). UK: Blackwell Publishers.
- Fukui, N., y Speas, M. (1986). Specifiers and projection. *MIT working papers in linguistics*, 8(128), 72.
- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(2), 78-84.
- Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiological Reviews*, 91(4), 1357-1392.
- Friederici, A. D., Chomsky, N., Berwick, R. C., Moro, A., y Bolhuis, J. J. (2017). Language, mind and brain. *Nature Human Behaviour*, 1(10), 713.
- Friederici, A. D., y Singer, W. (2015). Grounding language processing on basic neurophysiological principles. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(6), 329-338.
- Fries, P. (2005). A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 474-480.
- Fries, P. (2009). Neuronal gamma-band synchronization as a fundamental process in cortical computation. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 209-224.
- Fries, P., Reynolds, J. H., Rorie, A. E., y Desimone, R. (2001). Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science*, 291(5508), 1560-1563.
- Fries, P., Schröder, J. H., Roelfsema, P. R., Singer, W., y Engel, A. K. (2002). Oscillatory neuronal synchronization in primary visual cortex as a correlate of stimulus selection. *Journal of Neuroscience*, 22(9), 3739-3754.
- Gallego, Á. (2010). *Phase Theory*. Amsterdam: John Benjamins.
- Gallego, Á. (2011). Parameters. En C. Boeckx (ed.), *The Oxford Handbook of Linguistic Minimalism*, (pp. 523-550). Oxford: Oxford University Press.
- Gallego, Á. (2014). Deriving Feature Inheritance from the Copy Theory of Movement. *The Linguistic Review*, 31(1), 41-71.
- Galloto, S., Sack, A. T., Schuhmann, T., y de Graaf, T. A. (2017). Oscillatory correlates of visual consciousness. *Frontiers in psychology*, 8.

- Geisler, C., Diba, K., Pastalkova, E., Mizuseki, K., Royer, S., y Buzsáki, G. (2010). Temporal delays among place cells determine the frequency of population theta oscillations in the hippocampus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), 7957-7962.
- Geschwind, N. (1967). The varieties of naming errors. *Cortex*, 3(1), 97-112.
- Giraud, A. L., Kleinschmidt, A., Poeppel, D., Lund, T. E., Frackowiak, R. S., y Laufs, H. (2007). Endogenous cortical rhythms determine cerebral specialization for speech perception and production. *Neuron*, 56(6), 1127-1134.
- Giraud, A. L., y Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, 15(4), 511-517.
- Gluck, M. A., Shohamy, D., y Myers, C. (2002). How do people solve the “weather prediction” task?: Individual variability in strategies for probabilistic category learning. *Learning & Memory*, 9(6), 408-418.
- Gray, C. M., y Singer, W. (1989). Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 86(5), 1698-1702.
- Grohmann, K. K. (2000). *Prolific Peripheries: A Radical View from the Left*. Tesis Doctoral no publicada, University of Maryland, College Park.
- Grohmann, K. K. (2011). Anti-locality: Too-close relations in grammar. En C. Boeckx (ed.), *The Oxford Handbook of Linguistic Minimalism*, (pp. 260-290). Oxford: Oxford University Press.
- Eguren, L., y Soriano, O. F. (2004). *Introducción a una sintaxis minimista*. España: Gredos.
- Haber, S. N., y Calzavara, R. (2009). The cortico-basal ganglia integrative network: the role of the thalamus. *Brain Research Bulletin*, 78(2), 69-74.
- Haegens, S., Nácher, V., Luna, R., Romo, R., y Jensen, O. (2011). α -Oscillations in the monkey sensorimotor network influence discrimination performance by rhythmical inhibition of neuronal spiking. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(48), 19377-19382.
- Haspelmath, M. (2008). Parametric versus functional explanations of syntactic universals. En T. Biberauer (ed.), *The Limits of Syntactic Variation* (pp. 75-108). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- Hagmann, P. (2005) From diffusion MRI to brain connectomics. Tesis Doctoral no publicada, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Hagoort, P. (2005). On Broca, brain, and binding: a new framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 416-423.

