

Sintaxis oscilante

Traduciendo Merge- α a
oscilaciones cerebrales

Tesina de Máster

Javi Ramírez Fernández

Dirigida por el Dr. Francesc Roca Urgell
y por el Dr. Cedric Boeckx

Universitat de Girona

Facultat de Lletres

Máster en enseñanza de español como segunda lengua

Julio de 2014

A Álex, mi hermano

Agradecimientos

Gracias a Francesc Roca por armonizar el guiarme con darme libertad ya desde comienzos de carrera. Gracias a Cedric Boeckx por ser un referente en las distancias largas, y serlo ahora en las cortas.

Índice

1	Introducción.....	1
Parte I: Estado de la cuestión.....		3
2	Un nuevo enfoque del problema de Broca.....	4
2.1	Redefiniendo el objeto de estudio.....	4
2.2	La globularidad y la <i>humaniqueness</i>	5
2.3	El lenguaje del pensamiento y la especificidad.....	8
2.4	Un toque de atención a teorías adaptacionistas.....	10
2.5	Despidiéndonos del modelo Broca-Wernicke.....	10
2.6	El tálamo y trastornos más generales.....	11
3	Ritmos cerebrales.....	14
3.1	Oscilaciones relevantes en el procesamiento sintacticosemántico.....	19
3.1.1	Oscilaciones <i>theta</i> (4-7Hz).....	19
3.1.2	Oscilaciones <i>alpha</i> (8-14Hz).....	27
3.1.3	Oscilaciones <i>beta</i> (15-30Hz).....	33
3.1.3.1	El ritmo <i>beta</i> como un <i>alpha</i> (<i>merge</i>) menor.....	36
3.1.4	Oscilaciones <i>gamma</i> (30-90Hz).....	38
3.1.4.1	Funciones de <i>gamma</i> a varios niveles.....	42
3.1.4.2	<i>Gamma</i> desde una perspectiva evolutiva.....	45
3.2	Sintaxis Neuronal	47
4	<i>Merge-α</i>	55
Parte II: Traduciendo <i>Merge-α</i> a oscilaciones cerebrales.....		64
5	Paralelismos entre <i>Merge-α</i> y los ritmos cerebrales.....	65
6	Un modelo.....	70
6.1	Traduciendo primitivos.....	70
6.1.1	<i>Lexical precursor cells</i>	70
6.1.2	<i>Merge</i>	73
6.1.3	<i>Transfer</i>	74
6.1.4	Distinciones categoriales: núcleos de fase vs no-núcleos de fase.....	76
6.2	Uniendo las piezas.....	77
6.3	Un sistema incapaz de sostener múltiples ritmos en la misma banda. De lo global a lo local.....	81

6.4	Un problema potencial y el <i>binding</i> local.....	83
7	Ampliando el modelo: especificadores, adjuntos, y un poco de datos.....	86
8	Conclusiones.....	100
8.1	Experimento.....	102
9	Bibliografía.....	105

1. Introducción

Fue en el despacho de Cedric Boeckx donde se me cayó la venda de los ojos: si quería dedicarme a la biolingüística en el *strong sense* (Boeckx y Grohmann, 2007), debía estar dispuesto no sólo a enzarzarme en la biología, sino a reconocer *that we've been wrong* (Boeckx, Mendivil y Horno, 2012). Asimismo, fue aquella mañana cuando aprendí la diferencia entre investigar y resumir: me animó a buscar mi propio problema, uno que disolviera la frontera, como la que aquejaba el proyecto que entonces estaba redactando, entre consideraciones de carácter biológico, por un lado, y la teoría lingüística al uso, por otro. Esta tesina es, en suma, el encauzamiento novel de mi actividad como investigador a raíz de ambas lecciones.

Tengo por objeto arrojar algo de luz al problema de Broca, traduciendo principios de la teoría lingüística a la dinámica de las oscilaciones cerebrales. De esta forma, apuntaré, tentativamente, a una *linking hypothesis* (Poeppel, 2012) inspirada, principalmente, en *Merge- α* de Boeckx (2014) -por ser una teoría del nivel adecuado de granularidad- y en los ritmos del cerebro de Buzsáki (2006) -por ser, conforme a Boeckx (2013, 2014b), el correlato neuronal de las fases (véase Chomsky, 2000 et seq.), capitales en el programa minimista-.

Para ello, en un primer bloque formado por los capítulos 2-4, estableceré un estado de la cuestión. A grandes rasgos: en el 2, defenderé el abandono del corticocentrismo en neurociencia para caracterizar nuestro fenotipo cognitivo, esencialmente “intermodular” (Boeckx y Burraco, 2014); en el 3, tras introducir el funcionamiento de las oscilaciones cerebrales, esbozaré la teoría de la *neural syntax* de Buzsáki (2010), destacando los ritmos que más claramente intervendrían en el procesamiento sintáctico; por último, en el 4, sintetizaré *Merge- α* de Boeckx (2014), teoría que, por estar exenta de lexicocentrismo y capturar la dinámica esencial de la derivación sintáctica, resulta idónea para ser traducida a mecanismos cerebrales.

A continuación, en el bloque que va del capítulo 5 al 7, daré cuerpo a mi propuesta. Empezaré, en el 5, por establecer paralelismos teóricos que pongan de manifiesto la complementariedad de las teorías precedentes, sobre todo a la luz de las propiedades emergentes de los sistemas complejos; en el 6, expondré un modelo propio con que traducir lo esencial de *Merge- α* -y, en última instancia, el componente sintáctico del lenguaje a la dinámica autoorganizada del cerebro; en el 7, resolveré el problema potencial que plantean los especificadores -en oposición a los adjuntos-, y demostraré cómo constricciones que creíamos específicamente lingüísticas obedecen a propiedades emergentes del cerebro como sistema; finalmente, en el 8, extraeré algunas conclusiones, haciendo hincapié en su carácter tentativo, y apuntaré cómo podría testear empíricamente el modelo eminentemente

teórico.

Quisiera recalcar desde buen comienzo que este es un proyecto programático por lo que hace a mi investigación futura. El modelo que proponga para explicar la derivación sintáctica desde la perspectiva de los mecanismos cerebrales no sólo dejará cuestiones teóricas en el tintero, sino que quedará huérfano de corroboración empírica. Será en el transcurso del doctorado cuando adquiera la formación y, podría uno soñar, tenga el acceso a los medios necesarios para subsanar esas lagunas.

Parte I: Estado de la cuestión

2. Un nuevo enfoque del Problema de Broca

En este primer capítulo se hará una síntesis del nuevo rumbo que, en opinión de autores como Boeckx y Burraco (2014), se precisa para desentrañar cómo está implementada la facultad del lenguaje en el cerebro (Problema de Broca), esto es, acabar con el misterio de la unificación mente/cerebro (Boeckx, 2011), al descubrir cómo se realizan físicamente los algoritmos u operaciones que gobiernan la computación lingüística¹. Se postula, en líneas generales, el abandono de, formulémoslo así, varios “-centrismos” harto arraigados: en la externalización; en la lateralización y el tamaño cerebrales; en lo lingüístico/específico; en el adaptacionismo; en el córtex y el modelo Broca-Wernicke; en trastornos específicos del lenguaje; etc. Será poco más o menos en este orden que se aborden tales problemas, al tiempo que se apunten alternativas con mayor amplitud de miras, en que la sintaxis, la forma cerebral, la cognición en un sentido amplio, lo subcortical, etc. se erigan en candidatos mejores para *explicar* lo que más nos distingue como especie.

2.1 Redefiniendo el objeto de estudio

Aunque la neurociencia del procesamiento lingüístico suele centrarse en la externalización, delineando mapas corticales -véase, como síntesis, Friederici (2011)-, para dar, en cambio, con el sustrato neuronal de la sintaxis/semántica, o lo que hace único nuestro fenotipo cognitivo, debemos dar cabida a la dimensión temporal y a las estructuras subcorticales.

En esta línea, Boeckx y Burraco (2014), una vez dissociada la dotación biológica del resultado final del proceso de adquisición -aunque los factores que interaccionan en la ontogenia sean más bien inextricables si atentemos a la *developmental systems theory* (Oyama et al., 2001)-, ofrecen una teoría complementaria a neurolingüística estándar. Es decir, se deja a un lado el componente paradigmático y léxico de la gramática -que, en palabras de Boeckx (2013) requiere “tomar seriamente el papel estructurador del aprendizaje y de la transmisión sociocultural”, para reorientar así la indagación en el Problema de Broca hacia la complejidad estructural y el significado composicional del lenguaje.

Dado este giro, las típicas asimetrías cerebrales se revelarán accesorias en relación con la

¹ Es Boeckx (2011) quien bautiza así el problema en una nota al pie, donde propone, asimismo, “Gall's Problem”, en homenaje a la voluntad de este último de poner fin a las generalizaciones arbitrarias de los filósofos y enfocar el estudio el lenguaje como la creación de facultades representadas en el cerebro.

sintaxis, como pondría de manifiesto que la laterización se da en virtud de la interacción lingüística, y es compartida con otras especies de *vocal learners*. En contraste, para descubrir el sustrato neuronal de la sintaxis, en apariencia específica de nuestra especie, debemos reparar, defienden Boeckx y Burraco (2014), en la morfología globular del endocráneo.

2.2 La globularidad y la *humaniqueness*

Tan específica del hombre como la sintaxis/semántica, es la globularidad: a saber, la hipertrofia de los volúmenes parietales que lleva a un crecimiento dorsal y una flexión ventral del cerebro (Boeckx y Burraco, 2014), que se debe a una trayectoria de desarrollo única en el lapso en que se determina la forma craneal. De hecho, señalan los autores que los genes expresados en dicho proceso, en que se establecen las conexiones críticas responsables de la *humaniqueness*, son también relevantes en la neurogénesis y, en general, la organización del cerebro. Ni los demás primates ni los neandertales, pese a su gran encefalización, habrían seguido este mismo sendero evolutivo.

¿Por qué habría de implicar esto diferencias cognitivas? Se postula que la globularidad no se reduce a una propiedad superficial, sino que “if the brain grows differently, it wires differently”, y que esto sería lo que subyace a nuestra *language-readiness* (Boeckx y Burraco, 2014:3). Esta última propiedad, que desde la lingüística explicamos como un *merge* libre, se debe a otra capacidad más general: a diferencia del resto de especies y de niños prelingüísticos (Boeckx, 2013), somos capaces de trascender sistemáticamente los límites de los sistemas de conocimiento nucleares o módulos², combinando conceptos “intermodularmente” y dando así origen a nuevas posibilidades composicionales (Boeckx, 2010 et seq.).

La libertad combinatoria necesita, no obstante, ser regulada a través de oscilaciones cerebrales (Boeckx, 2013, 2014b, Boeckx y Burraco, 2014). Como se apunta en Boeckx (2014b), un *merge* descontrolado es tan inútil como un gran cerebro falto de modulación: y es entonces cuando pasa a jugar un papel central la inhibición provista, entre otras estructuras, por el tálamo. En el nuevo contexto de la globularidad, el tálamo se encuentra en una posición central decisiva para establecer

2 Los módulos que pueden identificarse más o menos inequívocamente son, conforme a Boeckx y Burraco (2014):

“one system specializing in objects and their mechanical interactions, another specializing in agents (animate things) and their goal-directed actions, a third concerned with sets and numbers (number sense), a fourth dealing with places and geometric relationships (natural geometry), and a fifth core knowledge system dealing with social partners, groups, and relations, and the way we understand other minds (theory of mind).”

la conectividad del cerebro en desarrollo; además, gracias a la regulación mediante oscilaciones, deviene un *hub* perfecto para la comunicación a gran escala y, en consecuencia, intermodular. Boeckx (2014b) defiende que el acoplamiento de ritmos y, con ellos, la sincronización de la actividad de múltiples áreas, es un mecanismo lo bastante genérico para tender puentes con la neurociencia y permitirnos explorar la biolingüística comparativa -pudiendo contraponer arritmias hasta con fenotipos animales (Boeckx y Burraco, 2014b)-, en oposición al enfoque contrastivo imperante (véase al respecto Waal y Ferrari, 2010).

Los ritmos presentan no pocos paralelismos con la sintaxis -véase el capítulo 5-: de hecho, la interacción de múltiples ritmos genera un sistema jerárquico que puede ser concebido como una gramática universal del cerebro (Boeckx, 2014b) -punto 3.2-. Esta universalidad robusta filogenéticamente ofrece un marco de principios sobre los que formular parámetros al estilo de PyP -sobre la variación en la misma universalidad del lenguaje, véase Boeckx y Burraco (2014b)-, bien que ocupándonos ahora de fenotipos entre diversas especies -lo cual la biología evo-devo³ ha demostrado que es altamente razonable-.

Boeckx (2013) ofrece una explicación más familiar de la *humaniqueness* para lingüistas. La capacidad de infinitud discreta del lenguaje, las matemáticas, la música y la moralidad, en atención a la plausibilidad biológica y al problema de Darwin⁴, podría ser un mismo mecanismo reciclado en varios contextos cognitivos, que algunos llamamos *merge* (o combinación). La libertad del mismo se debería a la capacidad de liberar conceptos, compartidos con otras especies, de su valencia y, por consiguiente, de restricciones. Hablando en plata, más que añadir algo, estaríamos deshaciéndonos de algo.

La imprescindible regulación del potencial combinatorio irrestricto, que lingüísticamente identificamos con el *labeling* (o etiquetado), se obtendría gracias a las fases cíclicas -véase el capítulo 4-, que permitirían transferir a los sistemas externos estructuras interpretables.

3 Boeckx, Mendivil y Horno (2012) resaltan el advenimiento de una tesis expandida en biología, la evo-devo, que pone en evidencia las limitaciones del adaptacionismo y el genocentrismo. Para Boeckx (2013f), esto ofrece un nuevo espacio de opciones conceptuales para entender el origen, la evolución y el desarrollo de la FL. Balari y Lorenzo (2013) sintetizan la evo-devo como la reivindicación, en mayor o menor grado, del papel del desarrollo en la evolución, en rechazo del preformacionismo y la apuesta por una democracia causal de factores epigenéticos en la explicación de la forma, más allá de las presiones adaptativas y la selección de genotipos (Longa y Lorenzo, 2012).

4 Boeckx (2011) defiende que “the argument about phylogeny (Darwin’s problem) recapitulates the argument about ontogeny (Plato’s problem)”. En ambos se afronta una situación de pobreza del estímulo: para el de Platón, la complejidad del conocimiento del lenguaje no puede adquirirse en el poco tiempo ni con la uniformidad que muestran los niños. Por consiguiente, debemos asumir un punto de partida en la adquisición, la gramática universal, que permita explicar el proceso y minimizar el papel del entorno. De la misma forma, cuando se trata del problema de Darwin (Boeckx, 2011), sabemos que la facultad del lenguaje emergió en torno a los últimos 200.000 años -en un único evento temporal- y que es uniforme entre la especie -por lo que surgiría en un pequeño grupo que se dispersó-. Así pues, uno tiene que volver a minimizar el papel del entorno, esto es, de los pasos adaptativos, al igual que reducir lo que tiene que evolucionar. En otras palabras, hay que facilitar el surgimiento de una novedad biológica, y para ello, volvemos a fijar un punto de partida, en que lo nuevo es mínimo y se desarrolla a partir de muchas estructuras cognitivas ancestrales que han sido reclutadas.

En resumen, la sintaxis deviene un ritmo estructural, fluctuante entre *merge* y *spellout* (o materialícese), que casa a la perfección con la dinámica de las oscilaciones cerebrales; por lo tanto, esperamos que sus restricciones procedan de un mecanismo del tercer factor⁵, de las propiedades emergentes del sistema en su conjunto. La sintaxis, pues, obedece una lógica organicista y epigenética, en contra de una reduccionista y genética (Boeckx, 2013), como, recuerda Boeckx (2014b), ya intuyera Lenneberg al creer que nuestro comportamiento único debía ser producto de una reorganización que afectara el sistema nervioso central casi al completo.

La implicación más profunda, a mi juicio, de la hipótesis de Boeckx a la que me acogeré en el presente proyecto es que, si se me permite formularlo en términos un tanto caseros, podemos dar respuesta de una vez al *por qué, qué y cómo* de la sintaxis en el cerebro, y no sólo al *dónde* ni al *cuándo*:

The ‘translation’ of syntactic structure into rhythmic structure could be just what we need to move from (to use Marrian terminology) the computational level to the algorithmic level, and from there to the implementational level, for rhythms are intrinsic to neuronal activity. It’s how neuronal ensembles organize themselves. (Boeckx, 2013:471)

Podemos, en suma, responder al desafío que advierte Poeppel (2012): hacer mapas de las funciones cerebrales no explica, en efecto, su funcionamiento. En relación a ello, Boeckx (2013) expone Giraud y Poeppel (2012) como ejemplo, en lo que respecta al componente fonológico, de salto del nivel implementacional a los niveles algorítmico y computacional; un trabajo que justamente emplea las oscilaciones cerebrales como mecanismos para empaquetar la información en unidades temporales que se corresponden a las de la fonología sintáctica.

5 De acuerdo con Chomsky (2005:6), el lenguaje, al compartir las propiedades generales con otros sistemas biológicos, se desarrolla a partir de tres factores -no entraré en cuán convincente me resulta su explicación-:

- “1. Genetic endowment, apparently nearly uniform for the species, which interprets part of the environment as linguistic experience [...]and which determines the general course of the development of the language faculty. [...]
2. Experience, which leads to variation, within a fairly narrow range, as in the case of other subsystems of the human capacity and the organism generally.
3. Principles not specific to the faculty of language.

También según Chomsky (2005), entre el tercer factor se cuentan principios de análisis de datos, de arquitectura estructural, constricciones en el desarrollo y principios de eficiencia computacional.

2.3 El lenguaje del pensamiento y la especificidad

El código universal de las oscilaciones empleado por el cerebro está empezando a explotarse en teorías sobre la memoria de trabajo, la atención, etc. que, parece, podrían acabar convergiendo. Tanto es así que Boeckx (2014b) llama nuestra atención sobre paralelismos como el siguiente:

Dipoppa and Gutkin (2013) claim that rapid memory access and load is enabled by the beta gamma oscillations, maintaining a memory while ignoring distractors by the theta, rapid memory clearance by the alpha. [...] Think of memory access and load as accessing lexical items and merging them; think of maintaining a memory in terms of the syntactician's memory buffer, and think of memory clearance as Spell-Out. (Boeckx, 2014b:19)

En el proceso de atención, el núcleo pulvinar del tálamo tiene conexiones ampliamente distribuidas con el córtex que modulan la atención y la sincronización con áreas visuales; y el núcleo reticular talámico recibe aferentes del córtex prefrontal y las áreas sensorias *higher-order* (Boeckx 2014b). Ambos núcleos podrían ser generadores de sincronización entre frecuencias altas por medio de frecuencias bajas en esas mismas áreas -en concreto, los lóbulos parietal y frontal-, que son claves son claves en la globularidad. Así, se observan oscilaciones *alpha* talamocorticales durante la *working memory* y el mantenimiento simultáneo de información visual y espacial; actividad *theta* en la secuenciación de múltiples ítems en la memoria de trabajo; oscilaciones *gamma* que actúan como mecanismos para representar ítems con independencia del formato o contenido y “could therefore (I submit) be applied to computations involving lexical items” (Boeckx, 2014b:20).

De la universalidad del código cerebral puede seguirse que

These coordinated oscillatory activities provide a natural neural syntax (Buzsáki, 2010), on which to graft natural language syntax. (Boeckx, 2014b:20)

Así las cosas, la especificidad de la regulación por oscilaciones no puede ser sino consecuencia del nuevo contexto globular, donde destacarían las conexiones de una red *fronto-parietal-thalamic* (Boeckx y Burraco, 2014). Dicho de otro modo, la especificidad del lenguaje debe rastrearse en las regiones implicadas, sus conexiones y los ritmos que tienen lugar en ellas (Boeckx, 2013).

Es por esta falta de especificidad, por esta lógica organicista, que la sintaxis, la semántica y el pensamiento acaban inextricablemente conectados (véase Hinzen, 2011) y que, en consonancia con

la evo-devo, la competencia lingüística emerge, más que de determinados genes, del complejo e interaccionista proceso de desarrollo y de la organización del cerebro mismo como un todo (Boeckx, 2013):

There really is *no escape from syntax* (Boeckx, 2013:478, énfasis mío)

Las consideraciones que se hacen sobre el tálamo en Boeckx (2014b) pueden arrojar más luz acerca de la especificidad y la relación entre la sintaxis y el pensamiento. El motivo por el que el tálamo se ha identificado como central en otras funciones cognitivas, pero no en la sintaxis, ha sido el aislamiento teórico, tan deudor de Principios y Parámetros (Chomsky, 1986), que el programa minimista (Chomsky, 1995) trata de romper. A juicio de Boeckx (2014b), el no haber llevado a la práctica la distinción entre externalización y sintaxis que hicimos al principio del capítulo nos ha impedido ver la sintaxis libre del lexicocentrismo (véase Boeckx, 2014) o hemos tomado la sintaxis como, en palabras de Boeckx (2014b:8), “the mere expression of a lexical program (philological bias)”.

De acuerdo con la equivalencia entre sintaxis neuronal y sintaxis lingüística que hemos establecido, separar el lenguaje de su articulación nos permite entender la sintaxis “as a particular mode of structuring and generating thought” (Boeckx, 2014b:5), a saber, un lenguaje del pensamiento. Dado este paso, la relación entre sintaxis y consciencia, memoria de trabajo, etc. se establece por sí misma: todo forma un conjunto, un fenotipo cognitivo que estamos acostumbrados a observar, simplemente, desde tan solo una de sus caras, la lingüística. Tras ella, así como detrás de todas las demás, está un mismo sistema de pensamiento, un mismo cerebro cuyos principios básicos afectarán necesariamente a cualquier proceso más específico.

Boeckx (2014b) defiende, pues, que el procesamiento lingüístico implica dos sistemas distintos a nivel computacional y funcional: la externalización que recluta las áreas típicas de los lóbulos temporal y frontal izquierdos, ajenos al procesamiento aritmético, la memoria de trabajo, etc., y, por otro lado, el sistema de la red fronto-parietal, que sostiene una amplia variedad de tareas cognitivas. Aunque el tálamo puede jugar cierto papel en la externalización, es determinante en el lenguaje de pensamiento que lleva a comportamientos como la divagación, previsión, planificación interna, etc. (Boeckx, 2014b) para los que el tálamo y las regiones que han sufrido una mayor expansión en nuestro linaje, y que trabajan más con los estímulos independientes del entorno, son claves.

Aparte del lexicocentrismo y el corticocentrismo notados, habría que abandonar otra tendencia (Boeckx, 2014b): la de ver el tálamo como un mero repetidor. Deberíamos verlo, en cambio, como una estructura que permite integrar procesos cognitivos a gran escala, siendo de especial interés los

de la red *fronto-parietal-thalamical* porque integraría información de varios sistemas. Esta red podría distinguir procesos dirigidos internamente frente a los dirigidos externamente (Boeckx, 2014b) -véase la relación con el ritmo *alpha* en 3.1.2- y propagar globalmente señales locales; además, tendría el control *top-down* la atención y la cognición responsable de nuestro comportamiento inteligente.

2.4 Un toque de atención a teorías adaptacionistas

Tal falta de especificidad conlleva un desafío -o sentencia de muerte- a explicaciones adaptacionistas. Boeckx y Burraco (2014:16), en honor de Watson y Crick (1953), concluyen:

“it has not escaped our attention that if the hypothesis advanced in this work is on the right track, it makes it even more difficult to unravel the role natural selection may have played in the emergence of language, given the integrated nature of human head”

En atención a esto, y en relación a la filogenia del lenguaje, Boeckx (2013) especula que podría haberse producido un *gap* entre la emergencia de nuestro lenguaje del pensamiento y el surgimiento de las lenguas-I al nivel de complejidad que observamos hoy día, pudiéndose hablar, consecuentemente, de un protolenguaje a falta del *niche* apropiado para el comportamiento complejo del humano moderno.

Con todo, semejante inespecificidad no refuerza las hipótesis acerca de la posible facultad del lenguaje del neandertal, puesto que estos podrían haber tenido una proporción harto mayor del córtex dedicada a otras funciones, como el procesamiento visual (Boeckx, 2013).

2.5 Despidiéndonos del modelo Broca-Wernicke

Teniendo presente la discusión sobre la globularidad, intermodularidad, etc., todo parece indicar que la forma del cerebro resulta tanto o más determinante que el tamaño. Aparte, los lóbulos parietales, partícipes en igual medida que los lóbulos frontales en el proceso que lleva a la globularidad, ganan una importancia inédita hasta el momento. Se apunta, pues, a la necesidad de observar el cerebro a una escala más global, menos modular, y a corregir la tendencia a localizar la cognición exclusivamente en el córtex a costa de lo subcortical que, de acuerdo con Boeckx

(2014b), ya detectara Lenneberg.