- Hagoort, P. (2016). MUC (Memory, Unification, Control): A model on the neurobiology of language beyond single word processing. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds.), *Neurobiology of Language*, (pp.339-347). USA: Academic Press
- Hale, K. L., y Keyser, S. J. (1993). On Argument Structure and the Lexical Expression of Syntactic Relations. En K. Hale y S.J. Keyser (eds.), *The view from Building 20: Essays in Honor of Sylvain Bromberger* (pp. 53-109), Cambridge: MIT Press.
- Harmony, T. (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 83.
- Hasselmo, M. E., Bodelón, C., y Wyble, B. P. (2002). A proposed function for hippocampal theta rhythm: separate phases of encoding and retrieval enhance reversal of prior learning. *Neural computation*, 14(4), 793-817.
- Hauser, M. D., Chomsky, N., y Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve?. *Science*, 298(5598), 1569-1579.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological approach*. New York: John Wiley & Sons.
- Hickok, G., y Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(4), 131-138.
- Hickok, G., y Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature reviews. Neuroscience*, 8(5), 393.
- Hickok, G., y Small, S. L. (eds.). (2015). *Neurobiology of language*. USA: Academic Press.
- Hipp, J. F., Hawellek, D. J., Corbetta, M., Siegel, M., y Engel, A. K. (2012). Large-scale cortical correlation structure of spontaneous oscillatory activity. *Nature Neuroscience*, 15(6), 884-890.
- Hodgkin, A. L., y Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of Physiology*, 117(4), 500-544.
- Honkanen, R., Rouhinen, S., Wang, S. H., Palva, J. M., y Palva, S. (2014). Gamma oscillations underlie the maintenance of feature-specific information and the contents of visual working memory. *Cerebral Cortex*, 25(10), 3788-3801.
- Hornstein, N. (2000). *Move! A minimalist theory of construal*. Bodmin: Blackwell Publishers.
- Hornstein, N. (2009). *A theory of syntax: Minimal operations and universal grammar*. New York: Cambridge University Press.

- Huguenard, J. R., y McCormick, D. A. (2007). Thalamic synchrony and dynamic regulation of global forebrain oscillations. *Trends in Neurosciences*, 30(7), 350-356.
- Hutcheon, B., y Yarom, Y. (2000). Resonance, oscillation and the intrinsic frequency preferences of neurons. *Trends in Neurosciences*, 23(5), 216-222.
- Jenkins, L. (2000). *Biolinguistics: Exploring the Biology of Language*. New York: Cambridge University Press.
- Jensen, O., y Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 186.
- Jensen, O., Spaak, E., y Zumer, J. M. (2014). Human brain oscillations: from physiological mechanisms to analysis and cognition. En S. Supek, y C. J. Aine (eds.), *Magnetoencephalography* (pp. 359-403). New York: Springer.
- Jones, E. G. (1998). The core and matrix of thalamic organization. *Neuroscience*, 85(2), 331-345.
- Jones, E. G. (2001). The thalamic matrix and thalamocortical synchrony. *Trends in Neurosciences*, 24(10), 595-601.
- Jutras, M. J., y Buffalo, E. A. (2010). Synchronous neural activity and memory formation. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 150-155.
- Jutras, M. J., Fries, P., y Buffalo, E. A. (2009). Gamma-band synchronization in the macaque hippocampus and memory formation. *Journal of Neuroscience*, 29(40), 12521-12531.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessel, T. M., Siegelbaum, S. A., y Hudspeth, A. J. (2013). *Principles of neural science* (5a. ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Kawasaki, M., Kitajo, K., & Yamaguchi, Y. (2010). Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. *European Journal of Neuroscience*, 31(9), 1683-1689.
- Kayne, R. S. (1984). *Connectedness and binary branching*. Dordrecht: Foris.
- Kayne, R. S. (1994). *The antisymmetry of syntax*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Kayne, R. S. (2002). Pronouns and their antecedents. En S. D. Epstein, y T. D. Seely (eds.), *Derivation and explanation in the Minimalist Program* (pp. 133-166). Oxford: Blackwell.
- Kayne, R. S. (2010). *Comparisons and contrasts*. New York: Oxford University Press.
- Klimesch, W., Sauseng, P., y Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63-88.
- Koch, C. (2004). *The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach*. Roberts & Company Publishers.