En efecto, Boeckx (2014b) llama nuestra atención sobre el hecho de que las estructuras subcorticales van revelándose como las responsables de funciones que veníamos atribuyendo al córtex, monopolizador hasta el momento de las funciones cognitivas *higher-order*, salvo contadas excepciones como propuestas de Lieberman (2002), en quien se basan Balari y Lorenzo (2013). En el modelo de estos últimos, cobraron mayor importancia los ganglios basales y el cerebelo, pero unos y otro no podrían conectarse sin el tálamo, en el que profundizaremos más abajo.

Por otro lado, aparte de reducir el peso otorgado a la lateralidad o el tamaño, los *hubs* que encontramos en las áreas clásicas del modelo Broca-Wernicke serían relevantes sólo para la articulación del lenguaje (una idea que no habría escapado ni al mismo Broca, señalan Boeckx y Burraco (2014). De hecho, sugiere Boeckx (2014b) que el área de Broca podría encargarse, en lugar de la estructura sintáctica, de su linearización; en cambio, la responsable de las derivaciones sintácticas sería la red fronto-parietal regulada por el tálamo, implicada asimismo en el amplio abanico de funciones cognitivas que apuntamos.

2.6 El tálamo y trastornos más generales

Ahondando ahora en el tálamo, Boeckx (2013:474) afirma que su actividad “would correspond to a periodic sampling of cortical (fronto-parietal) activity (“cyclic spell-out”)”. Generando frecuencias bajas capaces de incrustar las oscilaciones rápidas de regiones distantes -véase el capítulo 3-, el tálamo posibilita la regulación necesaria para el pensamiento intermodular que nos caracteriza. Una vez sincronizadas las oscilaciones, el producto derivado de estas estructuras fronto-parietales puede llegar a otras regiones más específicas en cuanto a representación lingüística, donde se traduzcan a orden lineal, representación fonológica, etc.

Aunque el tálamo se ha considerado un séptimo nivel del córtex, sus conexiones talamocorticales, lejos de ser redundantes, resultan cruciales para la comunicación cortico-cortical más allá de la que proporciona la materia blanca. Se forma así una comunicación bidireccional, en la cual el tálamo recibe muchos más inputs del córtex que de la periferia (Boeckx, 2014b). No es, por lo tanto, un mero canalizador de *inputs*.

De acuerdo con Boeckx y Burraco (2014), los circuitos entre el tálamo y el córtex se pueden dividir entre, por un lado, los que dirigen la actividad de neuronas corticales o talámicas, proyectados hacia los niveles 4 y 6 del córtex; y, por otro lado, los circuitos que modulan su actividad, especialmente la sensibilidad de reacción temporal, que conectan más con los niveles 1 y

5 y son más importantes en la sincronización de oscilaciones. Tal preponderancia del tálamo en las conexiones se entiende si contemplamos la ontogenia: a medida que el cerebro se desarrolla, el córtex y el cerebelo van envolviendo el tálamo (Boeckx y Burraco, 2014), de modo que, en este nuevo contexto, el tálamo establece con la mayor eficiencia, digámoslo así, las conexiones con regiones corticales distantes. Aparte, también en relación al desarrollo, el *input* que alcanza el tálamo es imprescindible para completar la acción de los genes a la hora de definir áreas funcionalmente independientes y dedicadas a la cognición *higher-order*.

La amplia conectividad se corresponde con que córtex y tálamo mantienen una relación reiterativa de predicciones *top-down* en relación con la información *bottom-up*, haciéndose así estructuras indisociables. En tal comunicación, el tálamo enriquece el rango de actividad oscilatoria en diferentes frecuencias (Boeckx y Burraco, 2014), sobre todo en virtud del papel modulador del núcleo reticular -una capa fina de células GABAérgicas adyacentes a los *relay nuclei*-.

Teniendo en cuenta la evolución de estas estructuras (Boeckx y Burraco, 2014), núcleos como el pulvinar, que en otras especies podrían haber sido dominados por el control corporal y la visión -como en el caso de los neandertales-, habrían sido reciclados para el lenguaje. En efecto, se observa que el pulvinar es, en comparación a otros núcleos que carecen de conexión prefrontal, desproporcionalmente grande en los humanos.

Los núcleos pulvinar y mediodorsal, ambos integrantes del tálamo dorsal, acostumbran a asociarse con desórdenes cognitivos (Boeckx y Burraco, 2014), como la esquizofrenia, el autismo, desórdenes con la memoria de trabajo, etc. que se pueden asociar a su vez a un lenguaje del pensamiento distinto (Boeckx, 2014b). En lo relativo a la esquizofrenia, se observarían cambios microestructurales, un volumen anormal y anomalías estructurales en el tálamo (Boeckx 2014b); en el autismo, se resentiría la conectividad entre la materia blanca y gris del tálamo; algunos retrasos cognitivos podrían deberse a atroñas del mismo; un número anormal de neuronas podría explicar la depresión mayor y ciertas enfermedades neurodegenerativas, etc. (Boeckx, 2014b).

En conclusión, la forma del tálamo puede asociarse a potenciales endofenotipos, que pueden repercutir sobre la fluencia verbal en aspectos principalmente relacionados a la sintaxis y a la semántica. Asimismo, pueden concebirse la dislexia y la acalculia como síndromes de desconexión. Lo que, a fin de cuentas, ponen de manifiesto los trastornos del tálamo es que en todos ellos se resiente el procesamiento de la información, sobre todo cuando esta requiere la coordinación de diversas regiones (Boeckx, 2014b). Dada su centralidad o, como expresa metafóricamente Boeckx (2014b), su función de director de orquesta, los daños en el tálamo pueden afectar gravemente redes al completo, al comprometerse los bucles de retroalimentación y conexiones recíprocas amplias. Incluso, si recuperamos la idea del regulador temporal, podemos categorizar algunos trastornos

como arritmias (véase Buzsáki y Watson, 2012).

A este respecto, Boeckx (2014b) apunta a la deficiencia en acoplar determinadas frecuencias, a causa de perturbaciones genéticas o epigenéticas de los mecanismos que generan patrones de actividad temporalmente estructurada y que son coordinados por el tálamo. Como la especificación de los circuitos en desarrollo depende de su actividad, podrían acabar generando estructuras que sostengan patrones temporales anormales. En el autismo, pongamos por caso, una maduración anormal durante el periodo crítico del desarrollo impediría que los circuitos corticales mantuvieran debidamente oscilaciones a alta frecuencia -para discusión sobre la dificultad de discriminar endofenotipos frente a esta homogeneidad, véase Boeckx (2014b)-. En conclusión, la sintomatología de los trastornos en que el tálamo se ve implicado viene a reforzar su papel central en la conexión de regiones cerebrales diversas y, por lo tanto, en el pensamiento intermodular del que se vale la sintaxis/semántica único en nuestra especie.

3. Ritmos cerebrales⁶

Defiende Buzsáki (2006) que, para comprender el funcionamiento del cerebro, debemos conocer su estructura. Pensemos en el neocórtex como en una estructura modular de columnas corticales de 6 niveles, cuya tensegidad⁷ amortigua los errores locales. Las conexiones entre las células obedecen un *graph* de tipo *small-world*: en una red predominantemente local, una pequeña proporción -menor a mayor tamaño del cerebro- de conexiones aleatorias a larga distancia permite resolver el problema de escalar su tamaño. Así, las computaciones globales, costosas metabólicamente y por la limitada conductividad de los axones, pueden mantenerse dentro de ventanas temporales críticas, gracias a que el número de sinapsis requerido para conectar dos neuronas cualesquiera se ha mantenido bajo pese a la evolución del órgano.

Ahora bien, las conexiones excitatorias entre dichas células principales necesitan ser reguladas; de lo contrario, todo *input* acabaría resonando indefinidamente por todas las áreas (Buzsáki, 2006). Las encargadas de segregar las señales, así como de controlar la excitabilidad de la red, son las interneuronas inhibitorias, las cuales presentan una intrincada conexión entre sí y con las neuronas principales. Además de aumentar la complejidad funcional del cerebro (Buzsáki, 2006), las interneuronas permiten explotar computacionalmente la coordinación temporal de los potenciales de acción mediante oscilaciones o ritmos cerebrales. Estos emergen de fuerzas opuestas y un *feedback* positivo, y los hay de dos tipos: armónicos -acoplamiento de oscilaciones-, cuyas fases constantes permiten hacer algunas predicciones a relativamente largo plazo, y de relajación -oscilaciones en sí-, que pueden reiniciarse y sincronizarse de forma eficiente.

Tales oscilaciones se derivan del comportamiento colectivo de las neuronas, y pueden asociarse a oscilaciones metabólicas más lentas (Buzsáki, 2006). Las bandas de los ritmos cerebrales seguirían una progresión logarítmica conforme a una ratio de 2.17: entre los 0,05 Hz y los 600Hz, podemos discriminar multitud de ritmos, si bien en el presente proyecto nos centraremos en las bandas *theta*(4-7Hz), *alpha*(8-14Hz), *beta*(15-30Hz) y *gamma*(30-90Hz)⁸. Uno de los aspectos más importantes de su dinámica es que las oscilaciones no se sostienen independientemente: se van acoplando y desacoplando de continuo, dando lugar, en consecuencia, a un estado “of perpetual fluctuation between unstable and transient stable phase synchrony” (Buzsáki, 2006:120). Otro

6 Aunque no lo explicito de continuo, por no ser redundante, las ideas son de Buzsáki (2006), y los errores, míos.

7 De acuerdo con Gómez (2007), la tensegidad es:

“un principio estructural basado en el empleo de componentes aislados comprimidos que se encuentran dentro de una red tensada continua, de tal modo que los miembros comprimidos (generalmente barras) no se tocan entre sí y están unidos únicamente por medio de componentes traccionados (habitualmente cables) que son los que limitan espacialmente dicho sistema”.

8 Las frecuencias difieren de las especificadas por Buzsáki (2006).

aspecto, crucial a la hora de asociar oscilaciones con funciones -capítulos 6 y 7-, es que, debido a los retrasos de la transmisión axonal, los ritmos lentos pueden reclutar regiones amplias, mientras que los rápidos se ven circunscritos a áreas bastante locales. De estas dos consideraciones se desprende que la sincronización de oscilaciones de alta frecuencia requerirá de otras de más lentas, que a su vez podrán modularlas mediante el efecto de la energía que liberen sobre las interneuronas de los objetivos locales.

En contra de que las oscilaciones sean una propiedad emergente sin relevancia funcional, esto es, ruido sin más, Buzsáki (2006) apunta a que la densidad de los *local field potentials* es inversamente proporcional a su frecuencia, en una relación $1/f$ -sonido rosa, en oposición, verbigracia, al blanco-. Esta propiedad es definitoria de los sistemas complejos -capítulo 5- al borde del caos, entre el orden y el desorden, e implica que el cerebro es un sistema autoorganizado, en que las oscilaciones van previniendo transitoriamente las avalanchas neuronales.

Trasladándonos, por un momento, del comportamiento colectivo al nivel neuronal, apreciamos que las neuronas son inherentemente osciladores, dado que el flujo de iones por los canales transmembranales favorece la transición entre la depolarización y la hiperpolarización. Sin embargo, se observa heterogeneidad en los canales, tanto en su localización dentrítica o somática como en cuanto a tipo, por lo que cada uno presenta preferencias por los *inputs* más acordes a sus propiedades resonadoras (Buzsáki, 2006). Las neuronas, por consiguiente, son susceptibles de resonar a varias frecuencias -en especial, las interneuronas-.

Volviendo al comportamiento colectivo, apuntábamos al acoplamiento o sincronía de la descarga neuronal por medio de oscilaciones. Buzsáki (2006) advierte que el tiempo como única medida es insuficiente para determinar la sincronía, y postula que, a nivel neuronal, esta debe entenderse como el hecho de que un evento previo -potencial de acción, por ejemplo- siga teniendo consecuencias en uno posterior -que los efectos se sumen para descargar la neurona-. En otras palabras, la sincronía, en lugar de una simultaneidad temporal precisa, depende de ventanas críticas de acción, que por su parte son fruto del tiempo que tarde en equilibrarse la neurona. A pesar de que esa ventana sea de decenas de milisegundos, la sincronía a escala del sistema permite ampliarla hasta segundos.