- Kopell, N. J. (2008). Rhythm generation through period concatenation in rat somatosensory cortex. *PLoS Computational Biology*, 4(9), e1000169.
- Kopell, N. J., Gritton, H. J., Whittington, M. A., y Kramer, M. A. (2014). Beyond the connectome: the dynamo. *Neuron*, 83(6), 1319-1328.
- Kopell, N., Kramer, M. A., Malerba, P., y Whittington, M. A. (2010). Are different rhythms good for different functions?. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 187.
- Kopell, N., Whittington, M. A., y Kramer, M. A. (2011). Neuronal assembly dynamics in the beta1 frequency range permits short-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3779-3784.
- Koziol, L. F., y Budding, D. E. (2009). *Subcortical structures and cognition: Implications for neuropsychological assessment*. USA: Springer.
- Kramer, M. A., Roopun, A. K., Carracedo, L. M., Traub, R. D., Whittington, M. A., y Kopell, N. J. (2008). Rhythm generation through period concatenation in rat somatosensory cortex. *PLoS computational biology*, 4(9), e1000169.
- Kreiman, G. (2014). Neural Correlates of Consciousness: Perception and Volition. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 791-800). USA: MIT Press.
- Lahne, A. (2009): Where There is Fire There is Smoke. Local Modelling of Successive-Cyclic Movement. Tesis Doctoral no publicada, Universität Leipzig, Leipzig.
- Larson, R. K. (1988). On the double object construction. *Linguistic Inquiry*, 19(3), 335-391.
- Lasnik, H., Depiante, M. A., y Stepanov, A. (2000). *Syntactic structures revisited: Contemporary lectures on classic transformational theory*. London: MIT Press.
- Lenneberg, E.H. (1967). *Biological Foundations of Language*. New York: John Wiley and Sons.
- Leutgeb, J. K., y Leutgeb, S. (2014). The Contribution of Hippocampal Subregions to Memory Coding. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 547-556). USA: MIT Press.
- Lewis, A. G., y Bastiaansen, M. (2015). A predictive coding framework for rapid neural dynamics during sentence-level language comprehension. *Cortex*, 68, 155-168.
- Lichtheim, L. (1885). On aphasia. *Brain*, 7, 433-484.
- Liebe, S., Hoerzer, G. M., Logothetis, N. K., y Rainer, G. (2012). Theta coupling between V4 and prefrontal cortex predicts visual short-term memory performance. *Nature Neuroscience*, 15(3), 456-462.

- Lisman, J. E. (2010). Working memory: the importance of theta and gamma oscillations. *Current Biology*, 20(11), R490-R492.
- Lisman, J. E., e Idiart, M. A. (1995). Storage of 7 plus/minus 2 short-term memories in oscillatory subcycles. *Science*, 267(5203), 1512-1515.
- Lisman, J. E., y Jensen, O. (2013). The theta-gamma neural code. *Neuron*, 77(6), 1002-1016.
- Llano, D. A. (2016). The Thalamus and Language. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds.), *Neurobiology of Language* (pp.95-114). USA: Academic Press.
- Llinás, R. R. (1988). The intrinsic electrophysiological properties of mammalian neurons: insights into central nervous system function. *Science*, 242(4886), 1654-1664.
- Longa, V. M., y Lorenzo, G. (2012). Theoretical linguistics meets development: explaining FL from a epigeneticist point of view. En C. Boeckx, M. C. Horno-Chéliz, y J. L. Mendívil-Giró (eds.) *Language, from a biological point of view* (pp. 52-84). Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.
- Lorenzo, G. (2008). Los límites de la selección natural y el evo-minimalismo, antecedentes, actualidad y perspectivas del pensamiento chomskyano sobre los orígenes evolutivos del lenguaje. *Verba*, 35, 387-421.
- Luck, S. J., y Kappenman, E. S. (2011). ERP components and selective attention. En S. K. Luck, y E.S. Kappenman (eds.), *The Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 295-328). Oxford: Oxford University Press.
- Lumer, E. D., Edelman, G. M., y Tononi, G. (1997). Neural dynamics in a model of the thalamocortical system. I. Layers, loops and the emergence of fast synchronous rhythms. *Cerebral Cortex*, 7(3), 207-227.
- Lutzenberger, W., Pulvermüller, F., y Birbaumer, N. (1994). Words and pseudowords elicit distinct patterns of 30-Hz EEG responses in humans. *Neuroscience Letters*, 176(1), 115-118.
- Maier, A., Adams, G. K., Aura, C., y Leopold, D. A. (2010). Distinct superficial and deep laminar domains of activity in the visual cortex during rest and stimulation. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 4, 31.
- Marder, E., y Bucher, D. (2001). Central pattern generators and the control of rhythmic movements. *Current Biology*, 11(23), R986-R996.
- Markram, H., Lübke, J., Frotscher, M., y Sakmann, B. (1997). Regulation of synaptic efficacy by coincidence of postsynaptic APs and EPSPs. *Science*, 275(5297), 213-215.

- Marr, D. (1982). *A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. MIT Press.
- Martin, R., y Uriagereka, J. (2000). Some possible foundations of the minimalist program. En R. Martin, D. Michaels, y J. Uriagereka (eds.), *Step by Step: Essays on Minimalist Syntax in Honor of Howard Lasnik*, (pp. 1-29). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Mazaheri, A., y Jensen, O. (2010). Rhythmic pulsing: linking ongoing brain activity with evoked responses. *Frontiers in human neuroscience*, 4, 177.
- McCormick, D. A., y Bal, T. (1997). Sleep and arousal: thalamocortical mechanisms. *Annual review of neuroscience*, 20(1), 185-215.
- Mendívil, J. L. (2009). *Origen, evolución y diversidad de las lenguas. Una aproximación biolingüística*. Frankfurt: Peter Lang.
- Mendívil, J. L. (2016). *El cambio lingüístico: Sus causas, mecanismos y consecuencias*. Madrid: Síntesis.
- Meyer, L., Henry, M. J., Gaston, P., Schmuck, N., y Friederici, A. D. (2016). Linguistic bias modulates interpretation of speech via neural delta-band oscillations. *Cerebral Cortex*, 1-10.
- Meyer, L., Obleser, J., y Friederici, A. D. (2013). Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing. *Cortex*, 49(3), 711-721.
- Merikle, P. M., y Joordens, S. (1997). Parallels between perception without attention and perception without awareness. *Consciousness and Cognition*, 6(2), 219-236.
- Miller, E. K. (2013). The “working” of working memory. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 15(4), 411.
- Miller, E. K., y Buschman, T. J. (2013). Cortical circuits for the control of attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(2), 216-222.
- Miller, E. K., y Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Min, B. K. (2010). A thalamic reticular networking model of consciousness. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 7(1), 10.
- Miranda, R., Adrover-Adrover, D., Sánchez-Cubillo, I., y Muñoz, M. (2013). Mecanismos sinápticos y moleculares del aprendizaje y la memoria. En D. Redolar (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 439-460). Madrid: Editorial Médica Panamericana.

- Mitchell, A. S. (2015). The mediodorsal thalamus as a higher order thalamic relay nucleus important for learning and decision-making. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *54*, 76-88.
- Morales, G. J., Ramcharan, E. J., Sundararaman, N., Morgera, S. D., y Vertes, R. P. (2007). Analysis of the actions of nucleus reuniens and the entorhinal cortex on EEG and evoked population behavior of the hippocampus. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, 2480-2484.
- Morgado, I. (2013). La conciencia: conceptos, hipótesis y observaciones clínicas y experimentales. En Redolar, D. (ed.), *Neurociencia Cognitiva* (pp. 747-756). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Moro, A. (2000). *Dynamic antisymmetry*. Cambridge, Massachusetts: MIT press.
- Müller, G. (2004). Phrase impenetrability and wh-intervention. En A. Stepanov, G. Fanselow, y R. Vogel (eds.), *Minimality effects in syntax*, (pp. 289-325). New York: Mouton de Gruyter.
- Müller, G. (2011). *Constraints on displacement: A phase-based approach*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- Murphy, E. (2015). The brain dynamics of linguistic computation. *Frontiers in psychology*, *6*, 1515.
- Murphy, E. (2016a). The human oscillome and its explanatory potential. *Biolinguistics*, *10*, 006-020.
- Murphy, E. (2016b). A Theta-gamma neural code for feature set composition with phase-entrained delta nestings. *UCL Work. Pap. Linguist*, *28*, 1-23.
- Nakhnikian, A., Rebec, G. V., Grasse, L. M., Dwiell, L. L., Shimono, M., y Beggs, J. M. (2014). Behavior modulates effective connectivity between cortex and striatum. *PLoS One*, *9*(3), e89443.
- Nan, W., Migotina, D., Wan, F., Lou, C. I., Rodrigues, J., Semedo, J., ... y Da Rosa, A. C. (2014). Dynamic peripheral visual performance relates to alpha activity in soccer players. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 913.
- Narita, H. (2012). Phase cycles in service of projection-free syntax. En A. Gallego (ed.), *Phases: Developing the Framework* (pp. 125-172). Alemania: De Gruyter Mouton.
- Nelson, A. B., y Kreitzer, A. C. (2014). Reassessing models of basal ganglia function and dysfunction. *Annual Review of Neuroscience*, *37*, 117-135.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton Century Crofts.