Estos ensambles neuronales (*neural assemblies*) en sincronía, esa mutua interacción transitoria, suponen la forma menos costosa metabólicamente de descargar las neuronas. En oposición a la resonancia estocástica o ruido blanco, el cerebro habría “elegido” el ruido rosa como una manera natural de extraer selectivamente el contenido de mensajes. En efecto, al examinar el procesamiento de los *inputs*, estaríamos siendo testigos al mismo tiempo de la dinámica autoorganizada de las oscilaciones, sobre las que, por lo tanto, se construirían las funciones cognitivas.

Como nos permite observar la actividad del tálamo y el hipotálamo durante el sueño, el estado natural del cerebro no es de reposo, sino de oscilaciones; es más, a medida que el sueño se hace más profundo, desligándonos más y más del entorno, se incrementa el ritmo *theta*. Tanto local como globalmente, por lo tanto, el cerebro se autoorganiza en una alternancia de estados de mayor o menor excitabilidad, de excitación o inhibición. Será, pues, en función del punto de tales ciclos en que nos encontremos, que los *inputs* serán o no percibidos.

No obstante, el tálamo puede sostener, gracias a la multiplicidad de canales talamocorticales, diversos tipos de actividad temporal y espacial; desde *theta*, pasando por *alpha*, hasta *sleep spindles*. Destaca Buzsáki (2006) que para los ritmos de baja frecuencia sostenidos en regiones amplias, el tálamo hace las veces de *hub* del neocórtex, estableciendo atajos en forma radial que permiten reducir la *synaptic length*. Si la oscilación *theta* es la que caracteriza el sueño, cuando “desconectamos” del *input* en estado de vigilia, el que aumenta es el ritmo *alpha*. Contra lo que suele creerse, esta banda no sólo representa ausencia de *input*, sino reflexión interna -véase el punto 3.1.2-. En relación a esta dicotomía, cabe diferenciar núcleos talámicos *first order* y *higher-order* en su conexión, respectivamente, con los córtices sensitivo y asociativo -puntos 3.1.2 y 6.1.2-.

El sueño, además de ser representativo de la autoorganización cerebral al margen del *input*, tiene en común algunos rasgos con el estadio de desarrollo cerebral temprano: en ambos casos, el estado no homogéneo de las oscilaciones estabiliza, en combinación con la experiencia, la dinámica del cerebro a posteriori, es decir, la actividad autogenerada interpreta los *inputs* e influye, pues, decisivamente en las conexiones que acabarán fortaleciéndose. La experiencia perturba los patrones u oscilaciones que se generan por defecto, tanto en el sueño como en el desarrollo temprano. Es por esta razón que las fases iniciales del sueño -más que la REM-, con sus ondas lentas, reproducen y consolidan la memoria. Es también por esta razón que en el periodo en que se establecen las conexiones a larga distancia cortico-corticales y corticoespinales, las oscilaciones talamocorticales, en el ratón, por ejemplo, promueven contracciones aleatorias de los músculos que le permiten adquirir consciencia de sus dimensiones corporales al entrar en contacto con el exterior, y calibrar el *layout* tridimensional del propio cuerpo en continuo cambio (Buzsáki, 2006). El cerebro, pues, necesita supervisar la autoorganización, conectar las oscilaciones con el mundo para que adquieran significado; no debemos subestimar el papel de la experiencia, cuyo influjo es tal que incluso actividades como el yoga pueden alterar la consistencia de los ritmos.

Trasladándonos de los estados más independientes del *input* al estado de vigilia, observamos que el patrón más característico es la ubicuidad de las oscilaciones *gamma*. Aparte de que algunas interneuronas -*basket* y *chandelier*- son especialmente susceptibles de resonar a banda *gamma*, tal omnipresencia se explica, entre otras razones, porque es un ritmo que emerge naturalmente del

decay del GABA_A. Las neuronas que tienen los receptores de dicho neurotransmisor se distribuyen a lo largo y ancho del neocórtex, así como por otras estructuras; aparte, por presentar una inhibición postsináptica más sólida, son transmisoras de información más fiables. A causa de que dichas neuronas se conectan también por *gap junctions* y con axones locales, las oscilaciones *gamma* quedan constreñidas, por lo general, a pequeñas regiones. Sincronizarlas cuando se producen de forma dispersa requiere de costosas conexiones a larga distancia, que permitan simultanear la descarga en esas regiones distantes.

La importancia de las oscilaciones *gamma* se ve reforzada por el hecho de que el cerebro despierto parece autoorganizarse en paquetes temporales de 15-30 milisegundos (Buzsáki, 2006). Esto no debe achacarse a un casual, puesto que las células piramidales principalmente integran los *inputs* con mayor eficiencia en ese rango temporal, que para colmo casa con la ventana de plasticidad de las neuronas, en que el refuerzo o el debilitamiento de las sinapsis depende del momento, sincronizado o no respectivamente, en que se descargan los ensambles neuronales.

Por otro lado, Buzsáki (2006) propone una función más para las oscilaciones *gamma*: la solución al problema del *binding*. Así pues, el ritmo *gamma* podría asociar transitoriamente los diversos rasgos del objeto percibido, en oposición al procesamiento jerárquico y las *gnostic units*. De ir bien encaminada la hipótesis, la sincronía temporal pasa a imponerse sobre el procesamiento jerárquico y, por consiguiente, la dimensión temporal cobra aún más importancia en el cerebro. En otras palabras, más que de la conectividad, la cognición depende de la sincronía (Buzsáki, 2006). Esta función del ritmo *gamma* se revelará clave cuando la equiparé a la formación de ítems léxicos y discuta la equivalencia al *bundling* de rasgos locales; baste, por el momento, un apunte al correlato de la intermodularidad en Buzsáki (2006) o de la lexicalización como proceso creativo (Pietroski, 2006 et seq.):

An attractive feature of the temporal binding hypothesis is that it offers a versatile coding capacity for feature combinations. In addition, *cross-modality* representations can be mapped directly onto each other, using essentially the *same coding format*. (Buzsáki, 2006:261, énfasis mío)

Habida cuenta de cuán decisivo es el estado de la red a la hora de percibir y computar, como explicamos arriba, el percibir un objeto, más que sumar rasgos invariables del mismo, es interpretarlo en función de la actividad autoorganizada del cerebro. Por este motivo, Buzsáki (2006) se opone a ignorar las oscilaciones, a tratarlas como mero ruido, etc. pues, al fin y al cabo, qué percibamos y cómo actuemos depende del estado de las oscilaciones. Ahora bien, en este sistema

dinámico no sólo cuenta el estado actual del sistema, sino su historia reciente. A saber, la respuesta neuronal depende de toda una sucesión de estadios previos; al mismo tiempo, esa respuesta influirá en toda una cadena de estados sucesivos, más allá del inmediatamente posterior.

Llegados a este punto, Buzsáki (2006) describe lo que nos da nuestra identidad, esto es, la memoria, y la actividad cerebral asociada a la misma. Para ello, sin embargo, recurre a la navegación espacial, a partir de la cual habríamos exaptado otras funciones cognitivas. La estructura central será el hipocampo, más detalladamente, el sistema *hipocampal-entorhinal* que forma parte el *allocortex*, y a través del cual extraemos la información almacenada. La oscilación más relevante será la *theta*, asociada a la memoria semántica y la episódica, exaptadas a su vez de la navegación por *dead reckoning* y *landmarks* (Buzsáki, 2006). Dado que desarrollar la relación entre la memoria episódica, la navegación y el ritmo *theta* no es sencillo y requiere de bastante espacio, y que en el siguiente punto dedico todo un apartado a las oscilaciones *theta*, reservo la explicación para 3.1.1.

Para acabar, Buzsáki (2006) derriba otra simplificación bastante extendida: en el cerebro todo está interconectado, por lo que no existe veraderamente un procesamiento *top-down* ni *bottom-up*, por socorrido que sea en nuestras explicaciones. El procesamiento, más que de límites anatómicos, depende de límites temporales; lo que segrega los mensajes es la dimensión temporal que introducen las oscilaciones; lo que permite compartirlos entre varias zonas, lo mismo. A este respecto, se observa un aumento del poder *theta* cuando se llevan a cabo tareas memorísticas de codificación. Sin embargo, esta banda presenta incoherencias entre varias zonas del córtex, por lo que es probable que el hipocampo reclute sucesivamente diversos subconjuntos de la geografía del córtex mediante acoplamientos transitorios. El papel controlador del hipocampo favorece que los mensajes lleguen en la fase adecuada o, lo que es lo mismo, optimiza la recepción de los *inputs*. Asimismo, este intercambio también puede observarse, en la dirección opuesta, en las oscilaciones breves y rápidas llamadas *sharp-wave-ripple*, que permiten combinar conocimiento adquirido recientemente con el previo.

La ubiquidad y presencia simultánea, en fin, de múltiples osciladores conlleva acoplamientos de frecuencias; en estos, las oscilaciones más lentas modulan la amplitud de la fase o la fase misma de las más rápidas. Algunos ejemplos de acoplamiento son la modificación de la oscilación *gamma* por parte de la *theta* o *alpha*. Las oscilaciones *gamma*, pongamos por caso, incrustadas en ritmos lentos pueden proporcionar múltiples mecanismos, desde para el sostenimiento de contenido en la memoria de trabajo hasta funciones perceptivas. Las oscilaciones, en fin, son el mecanismo con el que codificamos los mensajes en el cerebro.

3.1 Oscilaciones relevantes en el procesamiento sintacticosemántico

Creo que, así por su resolución espaciotemporal como por las estructuras que prototípicamente las sostienen, las oscilaciones relevantes en el procesamiento sintáctico son las *theta*, *alpha*, *beta* y *gamma*. Debido a las consecuencias que tiene para el acoplamiento la limitada conductividad axonal, etc. y en consonancia con la distinción usual entre ritmos lentos y rápidos, categorizaré los ritmos *theta* y *alpha* como globales; y los *beta* y *gamma*, en cambio, como locales. Aparte, estimo razonable que la frecuencia de esas bandas proporciona un ritmo o velocidad plausibles para la derivación sintáctica, tanto en la producción como en el *parsing* -aunque como Boeckx (p.c.) me advirtió, ambos procesos podrían correr a distinto ritmo y, en general, estas son conjeturas prematuras. Es más, la interacción entre las oscilaciones puede, en ocasiones, importar más que la frecuencia en sí. En los capítulos 6 y 7 articularé con detalle un modelo en que dichos ritmos se integren e implementen funciones cognitivas; antes, sin embargo, creo de utilidad un repaso a lo que aporta la literatura, con el que poder confrontar la coherencia de especulaciones posteriores.

3.1.1 Oscilaciones *theta* (4-7Hz)

De acuerdo con Buzsáki y Moser (2013), existen dos tipos de navegación: por un lado, la egocéntrica, comparable al *dead reckoning* y guiada por *cues* locales como la velocidad, el movimiento corporal, la dirección de la cabeza, etc.; y, por otro lado, la allocéntrica, generada a partir del primer tipo y guiada por *landmarks* externas.

Como apunté arriba, los sistemas implicados son el hipocampo y el *entorhinal*, justamente los mismos que sostienen la memoria declarativa, ya sea episódica o semántica. La hipótesis de Buzsáki y Moser (2013) es que recordar consiste, efectivamente, en realizar un viaje mental. Si la memoria episódica nos permite evocar una vivencia a partir de situarnos en su contexto espaciotemporal, como al orientarnos por *dead reckoning*; la memoria semántica, a su vez, permite definir objetos, etc. con independencia del contexto una vez han sido experimentados repetidas veces, de igual modo que la navegación allocéntrica no requiere información de la trayectoria del sujeto cuando ya ha explorado el lugar en múltiples ocasiones.

Compartiendo estructuras y el tipo de procesamiento, Buzsáki y Moser (2013:130) postulan que la navegación y la memoria descansan sobre un mismo mecanismo:

The clear parallels between allocentric navigation and semantic memory, on one hand, and path integration and episodic memory, on the other, raise the possibility that the same networks and algorithms support both physical and mental forms of travel

Que el mecanismo empleado para establecer relaciones espaciales haya podido reciclarse para asociar objetos, eventos y demás, puede explicarse porque los sistemas *hipocampal* y *entorhinal* tienen las propiedades anatómicas y fisiológicas que les permiten almacenar una gran cantidad de información deslavazada y, sobre todo, son capaces de autogenerar secuencias de ensambles neuronales *temporally evolving* (Buszaki y Moser, 2013), es decir, oscilaciones cerebrales.