- Newmeyer, F.J. (1996). *Generative Linguistics: A Historical Perspective*. London: Routledge.
- Newmeyer, F.J. (2005). *Possible and Probable Languages. A Generative Perspective on Linguistic Typology*. Oxford: Oxford University Press.
- Oberauer, K. (2009). Design for a working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 51, 45-100.
- O'Keefe, J., y Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive mapp*. Oxford: Clarendon Press.
- O'Keefe, y., y Recce, M. L. (1993). Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. *Hippocampus*, 3(3), 317-330.
- O'Mara, S. (2005). The subiculum: what it does, what it might do, and what neuroanatomy has yet to tell us. *Journal of Anatomy*, 207(3), 271-282.
- O'Mara, S. M., Sanchez-Vives, M. V., Brotons-Mas, J. R., y O'hare, E. (2009). Roles for the subiculum in spatial information processing, memory, motivation and the temporal control of behaviour. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 33(5), 782-790.
- Palva, J. M., Monto, S., Kulashekhar, S., y Palva, S. (2010). Neuronal synchrony reveals working memory networks and predicts individual memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(16), 7580-7585.
- Palva, S., y Palva, J. M. (2007). New vistas for α -frequency band oscillations. *Trends in Neurosciences*, 30(4), 150-158.
- Palva, S., y Palva, J. M. (2011). Functional roles of alpha-band phase synchronization in local and large-scale cortical networks. *Frontiers in Psychology*, 2, 204.
- Palva, S., y Palva, J. M. (2012). Discovering oscillatory interaction networks with M/EEG: challenges and breakthroughs. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 219-230.
- Pantcheva, M. B. (2011). Decomposing path: The nanosyntax of directional expressions. Tesis Doctoral no publicada, University of Tromsø Tromsø.
- Parnaudeau, S., O'Neill, P. K., Bolkan, S. S., Ward, R. D., Abbas, A. I., Roth, B. L., ... y Kellendonk, C. (2013). Inhibition of mediodorsal thalamus disrupts thalamofrontal connectivity and cognition. *Neuron*, 77(6), 1151-1162.
- Parvizi, J. (2009). Corticocentric myopia: old bias in new cognitive sciences. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(8), 354-359.
- Petersen, S. E., y Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73-89.

- Piattelli-Palmarini, M. (1974). *A Debate on Bio-linguistics*. Conferencia llevada a cabo en Paris: Centre Royaumont pour une Science de l'Homme.
- Pigliucci, M., y Müller, G. B. (2010). *Evolution: the extended synthesis*. Cambridge: MIT Press.
- Plenz, D., y Kital, S. T. (1999). A basal ganglia pacemaker formed by the subthalamic nucleus and external globus pallidus. *Nature*, 400(6745), 677.
- Poeppl, D. (2012). The maps problem and the mapping problem: two challenges for a cognitive neuroscience of speech and language. *Cognitive Neuropsychology*, 29(1-2), 34-55.
- Poeppl, D., y Hickok, G. (2004). Towards a new functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1), 1-12.
- Posner, M. I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(16), 7398-7403.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(2), 253-279.
- Pulvermüller, F. (2010). Brain embodiment of syntax and grammar: Discrete combinatorial mechanisms spelt out in neuronal circuits. *Brain and Language*, 112(3), 167-179.
- Pulvermüller, F., y Fadiga, L. (2016) Brain Language Mechanisms Built on Action and Perception. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds.), *Neurobiology of Language* (pp.311-326). USA:Academic Press.
- Pulvermüller, F., Preissl, H., Lutzenberger, W., y Birbaumer, N. (1996). Brain rhythms of language: nouns versus verbs. *European Journal of Neuroscience*, 8(5), 937-941.
- Purves, D. E., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D. E., Hall, W.C., LaMantia, A., McNamara, J.O., y Williams, S.M. (2004). *Neuroscience* (3a. ed.). Sunderland: Sinauer Associates.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., y Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676-682.
- Ramírez, J. (2013). *Variación lingüística, fases y externalización: Desde los macroparámetros hasta líneas de investigación emergentes*. Trabajo final de grado, Universitat de Girona, Girona.
- Ramírez, J. (2014). *Sintaxis oscilante: Traduciendo Merge- α a oscilaciones cerebrales*. Tesina de Máster, Universitat de Girona, Girona.
- Ramírez, J. (2015a). Locality in language and locality in brain oscillatory structures. *Biolinguistics*, 9, 74-95.

- Ramírez, J. (2015b). *Four neutral operations implemented by brain oscillations and their use in language*. Manuscrito, Universitat de Girona.
- Ramírez, J. y Boeckx, C. (2015). *Rethinking language for reworking its core network*. Manuscrito, Universitat de Girona/Universitat de Barcelona, Girona/Barcelona.
- Ramírez, J., Theofanopoulou, C., y Boeckx, C. (2015). *A hypothesis concerning the neurobiological basis of phrase structure building*. Manuscrito, Universitat de Girona/Universitat de Barcelona, Girona/Barcelona.
- Ranganath, C., Hasselmo, M.E., y Stern, C. E. (2014). Short-Term Memory: Neural Mechanisms, Brain Systems, and Cognitive Processes. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp.527-538). USA: MIT Press.
- Raven, P., Johnson, G. Mason, K., Losos, J., y Singer, S. (2017). *Biology* (11a ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Ray, W. J., & Cole, H. W. (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*, 228(4700), 750-752.
- Redolar, D. (ed.). (2013). *Neurociencia Cognitiva*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., y Jackson, R. (2014). *Campbell Biology* (10a ed.). Boston: Pearson.
- Reinhart, T. M. (1976). *The syntactic domain of anaphora*. Tesis Doctoral no publicada, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Richards, N. (2010). *Uttering Trees*. Cambridge, Massachusetts.: MIT Press.
- Richards, M. D. (2011). Deriving the Edge: What's in a Phase?. *Syntax*, 14(1), 74-95.
- Rizzi, L. (1982). Negation, wh-movement and the null subject parameter. *Issues in Italian syntax*, 117, 184.
- Rizzi, L. (1990). *Relativized minimality*. Cambridge: MIT Press.
- Rizzi, L. (2011). Minimality. En C. Boeckx (ed.), *The Oxford Handbook of Linguistic Minimalism* (pp. 220-238). Oxford: Oxford University Press.
- Roopun, A. K., Kramer, M. A., Carracedo, L. M., Kaiser, M., Davies, C. H., Traub, R. D., ... y Whittington, M. A. (2008). Period concatenation underlies interactions between gamma and beta rhythms in neocortex. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 2, 1.
- Roopun, A. K., Middleton, S. J., Cunningham, M. O., LeBeau, F. E., Bibbig, A., Whittington, M. A., y Traub, R. D. (2006). A beta2-frequency (20–30 Hz) oscillation in nonsynaptic networks of somatosensory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(42), 15646-15650.

- Ross, J. R. (1967). *Constraints on variables in syntax*. Tesis Doctoral no publicada, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Roux, F., y Uhlhaas, P. J. (2014). Working memory and neural oscillations: alpha–gamma versus theta–gamma codes for distinct WM information?. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(1), 16-25.
- Roux, F., Wibral, M., Singer, W., Aru, J., y Uhlhaas, P. J. (2013). The phase of thalamic alpha activity modulates cortical gamma-band activity: evidence from resting-state MEG recordings. *Journal of Neuroscience*, 33(45), 17827-17835.
- Saalmann, Y. B. (2014). Intralaminar and medial thalamic influence on cortical synchrony, information transmission and cognition. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 83.
- Saalmann, Y. B., y Kastner, S. (2009). Gain control in the visual thalamus during perception and cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 19(4), 408-414.
- Saalmann, Y. B., y Kastner, S. (2011). Cognitive and perceptual functions of the visual thalamus. *Neuron*, 71(2), 209-223.
- Saalmann, Y. B., y Kastner, S. (2013). A role for the pulvinar in social cognition (commentary on Nguyen *et al.*). *European Journal of Neuroscience*, 37(1), 33-34.
- Saalmann, Y. B., Pinsk, M. A., Wang, L., Li, X., y Kastner, S. (2012). The pulvinar regulates information transmission between cortical areas based on attention demands. *Science*, 337(6095), 753-756.
- Samaha, J., y Postle, B. R. (2015). The speed of alpha-band oscillations predicts the temporal resolution of visual perception. *Current Biology*, 25(22), 2985-2990.
- Sauseng, P., Griesmayr, B., Freunberger, R., y Klimesch, W. (2010). Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1015-1022.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Heise, K. F., Gruber, W. R., Holz, E., Karim, A. A., ... y Hummel, F. C. (2009). Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity. *Current Biology*, 19(21), 1846-1852.
- Schomburg, E. W., Fernández-Ruiz, A., Mizuseki, K., Berényi, A., Anastassiou, C. A., Koch, C., y Buzsáki, G. (2014). Theta phase segregation of input-specific gamma patterns in entorhinal-hippocampal networks. *Neuron*, 84(2), 470-485.
- Schroeder, C. E., y Lakatos, P. (2009). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*, 32(1), 9-18.