Centrándonos ahora en lo estructural de la navegación, se tienen evidencias de que la posición del animal se codifica mediante la interacción de células: principalmente *places cells* en el hipocampo y *grid cells* en el *entorhinal system* (Buzsáki y Moser, 2013). Las *grid cells* tienen *firing fields* que representan de manera hexagonal y periódica una métrica del espacio. Además, interaccionan con neuronas cuya actividad depende de la dirección de la cabeza y, en menor medida, con otras sensibles a los bordes que asisten en la medición de distancias y en la acomodación del *firing* a las dimensiones del entorno. Combinar información sobre la dirección, posición, distancia y bordes capacita al sistema *entorhinal* para crear una suerte de parrilla que sobreponer a la representación del espacio en cualquier entorno. Este sistema, defienden Buzsáki y Moser (2013:132), puede, por consiguiente, reconfigurarse para diferentes entornos y proporcionar al hipocampo “un gran número de mapas discretos individualizados para la vasta cantidad de entornos que el animal visita a lo largo de su vida”, que permiten almacenar nuevas representaciones sin interferir con recuerdos previos.

Por lo que respecta al hipocampo, se trata del sistema capaz de remapear experiencias y entornos con una sensibilidad extrema: cambios mínimos en la configuración de las *landmarks* pueden crear patrones de descarga de las *place cells* totalmente únicos (Buzsáki y Moser, 2013). Así pues, cada lugar puede ser representado por determinada trayectoria de *place cells* y *place fields*. La conjunción del hipocampo y el sistema *entorhinal* nos permite almacenar infinidad de asociaciones arbitrarias sin que interfieran entre sí (Buzsáki y Moser, 2013).

Ahora bien, pasma el potencial del sistema: se sabe que los insectos cuentan con circuitos mucho más simples, y que con un pequeño número de neuronas la resolución del mapeo espacial alcanza el centímetro. Así, el “sobredesarrollo” de la estructura en los mamíferos podría estar detrás de la exaptación de la navegación para la memoria. Los mecanismos para definir posiciones únicas y sus relaciones espaciales pueden reciclarse para simbolizar eventos, objetos... y las relaciones entre los mismos, como invita también a pensar que, así como los puntos en las trayectorias se

asocian en función de la proximidad espacial, los objetos parecen relacionarse por las semejanzas semánticas (Buzsáki y Moser, 2013).

La clave de la memoria episódica es conectar objetos arbitrarios de una forma coherente en experiencias contextualizadas. Un detalle importante, ligado al límite de memoria discutido también en el punto 6.4, es que, a pesar de la sensación de continuidad, la memoria episódica está fragmentada: sólo podemos evocar episodios breves de una vez. La limitación depende de la autoorganización de ensambles neuronales y las múltiples escalas temporales que se dan en la interacción de ritmos *theta*, así que es buen momento para entrar, al fin, en materia de oscilaciones.

Los ensambles neuronales -conjuntos de neuronas descargándose en sincronía, definidos pormenorizadamente en el punto 3.2- se pueden organizar en múltiples escalas temporales mediante ritmos (Buzsáki y Moser, 2013). En concreto, en el sistema *entorhinal* e *hipocampal*, se da un acoplamiento interfrecuencia en que la oscilación *theta* modula el poder de la *gamma* -punto controversial a la luz de las dudas que formularé más abajo-. Tanto por razones expositivas como por ser un fenómeno más estudiado, nos centraremos, sin embargo, exclusivamente en la actividad de las *place cells* del hipocampo.

Estas representan determinada posición en el espacio, y forman ensambles neuronales en la ventana crítica del ciclo *gamma* conforme a Buzsáki y Moser (2013). La idea esencial es que una *place cell* se descarga cuando el sujeto entra en el *place field* que representa, y no sólo eso, sino que lo hace a mayor velocidad cuanto más se aproxima uno al centro del campo. A medida que el sujeto navega, los ensambles constituidos por conjuntos de *place cells* se suceden a ritmo *gamma*, si bien este se halla acoplado a un ritmo *theta* registrado en la población del hipocampo, cuya función es doble: comprimir trayectorias de ensambles dentro de un mismo ciclo *theta*; y, al mismo tiempo, segregar los ensambles en el espacio disponible de la fase, función denominada *phase coding* -mediante la inhibición provista por interneuronas, etc-.

Buzsáki y Moser (2013) destacan tres consecuencias de este código cerebral: i) el *firing* de las *place cells* en la fase descendente, el *trough* y la fase ascendente del ciclo *theta* se corresponde, respectivamente, con las posiciones pasadas, presentes y futuras del sujeto; ii) a una escala temporal “subtheta”, el retraso que media entre la descarga de las células equivale al tiempo y distancia reales que existe entre los picos de los *place fields*; y iii) la frecuencia a la que oscilan individualmente las *place cells* es más rápida que el *theta* de la población, debido a lo cual se crea un patrón de interferencia conocido como *phase precession* y que constituye la piedra angular de toda esta teoría.

Antes de seguir, quisiera enfatizar una advertencia que puede ahorrar malentendidos: pese a haber hablado del ritmo *gamma* incrustado en el *theta*, téngase en mente de ahora en adelante que las *place cells* suelen oscilar sólo a un ritmo *theta* ligeramente más rápido que el de la población.

Pensemos, sin complicarnos, en que la oscilación *gamma* emerge de la interacción entre ensambles de *place cells* oscilando individualmente a *theta*, a una escala temporal inferior que, por ahora, no nos interesa demasiado.

Volvamos ahora al fenómeno central de la *phase precession* que resulta de la interferencia entre los ritmos *theta* individuales de las *place cells*. Como apuntábamos, Buszaki (2011) destaca que las *place cells* son *speed-dependent oscillators*, en virtud de que su frecuencia varía en función de la velocidad a que se desplaza el sujeto. Para colmo, toda *place cell* oscila, repito, más rápido que el ritmo *theta* que se registra en la población del hipocampo. La paradoja con que topamos en este punto, que Geisler et al. (2010) capturan en términos matemáticos, y que más quebraderos de cabeza puede traer, es:

how a slower population theta is generated by place cells, each of which oscillates faster than the population mean (Buzsáki, 2011)

Esto es, ¿cómo es posible que al sumar la actividad de neuronas que oscilan, por ejemplo, a cerca de 9Hz en el ratón en movimiento, obtengamos una oscilación general de tan sólo 8Hz? Animo al lector a enzarzarse en Geisler et al. (2010) y el resto de referencias; en mi caso particular, por más tiempo que he invertido, confieso ser incapaz de imaginar la dinámica del sistema en vivo, es decir, olvidándome de gráficos y números. No obstante, explicaré hasta donde pueda el fenómeno, e iré exponiendo los recelos.

Imaginemos que un ratón cruza en línea recta un determinado *place field*. De acuerdo con la *phase precession*, el *firing* de la *place cell* que lo representa se inicia en la fase ascendente del ciclo *theta* de la población. A medida que el animal avanza, la célula se va descargando antes y más rápido: justo en el centro del *place field*, se descarga en el *trough* de la fase del ritmo *theta*. Al ir abandonando el *place field*, el potencial de acción sigue adelantándose más y más por la fase descendente, pese a volver a disminuirse o ralentizarse la actividad de la célula. Obsérvese la *phase precession* explicada en las siguientes figuras extraídas de Geisler et al. (2010):

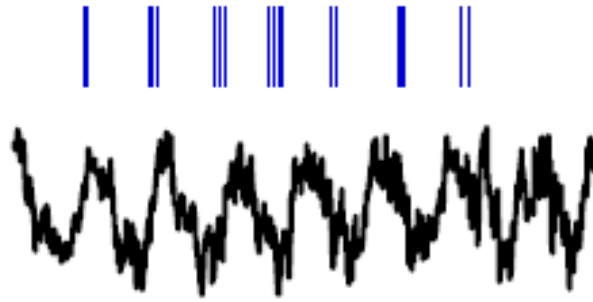


Figura 1. En azul se representan los potenciales de acción de la *place cell*; en negro, el *theta* de la población. Obsérvese la interferencia entre ambos y cómo el *firing* se va adelantando.

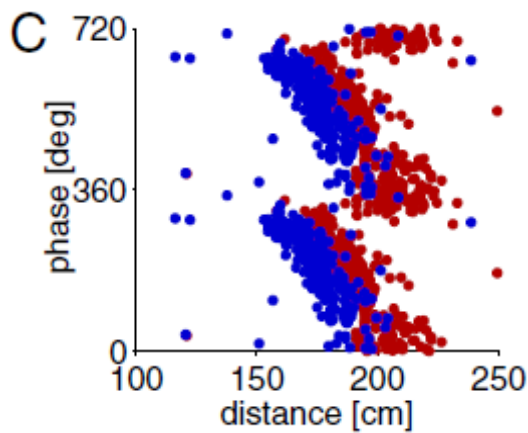


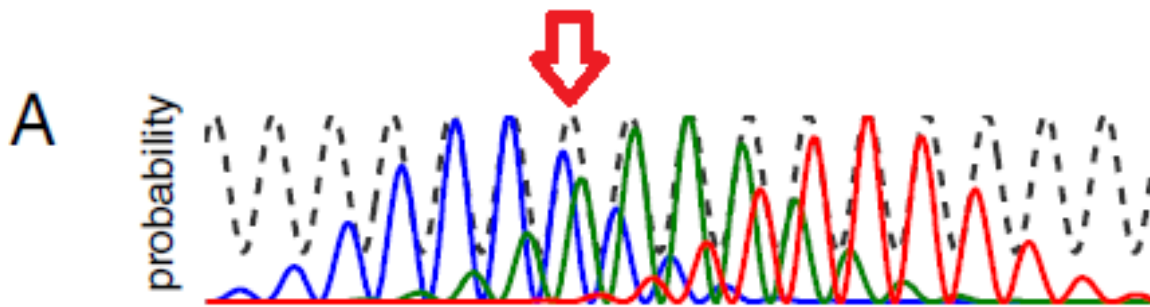
Figura 2. Se refleja la *phase precession* de dos *place cells*. Los grados representan el punto de la fase del ciclo *theta* en que la neurona se descarga a medida que el animal avanza. Puede ser de ayuda imaginar los ciclos *theta* como círculos. Se doblan las células para que se aprecie con más claridad.

Algunos interrogantes que pueden asomar en este punto son: por qué consideramos que la *place cell* está oscilando a más o menos un ritmo *theta* cuando hay evidentemente más de 8-9 descargas, es decir, Hz, por segundo; y por qué lo consideramos un ritmo cuando el *firing* depende de la posición y no es siquiera regular. La respuesta que puedo ofrecer es que agrupemos la actividad próxima: en la figura 1 en particular, hagámoslo con la que se produce incrustada en cada ciclo del *theta* general -por ejemplo, la del *trough* en el pico de actividad-, interpretándola como un único ciclo *theta* de la *place cell* -lo cual no funciona si el sujeto aumenta significativamente su velocidad-. Parece, sin embargo, que los potenciales de acción de una única célula están suficientemente separados como para ser segregados bajo ritmo *gamma*.

Obviemos el paréntesis y supongamos que, en efecto, la *place cell* está oscilando regularmente a una frecuencia un poco por encima del *theta* de la población. De ser así, la figura que sigue,

adaptada de Geisler et al. (2010), ilustrará, como reza el dicho, más que mil palabras:

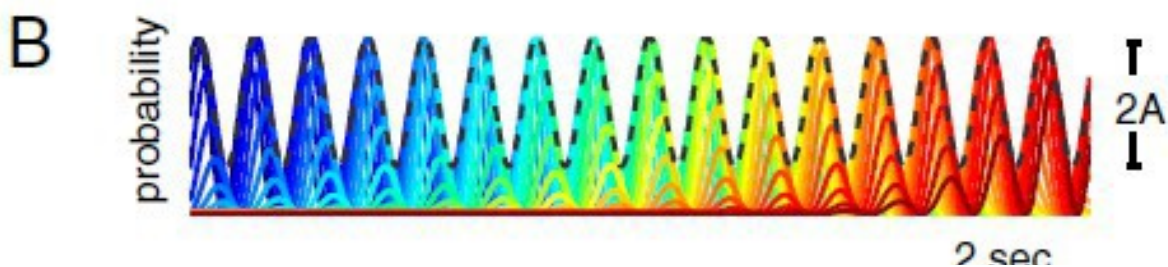
Figura 3.



La línea discontinua representa el *theta* de la población; las demás, la oscilación individual de tres neuronas. Lo que se observa donde señala la flecha es que: debido al solapamiento de dos ciclos *theta* individuales, junto con el *ligero pero crucial retraso* que media entre ellos, la población los integra como un único ciclo más lento. Las referencias presentan estudios mucho más técnicos, y analizan el “ligero pero crucial retraso” bajo una escala temporal *subtheta* proporcional al tiempo “real” que se tarda en desplazarnos de un *place field* a otro, etc. como comentábamos arriba. Aún así, creo que entrar en ello sin un absoluto dominio ensombrecería más que iluminaría la explicación.