- Schroll, H., y Hamker, F. H. (2013). Computational models of basal-ganglia pathway functions: focus on functional neuroanatomy. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 122.
- Selverston, A. I. (2010). Invertebrate central pattern generator circuits. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1551), 2329-2345.
- Senkowski, D., Schneider, T. R., Foxe, J. J., y Engel, A. K. (2008). Crossmodal binding through neural coherence: implications for multisensory processing. *Trends in Neurosciences*, 31(8), 401-409.
- Sherman, S. M., y Guillery, R. W. (1998). On the actions that one nerve cell can have on another: distinguishing “drivers” from “modulators”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(12), 7121-7126.
- Sherman, S. M., y Guillery, R. W. (2006). *Exploring the thalamus* (2a ed.). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Sherman, S. M., y Guillery, R. W. (2011). Distinct functions for direct and transthalamic corticocortical connections. *Journal of Neurophysiology*, 106(3), 1068-1077.
- Shepherd, G. M. (2013). Corticostriatal connectivity and its role in disease. *Nature Reviews. Neuroscience*, 14(4), 278.
- Shohamy, D., y Daw, N. D. (2014). Habits and Reinforcement Learning. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 591-604). USA: MIT Press.
- Siapas, A. G., Lubenov, E. V., y Wilson, M. A. (2005). Prefrontal phase locking to hippocampal theta oscillations. *Neuron*, 46(1), 141-151.
- Siegel, M., Donner, T. H., y Engel, A. K. (2012). Spectral fingerprints of large-scale neuronal interactions. *Nature reviews. Neuroscience*, 13(2), 121.
- Singer, W., y Gray, C. M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 555-586.
- Sirota, A., Montgomery, S., Fujisawa, S., Isomura, Y., Zugaro, M., y Buzsáki, G. (2008). Entrainment of neocortical neurons and gamma oscillations by the hippocampal theta rhythm. *Neuron*, 60(4), 683-697.
- Skaggs, W. E., y McNaughton, B. L. (1996). Theta phase precession in hippocampal. *Hippocampus*, 6, 149-172.
- Smith, B. C. (2002). The Foundations of Computing. En M. Scheutz (ed.) *Computationalism: New directions* (pp. 24-58). Cambridge: MIT Press.

- Smith, S. M., Fox, P. T., Miller, K. L., Glahn, D. C., Fox, P. M., Mackay, C. E., ... y Beckmann, C. F. (2009). Correspondence of the brain's functional architecture during activation and rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(31), 13040-13045.
- Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. (2010). *Biology* (9a ed.). USA: Brooks/Cole.
- Somogyi, P. (2010). Hippocampus: intrinsic organization. En G. M. Shepherd, y S. Grillner (eds.), *Handbook of brain microcircuits* (pp. 148-164). USA: Oxford University Press.
- Song, K., Meng, M., Chen, L., Zhou, K., y Luo, H. (2014). Behavioral oscillations in attention: rhythmic α pulses mediated through θ band. *Journal of Neuroscience*, *34*(14), 4837-4844.
- Spaak, E., Bonnefond, M., Maier, A., Leopold, D. A., y Jensen, O. (2012). Layer-specific entrainment of gamma-band neural activity by the alpha rhythm in monkey visual cortex. *Current Biology*, *22*(24), 2313-2318.
- Sporns, O. (2007). Brain connectivity. *Scholarpedia*, *2*(10), 4695.
- Sporns, O. (2010). *Networks of the Brain*. Cambridge, Massachusetts: MIT press.
- Sporns, O., Tononi, G., y Kötter, R. (2005). The human connectome: a structural description of the human brain. *PLoS Computational Biology*, *1*(4), e42.
- Starke, M. (2010). Nanosyntax: A short primer to a new approach to language. *Nordlyd*, *36*(1), 1-6.
- Squire, L. R., y Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(24), 13515-13522.
- Sun, W., y Dan, Y. (2009). Layer-specific network oscillation and spatiotemporal receptive field in the visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(42), 17986-17991.
- Suzuki, W. A., y Naya, Y. (2014). The perirhinal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, *37*, 39-53.
- Svenonius, P. (2004). On the edge. En D. Adger, C. de Cat, y G. Tsoulas (eds.), *Peripheries: Syntactic Edges and Their Effects* (pp. 259-287). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Theofanopoulou, C., Martins, P. T., Ramírez, J., Zhang, E., Castillo, G., Shi, E., Alamri, S., Martínez Álvarez, A. y Leivada, E. (2015). Fonaments neurològics del llenguatge: perspectives emergents. *Llengua, societat i comunicació*, *13*, 4-11.