La figura 3 es, además, de provecho para observar de nuevo la *phase precession*. Fijese el lector en que, precisamente gracias a que las neuronas oscilan más rapido que el ritmo de la población, su *firing* se va adelantando. Exponiéndolo desde la perspectiva de la figura 3, leída de izquierda a derecha: véase cómo el pico de la línea azul (180°) se va desplazando desde la derecha del ciclo de la línea discontinua -los 360° de esta- hacia la izquierda -sus 0°-. Cuando congregamos múltiples *place cells* como esas, se produce el milagro simbolizado por la figura 4 -extraída de Geisler et al. (2010)-:

Figura 4.



En la figura no sólo observamos cómo el *theta* que emerge a nivel de la población es consistente y más lento, sino que podemos apreciar los ciclos *gamma* surgiendo, a mi juicio, como un epifenómeno de la interacción de ritmos *theta*. Las figuras 5 y 6 -extraídas de Buszaki (2010) y Buzsáki y Mosler (2013), respectivamente- ayudan a visualizarlo:

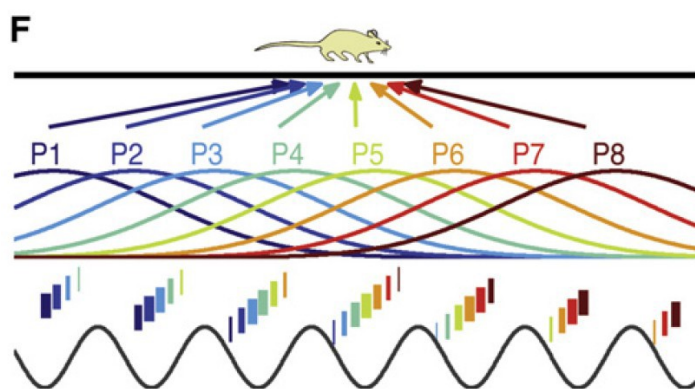


Figura 5



Figura 6

Arriba se ve cómo, a despecho del ritmo *theta* a que oscila cada *place cell*, su *firing* colectivo se sucede a un ritmo *gamma* -los 7 rectángulos-, cuya amplitud está modulada por el *theta*, a saber: el poder es mayor en el *trough* de la fase, como patentiza el grosor de los rectángulos, y aminora a medida que nos aproximamos a fases menos receptivas del ritmo *theta*. Esto explica que podamos representar mentalmente con mayor resolución los eventos y posiciones cercanos que los lejanos (Buzsáki y Moser, 2013).

Además, se refleja otra de las susodichas propiedades: dentro de un mismo ciclo *theta*, se aglutinan las posiciones pasadas, presentes, y futuras. A este respecto, fijémonos en la figura 6: el presente es “m”, el pasado más remoto “f”, y el futuro más distante es “t”. ¿Por qué omito “in” e “ion”? Porque estos son objetos que no tienen cabida dentro del ciclo *theta*, lo cual entronca con el límite de memoria causado por la cantidad máxima de ciclos *gamma* que puede albergar uno *theta*: 7 ± 2 , el conocido como número mágico para la memoria a corto plazo -véase el punto 6.4-; y entronca asimismo con una característica del procesamiento de la información en el cerebro: está supeditado ante todo a la dimensión temporal y las oscilaciones.

Abramos un último paréntesis para dudas. En la figura 5 se muestra que se obtiene una posición/*firing* de *place cell* por ciclo *gamma*. No obstante, si reparamos en la figura 1, notaremos que las descargas están suficientemente separadas como para ocupar, con no poca probabilidad, múltiples ciclos *gamma*. Aunque esto sea lo que verdaderamente dé sentido a hablar de ensamblajes neuronales en ciclos *gamma*, contra *firing* individual de *place cells*, uno sospecha de cuán fiel a los

hechos sea la figura 5.

Aparte, bosquejada la teoría, nótese que venimos jugando con frecuencias de *place cell* sutilmente más rápidas que la población. Supongámos momentáneamente que doblamos el *firing* que, recuérdese, es sensible al movimiento y velocidad del animal, hasta alcanzar un ritmo *alpha*. Admito mi perplejidad ante cómo combinando oscilaciones *alpha* emerge una *theta*. Lo mismo ocurre en la dirección opuesta, al suponer que el animal se desplaza tan lentamente que la *place cell* oscila a *delta*, tanto que tenemos que doblar el “ligero pero crucial retraso” entre los ciclos -que Geisler et al. (2010) identifican con *tau*-, para que sea proporcional al tiempo real que requiere el desplazamiento. Se llega entonces al extremo de que el retraso sobrepasa un ciclo *theta*. La solución puede estribar en cambiar la resolución de las *place cells*, es decir, multiplicando o dividiendo el *place field* de cada una. De hecho, Buzsáki (2011, 2012) señala que el *lifetime* de las oscilaciones es inversamente proporcional a la frecuencia de las neuronas: si te aceleras, vivirás menos, en un *place field* menor y tu comportamiento de *phase precession* se completará en menos ciclos *theta*.

Con todo, la reina de las dudas es, llanamente: todo el sistema cuadra porque las *place cells* empiezan a oscilar en el momento adecuado del ritmo *theta* de la población -cerca de los 360°-, pero, si su *firing* depende de alcanzar el *place field*, ¿por qué se activan de manera sistemática en ese punto y no en otro? Confío en verlo claro en un futuro.

Cerrando el paréntesis. Para reciclar ahora el mecanismo de la navegación para la memoria, basta con que concibamos las posiciones como ítems o recuerdos comprimidos a ritmo *gamma* en el interior de las oscilaciones *theta* -más visible en las figuras 5 y 6- y, sobre todo, que “all of the above-described patterns can emerge by internal mechanisms, without a reliance on external cues or reafferent body signals” (Buzsáki, 2011). Esto es, que la actividad pueda autoorganizarse en forma de las oscilaciones que explicamos al comienzo del capítulo.

Buzsáki (2006 et seq.) aporta mucho más, pero para no seguir dilatando el tema, seleccionaré como última observación la de que, en el interior el ciclo *theta*, pueden conectarse eventos/posiciones discontinuos en el tiempo/espacio (Buzsáki y Moser, 2013). Al poder activarse en un único *place field*, bien que a intensidad menor, varias *place cells*, una tiene la oportunidad de influir en la actividad de otra distante. Esta suerte de teletransportación aclara algo que podía chocar hasta el momento: la memoria, tanto al recordar como al planear el futuro, y la navegación son mucho más flexibles que una sucesión estricta e inalterable de ítems. Las oscilaciones del sistema hipocampal y entorhinal también establecen, por lo tanto, relaciones *higher-order*.

3.1.2 Oscilaciones *alpha* (8-14Hz)

Palva y Palva (2011) abogan por la complementariedad de dos hipótesis sobre la función del ritmo *alpha*. La primera de ellas es que los ciclos *alpha* comportan una inhibición fuerte de circuitos locales, que genera *closed gates* para la atención, etc. De hecho, en los córtex sensorios, se observa una disminución en la amplitud de la banda *alpha* tanto por adelantado como con posterioridad a los estímulos en las regiones relevantes; y, por el contrario, en regiones irrelevantes, se incrementa la amplitud. Dicho de otro modo, la amplitud del ritmo *alpha* estaría correlacionada negativamente con la excitabilidad y el rendimiento en el córtex sensorio.

La segunda hipótesis, por otro lado, es la del procesamiento activo, según la cual el ritmo *alpha* favorece la coordinación de regiones corticales relevantes -y, por ende, la comunicación entre las mismas-, que soportarían el procesamiento activo de más alto nivel. Palva y Palva (2007) confirman que el ritmo *alpha* se refuerza durante tareas internas como el cálculo mental, la *mental imagery*, etc. En tareas de memoria de trabajo, por ejemplo, la red frontoparietal sostiene representaciones de los ítems -lo cual se tendrá en cuenta para definir el borde de fase en el capítulo 6- implicando activamente el ritmo *alpha*.

Por lo tanto, Palva y Palva (2011) defienden que es imperativo reconciliar ambas hipótesis: las oscilaciones *alpha* -al igual que las demás que analizamos- imponen cíclicamente ventanas temporales o periodos discretos que segmentan el procesamiento neuronal que subyace a acciones perceptivas, de la atención, cognitivas y motoras (Palva y Palva, 2011). Dependiendo de la perspectiva que adoptemos las evidencias apuntarán hacia la inhibición o hacia el procesamiento activo.

We advance here a framework for reconciling these views and suggest that the characterization of alpha-band inter-areal and crossfrequency (CF) phase interactions is critical for understanding the functional significance of alpha oscillations in human brain.
(Palva y Palva, 2011:1)

Un primer paso que dan Palva y Palva (2007) para desmentir el papel exclusivamente inhibitorio del ritmo *alpha* es a partir del giro que se ha dado en la concepción de la función del *burst firing* en banda *alpha*. Los autores recuerdan que la banda *alpha* se ha asociado con las *spindles* que se producen durante el sueño y *burst discharges*. En concreto, Palva y Palva (2011) identifican como estructuras relevantes las neuronas talamocorticales y el *lateral geniculate nucleus*, una región talámica clave en la transmisión de información visual hacia el córtex. También

señalan que tales oscilaciones talámicas pueden darse sin necesidad de sincronía con el cortex.

Las neuronas talamocorticales operan en dos modos distintos: ora descargan tónicamente *single spikes* tras un periodo de inhibición, ora descargan *bursts* a un ritmo *alpha* o inferior. Mientras que el *burst firing* del tálamo parece propio de algunos estadios del sueño y ciertas condiciones psicológicas, el estado de vigilia parecería asociado sólo con el *single-spike firing*. Tradicionalmente, se ha creído que estas últimas descargas enviaban información sensoria con alta fidelidad, a diferencia del *burst firing*, que haría más imprecisa la transmisión. En consecuencia, estos estados han sido concebidos funcionalmente como *open* y *closed thalamic gates* (Palva y Palva, 2007).

No obstante, Palva y Palva (2011:3) afirman que la oscilación “alpha is not necessarily associated with all-or-none gating of information transmission”, lo cual desmintiría la idea de la *closed gate*. Para reforzar esta idea, Palva y Palva (2007) se valen de estudios donde se muestra que los potenciales locales de acción en forma de *burst* son distintos a los *spindles* o actividades rítmicas patológicas, y que demuestran asimismo que las neuronas talamocorticales pueden transmitir información sensitiva eficientemente incluso en el modo *bursting*, sobre todo en lo tocante a detección de señales:

Whereas the firing rate in tonic mode is linearly related to the strength of sensory signals and is thereby well suited for detailed signal analysis, the transmission in bursting mode takes place in an all-or-none fashion and might be better suited for signal detection. (Palva y Palva, 2007:155)

Aparte, contra la idea de que la gran amplitud *alpha* en áreas sensorias primarias refleje inhibición, se ha demostrado que la detección de los estímulos es igualmente probable con independencia de que la oscilación *alpha* que precede la percepción sea mayor o menor. Así pues, esto no parece sugerir que la frecuencia *alpha* esté necesariamente asociada con desconexión del tálamo o el bloqueo de la transmisión de señal talamocortical. Es más, se habría descubierto una forma de *thalamic burst* que generaría ritmicidad en banda *alpha* y que podría ser importante para modular oscilaciones corticales sincrónicas (Palva y Palva, 2007).

En relación a la doble función de la oscilación *alpha* y al *discutido bursting mode*, afirman Palva y Palva (2011:3):

in the LGN [lateral geniculate nucleus] relay mode, TC neurons may divide into two anticorrelated neuronal coalitions, one of which shows cyclic suppression in the negative and the other in the positive alpha peak (Lorincz et al., 2009). Alpha-band oscillations may

thus support qualitatively different modes of information transmission and may be concurrently associated with both suppression of communication and active information processing.

Este doble papel indica que las oscilaciones *alpha* son capaces de soportar diferentes modos de transmisión de información, a saber: pueden, al mismo tiempo, favorecer el procesamiento y suprimir la comunicación.

De hecho, si observamos el acoplamiento entre *alpha* y *gamma* en el córtex, podemos diferenciar dos tipos de mecanismos que dan lugar al ritmo *alpha*: uno para las *early visual regions* y otro para las *higher-order visual regions*:

In early visual regions, the infra-granular layer acts as a pacemaker driving the granular and supra-granular layers whereas in IT, the supra-granular layer has the driver function. Moreover in V1, the alpha rhythm is driven by a cortico-thalamo-cortical loop whereas in V2 and V4, cortico-cortical interactions dominate[...]. In line with the inhibition hypothesis, alpha amplitude in V1, V2, and V4 was positively correlated with behavioral performance in an auditory task. However, in IT, the alpha amplitude was negatively correlated with the behavioral outcome, which indirectly supports an active attentional rather than a distractor-suppressing role for alpha in IT. (Palva y Palva, 2011:3)

Por lo tanto, a pesar de cumplir una función inhibitoria en el córtex sensorio primario, las oscilaciones *alpha* juegan un papel activo en las regiones *higher-order*, como las visuales. El procesamiento activo en regiones sensorias tempranas se asocia con un decrecimiento de la amplitud *alpha* y con menor sincronización; por el contrario, las regiones sensorias *higher-level* y las implicadas en la atención, etc. se benefician de una mayor amplitud y sincronización en la banda *alpha* en las áreas corticales relevantes para la tarea (Palva y Palva, 2011). En otras palabras, los mecanismos y funciones de las oscilaciones *alpha* pueden variar a lo largo de la jerarquía de procesamiento cortical.

Recapitulemos: hasta ahora hemos comprobado que las oscilaciones *alpha*, además de una función inhibitoria, sobre todo en regiones sensorias, juegan un papel activo en el procesamiento, en especial en áreas *higher-level*; hemos comprobado que ambas funciones coexisten, pues, en el cerebro. Sin embargo, puede que más ligado al pensamiento intermodular que describimos en el capítulo 2, todavía no hemos ahondado en el papel de ligar regiones cerebrales distantes.

En relación a ello, Palva y Palva (2011) argumentan que el acoplamiento de oscilaciones, especialmente interfrecuencia, podría cumplir un *binding rol* mediante la coordinación y regulación

de procesos locales-globales, en lo cual juega un papel central el tálamo. A pesar de que en 3.2 explicaremos la sintaxis neuronal basada en la jerarquía de ritmos, sirvanos de guía la idea de que las oscilaciones nos dotan de reguladores temporales de la actividad neuronal; así se facilita la comunicación entre áreas en una alternancia en que los *inputs* que se reciben en el momento adecuado de la fase son asimilados, y los que no, ignorados.

De hecho, Palva y Palva (2007) identifican una función de reguladora temporal en la percepción y la acción por parte de la ritmicidad en frecuencia *alpha*, es decir: proporciona una segmentación temporal. La percepción de olores que se discriminan a una ratio de 8 Hz o el *active whisking* de los ratones parecen operar en ventanas discretas de 100 milisegundos, cosa que podría corresponderse con ciclos consecutivos de la oscilación *alpha*. En paralelo a este *perceptual sampling*, también los *smoothmovements* se realizan en pasos discretos. Las discontinuidades en el movimiento son causadas por actividad muscular fásica asociada en 1:1 a la oscilación *alpha*. Esta coordinación del movimiento se consigue a gran escala mediante redes cerebelo-talamocorticales acopladas en oscilaciones *alpha* coherentes.

Palva y Palva (2007) creen que la sincronía de fase es esencial en la formación de ensamblajes neuronales y en la integración de la red a gran escala; así, las interacciones entre bandas reflejan redes funcionales en el córtex, por lo que más que la amplitud, lo que refleja la significación funcional del ritmo *alpha* es la dinámica interactiva de las fases.

En favor del papel cohesionador del ritmo *alpha* se pueden aducir experimentos con estímulos visuales (Palva y Palva (2007)), en que se presentan o bien estímulos significativos o bien vácuos. En el primer caso se registra coherencia en la frecuencia *alpha* en la región occipitotemporal; en el segundo, sin embargo, la sincronía de los ritmos es menor. Otros experimentos han reflejado un aumento de la sincronía entre el ritmo *alpha* y otros en las regiones occipital, parietal, frontal y *rolandic* durante el cálculo mental o el mantenimiento de la memoria de trabajo; en concreto, Palva y Palva (2007) recogen que el cálculo mental intensivo aumentó la sincronía interfrecuencia globalmente entre oscilación *alpha* y *beta*, así como entre *alpha* y *gamma* a nivel más local -información coherente con el modelo que postulo en los capítulos 6 y 7-. Lo que vienen a mostrar estos datos es que ciertas tareas cognitivas se valen de la sincronización *alpha* a gran escala, por lo que cabe pensar que cumple una función activa en la modulación de redes relevantes y un control *top-down* de los mecanismos como los de la atención.

En la línea de los susodichos experimentos con estímulos visuales, Palva y Palva (2007) precisan que el ligado de rasgos anatómicamente distribuidos suele involucrar ritmos *beta* y *gamma*, acoplados por la oscilación *alpha*, en procesos de atención, memoria de trabajo y consciencia -de nuevo, algo acorde a la definición del *merge* intermodular en mi modelo-. Por lo que respecta a la

memoria de trabajo, la oscilación *alpha* aumenta a medida que lo hace la demanda de trabajo, como se observa en regiones frontoparietales en que tareas visuales la sincronizan con ritmos *beta* y *gamma* (Palva y Palva 2011). En estos procesos, la *alpha* contribuye al mantenimiento de los objetos en la memoria de trabajo a la vez que inhibe de *inputs* que pudieran distraer de la tarea. La presencia de ritmo *gamma* en el periodo de retención de la memoria de trabajo, correlacionado asimismo a la percepción, es razonable habida cuenta de que las oscilaciones *gamma* (punto 3.1.4) acostumbran a asociarse a la formación de representaciones de objetos. En esta interacción interfrecuencia, la banda *gamma* mostraría, pues, un procesamiento *bottom-up*, mientras que la *alpha* desempeñaría un control *top-down* (Palva y Palva 2007).

Aparte, la interacción de la banda *alpha* en redes corticales y talámicas predomina también en el *planning* y la ejecución de movimiento, la lectura y comprensión del lenguaje. Todos estos datos sugieren, en suma, que la dinámica que establecen los ritmos *alpha*, contra la hipótesis de la inhibición, es un factor activo en la coordinación de la actividad cerebral para la acción, la cognición y la percepción.

Palva y Palva (2011) especifican que las oscilaciones *alpha* suelen sincronizarse con *theta*, *beta* y *gamma*, en concreto, mediante interacciones fase-fase y fase-amplitud -para una explicación de estos mecanismos, véase el punto 3.2-. Verbigracia, en el caso fase-fase:

the strength of 1:3 γ - α -phase synchrony was positively correlated with WM load. In other investigations, 1:2-phase synchrony between β and α oscillations, as well as verbal memory load-dependent 1:2 synchrony between α and [*theta*] (4–7 Hz) oscillations, has been observed in the human EEG. (Palva y Palva, 2007:156)

Y en lo que respecta a la interacción fase-amplitud, conocidas como *nested oscillations*, nos encontramos, por poner un ejemplo de acoplamiento con oscilaciones más lentas, con que la oscilación *alpha* es incrustada en oscilaciones ultra lentas de entre 0.01 y 0.1 Hz, tanto durante el sueño como durante la ejecución de tareas somatosensorias de detección en el umbral (Palva y Palva, 2011). En fin, lo que viene a revelar tanta interacción es que, aparte de inhibir, la oscilación *alpha* es clave en conectar múltiples regiones cerebrales activamente, sincronizar regiones distantes, en regular la comunicación local-global entre múltiples áreas.

Un último mecanismo de la oscilación *alpha* que contribuye a la codificación es el reinicio de fase propio de los osciladores de relajación que explicamos a comienzos del capítulo. Durante tareas de *visual working memory encoding* (Palva y Palva, 2011), el reinicio de las fases *alpha* se ha mostrado relevante en la sincronización a gran escala de redes frontoparietales. De acuerdo con

Palva y Palva (2007), los *event related potentials*, en niveles corticales superficiales y altos en la jerarquía del procesamiento, emergen del reinicio de fase de oscilaciones *theta* y *alpha* que están en curso. Estos picos de actividad en un ciclo de unos 100 milisegundos tras el estímulo están además relacionados con la detección consciente, sobre la que añadiremos algo a continuación.

En lo que referente a la consciencia, Palva y Palva (2007) señalan que la oscilación *alpha* en curso en regiones sensoriomotoras y frontoparietales se acopla selectivamente a los estímulos débiles que son percibidos conscientemente -algo que también hace, de forma más local, el ritmo *gamma*-. De ello se sigue que:

perception-selective α -frequency band phase locking in sensorifrontoparietal networks indicates a direct role for α -frequency band phase correlations in neuronal processes supporting consciousness. In these data, the phase locking in not only α -, but also in β - and γ -bands was followed by an amplitude suppression that was greater for the perceived than for the unperceived stimuli. (Palva y Palva, 2007:152)

Palva y Palva (2007) proponen, para el correlato neuronal de la consciencia, un modelo basado en un *global neuronal workspace* en que la consciencia emerge de la interacción entre las redes sensorias y frontoparietales a través de oscilaciones *alpha*, basándose en que: la modulación *top-down* implica la banda *alpha*; que esta puede conectar regiones corticales separadas para formar así una red más amplia; que entonces el aumento de sincronía redundante en el rendimiento de ciertas tareas cognitivas; que las oscilaciones *beta* y *gamma* detectadas en dichas tareas coexisten con la *alpha* y son igualmente sensibles al estímulo; que todos estos ritmos se sincronizan en respuesta a demandas cognitivas que exigen de mayor comunicación entre redes; y que, por último, la percepción y la acción proceden en periodos discretos dictados por los ciclos del ritmo *alpha*.

De este modelo Palva y Palva (2007) concluyen, entre otros, que las oscilaciones *alpha* no sincronizadas con las redes frontoparietales no pertenecen al *global neuronal workspace* de la consciencia y deben tener una función más cercana a la inhibición, de acuerdo a la dualidad funcional del ritmo *alpha* comentada arriba, y que la sincronía local con ritmos *gamma* en la red frontoparietal es el mecanismo de selección e inclusión de representaciones neuronales de objetos en la atención y la consciencia.

3.1.3 Oscilaciones *beta* (15-30 Hz)

Advierten Engel y Fries (2010) que la oscilación *beta*, tradicionalmente asociada a funciones sensoriomotoras, es de las menos comprendidas. Wang (2010) recuerda que la oscilación *beta* fue observada primeramente durante el estado de preparación para el movimiento o su inhibición, si bien se suprimía una vez se iniciaba el mismo: *the beta power is decreased at the onset of movement execution and increased when a response is withheld*. Sin embargo, va poniéndose de manifiesto que el papel del ritmo *beta* en la cognición es más amplio. A este respecto, se ha propuesto, por ejemplo, que el acoplamiento de ritmos *theta*, *beta* y *gamma* proporcionan un mecanismo para la codificación secuencial de ítems procesados en la memoria de trabajo. Engel y Fries (2010) advierten un predominio de *beta* en el córtex parietal, y apuntan a que el carácter de ritmo lento puede, de acuerdo lo explicado en puntos como el anterior, mediar en el acoplamiento funcional de redes distribuidas.

En corroboración del papel en las funciones motoras, Engel y Fries (2010) aducen que la *beta* destaca durante *steady contractions* y aumenta sensiblemente durante los periodos de *holding* o contención que siguen a los movimientos. La relación entre dichos estados y el ritmo *beta* se observa en todo el sistema motor, desde el córtex motor y premotor, pasando por los ganglios basales y el cerebelo, hasta unidades motoras periféricas. La otra cara de esta moneda, y que viene a reforzar la hipótesis, es que el ritmo *beta* se atenúa durante la ejecución de movimientos voluntarios o es inhibido incluso durante la *motor imagery*. Es más, durante la preparación y la ejecución del movimiento, el ritmo *beta* es reemplazado por otros más rápidos. Debido, además, a la notable presencia del ritmo *beta* en el descanso, se ha propuesto que *may correspond to an 'idling rhythm' in the motor system* (Engel y Fries, 2010).

No obstante, Engel y Fries (2010) defienden una hipótesis alternativa: en vez de reflejar la inhibición del movimiento, el ritmo *beta* podría reflejar un procesamiento activo en que se promueve el conjunto motor existente, mientras se compromete el procesamiento de nuevas acciones motoras. En efecto, se observa que el rendimiento en tareas motoras se ve negativamente afectado por el aumento de las oscilaciones *beta*; asimismo, los movimientos voluntarios se ralentizan. Por consiguiente, Engel y Fries (2010) apuestan por la hipótesis de que la función del ritmo *beta* en el córtex motor puede ser la del mantenimiento del *status quo*. Aceptado este punto de vista, se abre la puerta a la consideración de que el ritmo *beta* facilite el procesamiento de *feedback* necesario para monitorizar el estado del sistema, recalibrarlo, etc. (Engel y Fries, 2010).