- Thorn, C. A., y Graybiel, A. M. (2014). Differential entrainment and learning-related dynamics of spike and local field potential activity in the sensorimotor and associative striatum. *Journal of Neuroscience*, 34(8), 2845-2859.
- Tononi, G., y Edelman, G. M. (1998). Consciousness and complexity. *Science*, 282(5395), 1846-1851.
- Tort, A. B., Kramer, M. A., Thorn, C., Gibson, D. J., Kubota, Y., Graybiel, A. M., y Kopell, N. J. (2008). Dynamic cross-frequency couplings of local field potential oscillations in rat striatum and hippocampus during performance of a T-maze task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(51), 20517-20522.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. Tulving, y W. Donaldson, *Organization of memory* (pp. 381-403). Oxford: Academic Press.
- Ullman, M. T. (2001). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 105-122.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1), 231-270.
- Ullman, M. T. (2016). The declarative/procedural model: a neurobiological model of language learning, knowledge and use. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds.), *Neurobiology of Language* (pp.953-968). USA:Academic Press
- Uncapher, M. R., Gordon, A. M., y Wagner, A. D. (2014). Parietal Lobe Mechanisms Subserving Episodic Memory Retrieval. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 567-576). USA: MIT Press.
- Uriagereka, J. (1999). Multiple spell-out. En N. Hornstein, y S. Epstein (eds.), *Working Minimalism* (pp. 251-282). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Van Elswijk, G., Maij, F., Schoffelen, J. M., Overeem, S., Stegeman, D. F., y Fries, P. (2010). Corticospinal beta-band synchronization entails rhythmic gain modulation. *Journal of Neuroscience*, 30(12), 4481-4488.
- Vann, S. D. (2010). Re-evaluating the role of the mammillary bodies in memory. *Neuropsychologia*, 48(8), 2316-2327.
- VanRullen, R. (2016). Perceptual cycles. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(10), 723-735.
- Varela, C., Kumar, S., Yang, J. Y., y Wilson, M. A. (2014). Anatomical substrates for direct interactions between hippocampus, medial prefrontal cortex, and the thalamic nucleus reuniens. *Brain Structure and Function*, 219(3), 911-929.

- Von Nicolai, C., Engler, G., Sharott, A., Engel, A. K., Moll, C. K., y Siegel, M. (2014). Corticostriatal coordination through coherent phase-amplitude coupling. *Journal of Neuroscience*, 34(17), 5938-5948.
- Von Stein, A., y Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, 38(3), 301-313.
- Wang, L., Jensen, O., Van den Brink, D., Weder, N., Schoffelen, J. M., Magyari, L., ... y Bastiaansen, M. (2012). Beta oscillations relate to the N400m during language comprehension. *Human Brain Mapping*, 33(12), 2898-2912.
- Wang, L., Saalman, Y. B., Pinsk, M. A., Arcaro, M. J., y Kastner, S. (2012). Electrophysiological low-frequency coherence and cross-frequency coupling contribute to BOLD connectivity. *Neuron*, 76(5), 1010-1020.
- Wang, X. J. (2010). Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition. *Physiological reviews*, 90(3), 1195-1268.
- Watkins, K. E., y Jenkinson, N. (2016). The Anatomy of the Basal Ganglia. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds), *Neurobiology of Language* (pp.85-94). USA: Academic Press.
- Ward, J. (2015). *The student's guide to cognitive neuroscience* (3a. ed.). New York: Psychology Press.
- Weiller, C., Bormann, T., Kuemmerer, D., Musso, M., y Rijntjes, M. (2016). The dual loop model in language. En Hickok, G., y Small, S. L. (eds), *Neurobiology of Language* (pp.325-337). USA: Academic Press.
- Weiss, S., y Mueller, H. M. (2003). The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and Language*, 85(2), 325-343.
- Weiss, S., y Mueller, H. M. (2012). “Too many betas do not spoil the broth”: the role of beta brain oscillations in language processing. *Frontiers in Psychology*, 3, 201.
- Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex: eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. Breslau: Cohn & Weigert.
- Wilson, C. J. (2015). Oscillators and oscillations in the basal ganglia. *The Neuroscientist*, 21(5), 530-539.
- Witter, M. (2011). Entorhinal cortex. *Scholarpedia*, 6(10), 4380.
- Womelsdorf, T., Ardid, S., Everling, S., y Valiante, T. A. (2014a). Burst firing synchronizes prefrontal and anterior cingulate cortex during attentional control. *Current Biology*, 24(22), 2613-2621.

- Womelsdorf, T., Landau, A. N., y Fries, P. (2014b). Attentional Selection Through Rhythmic Synchronization at Multiple Frequencies. En Gazzaniga, M. S., y Mangun, G. R. (eds.), *The Cognitive Neurosciences* (5a ed.) (pp. 221-232). USA: MIT Press.
- Worden, M. S., Foxe, J. J., Wang, N., y Simpson, G. V. (2000). Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific-band electroencephalography increases over occipital cortex. *Journal of Neuroscience*, 20(RC63), 1-6.
- Ye, Z., y Zhou, X. (2009). Executive control in language processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(8), 1168-1177.
- Yuste, R., MacLean, J. N., Smith, J., y Lansner, A. (2005). The cortex as a central pattern generator. *Nature Reviews. Neuroscience*, 6(6), 477.
- Zatorre, R. J., Belin, P., y Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 37-46.
- Zhang, Y., Yoshida, T., Katz, D. B., y Lisman, J. E. (2012). NMDAR antagonist action in thalamus imposes delta oscillations on the hippocampus. *Journal of Neurophysiology*, 107(11), 3181-3189.