En lo que respecta a la función de la oscilación *beta* en otros procesos cognitivos, los autores abogan por una similar a la que tiene en los circuitos motores para el resto de sistemas. La tesis es

que: mientras no haya cambios en el conjunto cognitivo y perceptivo, la actividad en banda *beta* se mantendrá constante; no así cuando el sistema debe sostener de forma activa un conjunto o estado cognitivo, cuando la actividad *beta* aumentará; ni en el caso en que ocurra un evento inesperado o se renueve el conjunto cognitivo, lo cual derivará en una disminución o supresión del ritmo *beta* (Engel y Fries, 2010). Estas ideas los llevan a correlacionar la actividad *beta* con procesos desencadenados de forma exógena o endógena -el comportamiento del ritmo *beta* en el procesamiento de estímulos ambiguos es a este respecto de lo más revelador-:

in task settings which are largely stimulus-driven and have only a weak endogenous, top-down component, the appearance of a new sensory stimulus causes a decrease in BBA[actividad en banda beta] [...] On the other hand, [...] interactions in the beta-band predominate in tasks that strongly involve endogenous top-down processes.

En consonancia con esto, el ritmo *beta* se ha asociado al procesamiento de la atención *top-down* (Engel y Fries, 2010), en que se requiere de bandas lentas para la comunicación a gran escala, en contraste con el acoplamiento más local y a frecuencias más altas cuando se transmiten señales *bottom-up*. El hecho de que algunos estudios de la atención no reflejen actividad *beta*, notan Engel y Fries (2010), se explica porque no se reparó en los niveles corticales pertinentes: se detecta ritmo *gamma*, verbigracia, en las áreas visuales V1, V2, V4, y en niveles corticales superficiales; en cambio, los niveles corticales profundos muestran *stimulus-induced oscillations not in the gamma-band, but exclusively in an alpha-band to beta-band range*. Así pues, el tipo de oscilación puede asociarse al contenido: *beta* si se prioriza el *status quo*, como corrobora su presencia en periodos de *delay*; *gamma* si se introduce nueva información.

En referencia a ello, Wang (2010) aporta algunos ejemplos y conecta la dualidad *beta/gamma*, y atención *top-down/bottom-up* respectivamente, con la organización anatómica de los circuitos corticales que apuntan Engel y Fries (2010). En tareas *match-to-sample*, en que los sujetos debían retener en la memoria de trabajo la identidad y la posición de un estímulo visual, para decidir posteriormente si coincidía con un segundo estímulo:

there was an enhanced coherence at 20 Hz between MT (a sensory area) and LIP (a cognitive area), in LFP or neural spikes, in a way that is specific to the preferred location and feature of the recording sites. (Wang , 2010:1240)

Wang (2010) ahonda en las conexiones anatómicas recíprocas entre los niveles corticales para explicar el funcionamiento del *top-down signaling*. Como afirmábamos, las oscilaciones *gamma*

predominan en los niveles superficiales 2 y 3; la *beta*, en los 5 y 6 -incluso se propone que sistemas talamocorticales sostienen preferiblemente ritmo *beta* en las capas corticales más profundas-. Concibamos estas dos áreas corticales como conectadas recíprocamente: desde capas superficiales de áreas *lower order*, tenemos proyecciones *feedforward* hacia capas profundas de áreas *higher-order*; estas últimas áreas, a su vez, vuelven a conectar, desde sus capas profundas, con proyecciones de *feedback* hacia las áreas *lower-order* (Wang, 2010).

En este sistema, la oscilación *beta* de los niveles profundos puede transmitir *feedback* a los superficiales; codificar la expectación que guía el aprendizaje -en consonancia con la actividad *beta* en el hipocampo en la primera fase del aprendizaje-; puede explicar la coherencia entre áreas asociada a la atención selectiva, la memoria de trabajo, etc. También puede acoplarse al ritmo *beta* observado durante la atención en los ganglios basales o el tálamo, etc.

Otra observación de Wang (2010:1241), que tendré en cuenta en el capítulo 6 -en la discriminación categorial-, es la importancia de la frecuencia para la extensión o alcance de la oscilación:

modeling studies showed that synchronization can tolerate longer synaptic delays for beta than gamma oscillation [...], suggesting that long-distance oscillatory synchronization may be more robustly realized at beta frequencies.

Wang (2010) introduce en este modelo la presencia de la actividad *gamma* en la atención y la memoria de trabajo como sigue: las proyecciones de *feedback* se producen hacia las capas superficiales, de forma que pueden modular oscilaciones *gamma* más locales y dependientes del contexto. Es importante notar, a la vista de lo discutido en el capítulo 2, la implicación del tálamo:

the widespread cortical projections of matrix cells in the dorsal thalamic nuclei and the intralaminar nonspecific thalamic nuclei appear to be well suited for synchronizing disparate cortical areas (Wang, 2010:1241).

En conclusión, como defienden Engel y Fries (2010), los estudios sobre el sistema motor, trastornos del movimiento -no contemplados aquí- y mecanismos *top-down* en la cognición convergen en la hipótesis unificadora de la función del ritmo *beta* como sostenedora del *status quo*; ya sea un conjunto motor, ya sea, en el sistema cognitivo, la continuación de un *set* cognitivo y el dominio de influencias *top-down*. Falta, sin embargo, explicar por qué es justamente la oscilación *beta* el mecanismo responsable de esta función (Engel y Fries, 2010), por qué son los ritmos lentos los que bloquean o ralentizan cambios en el *status quo*.

3.1.3.1 El ritmo *beta* como un *alpha*(/merge) menor

Buschman et al. (2012) asignan una función a la oscilación *beta* en la formación de redes funcionales amplias bastante similar a la que se discutió en el punto 3.1.2 sobre el ritmo *alpha* y que va a serme de utilidad en el capítulo 6. De acuerdo con los autores, el comportamiento inteligente emana de la capacidad de adquirir y seguir normas, que a su vez adecúan el comportamiento a las diversas situaciones. Con tal de entender el mecanismo cerebral subyacente, Buschman et al. (2012) registran actividad en el córtex prefrontal dorsolateral durante una tarea en que unos monos deben decidir entre dos normas: o bien responder al color del estímulo, o bien hacerlo respecto a la orientación. Los resultados indican que la sincronización oscilatoria forma *ensembles* o conjuntos neuronales que representan normas: “there were rule-specific increases in synchrony at “beta” (19–40 Hz) frequencies between electrodes” (Buschman et al., 2012:838).

En el experimento, los ensambles neuronales diferían en función de la regla que representaban; además, se observó que el ensamble que codificaba la norma dominante de la orientación mostraba un aumento en sincronía a ritmo *alpha* durante la preparación para aplicar la norma más débil regida por el color del estímulo. Buschman et al. (2012) especulan que la sincronía en *beta*, por lo tanto, refleja la selección de la norma relevante, mientras que la sincronía en *alpha* refleja la desección del conjunto dominante pero irrelevante en ese punto de la tarea. La sincronía de la actividad neuronal, en fin, puede proporcionar una forma dinámica de definir conjuntos neuronales relevantes para la tarea dentro de un circuito mayor donde se producen solapamientos -véase más abajo-.

Buschman et al. (2012) destacan la flexibilidad con que podemos cambiar de comportamiento en función del contexto para adaptarnos al mismo. El córtex prefrontal se ha identificado como una estructura clave para estos comportamientos basados en reglas. Los autores notan una doble función de la estructura: por un lado, formar los ensambles neuronales que representan la regla actual; por otro, reconfigurar la regla actual cuando las circunstancias así lo exigen. El mecanismo que proponen Buschman et al. (2012) para ello son las oscilaciones: permiten establecer conjuntos dependientes de las tareas de forma flexible, *allowing ensembles to be dynamically “carved” from a greater, heterogeneous population of neurons.*

La prueba a la que se someten los monos (Buschman et al., 2012) consiste, a grandes rasgos, en presentar unas formas azules y rojas, y en posición horizontal o vertical. En función de la norma, el sujeto responde al color o a la orientación con un movimiento ocular (*saccade*). A pesar del acierto general, se observa que los monos responden con mayor lentitud al cambiar de la regla de orientación a la de color: lo cual no sólo refleja el esfuerzo cognitivo, sino que sugiere que la

orientación constituye la norma dominante o por defecto.

La sincronización por medio de oscilaciones de determinada población neuronal en el córtex prefrontal es selectiva, esto es, depende de la norma que se aplica, identificándose, pues, dos conjuntos distintos en banda *beta*:

one synchronized during the orientation rule (n = 117 out of 465 pairs, $p < 10^{-15}$, binomial test against the number expected by chance) and one during the color rule (n = 90, $p < 10^{-15}$, binomial test). (Buschman et al., 2012:840)

Se observa (Buschman et al., 2012) que la sincronía no tiene lugar entre zonas aisladas, sino que ocurre en redes interconectadas. Es decir, las redes dependientes de las normas muestran un alto solapamiento o, lo que es lo mismo, la mayoría de regiones que mostraron sincronía selectivamente para una norma también lo hicieron para la otra: “58% of electrodes participating in an orientation rule-preferring pair, 52% of color rule-preferring pair” (Buschman et al., 2012:840). Este resultado, que a priori podría parecer que menoscaba la precisión de la sincronía, etc. no hace sino aportar un argumento más a favor de la importancia de la segregación de poblaciones neuronales mediante oscilaciones.

Así pues, Buschman et al. (2012) defienden que la sincronía puede reflejar conjuntos funcionales de neuronas. Sobre la relevancia arquitectónica de la red, también tenida en cuenta en el capítulo 6, no puedo dejar de citar:

Spike-field synchrony was largely observed at beta-band frequencies, particularly for orientation rule trials [...]. During color rule trials, synchrony was shifted slightly toward higher frequencies [...]. *This may reflect differences in the underlying architecture of the ruleselective ensemble either locally or between PFC and sensory and/or motor regions* (Buschman et al., 2012:840, énfasis mío)

En lo relativo a la función de la sincronía en banda *alpha* que apuntábamos, Buschman et al. (2012) notan que la zona que, al regir la norma del color, se sincroniza en este ritmo más lento se corresponde con la zona que oscila a ritmo *beta* cuando la rige la norma de orientación. Por consiguiente, el ritmo *alpha* parece deseleccionar el conjunto neuronal irrelevante para el procesamiento, de acuerdo con la función inhibitoria que se discutió en el punto 3.1.2. Otro argumento a favor es que la poca actividad *alpha* detectada durante la regla de orientación ocurría justamente en la población relacionada a la norma opuesta e inhibida del color.

En pro de la relevancia para el comportamiento de la sincronía, Buschman et al. (2012) detectan

que el tiempo de reacción es más rápido cuanto mayor es la sincronía; además, antes del estímulo parece iniciarse la oscilación para facilitar el procesamiento posteriormente.

En conclusión, la oscilación *beta* sirve para seleccionar los conjuntos neuronales que representan la norma; y el dinamismo de este mecanismo puede redundar en la flexibilidad cognitiva, “allowing ensembles of task-relevant neurons to be dynamically formed and reformed” (Buschman et al., 2012:842). Esto permite que un ensamble particular pueda ser formado por parte de las neuronas que son miembro de otros ensambles. Los resultados son coherentes con la idea de que la oscilación *beta* juega un papel central en la organización *top-down*: por ejemplo, la actividad en banda *beta* aumenta cuando el estímulo por venir es predecible. Por último, vemos que la oscilación *beta* coexiste con la *alpha*, encargada de deseleccionar las regiones irrelevantes.

3.1.4 Oscilaciones *gamma* (30-90Hz)

En el análisis de los mecanismos que generan o implican oscilaciones *gamma* -a grandes rasgos, unos *short burst* rítmicos de varias frecuencias rápidas-, Buzsáki y Wang (2012) notan que el *lifetime* de los ensambles neuronales en ciclos *gamma* depende de las propiedades biofísicas de las neuronas,

including the time constant of gamma-aminobutyric acid (GABA)_A and α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid (AMPA) receptors [...], the membrane time constant of cortical pyramidal cells [...], and the critical time window of spike-timing-dependent plasticity.(Buzsáki y Wang, 2012:2)

Puesto que estos parámetros determinan la habilidad de las neuronas para integrar *inputs*, Buzsáki y Wang (2012) intuyen que la función de los ensambles es acumular suficiente actividad para descargar una neurona postsináptica o lectora en un sólo ciclo *gamma* –cosa discutida más pormenorizadamente en el punto 3.2 sobre sintaxis neuronal-.

Como la sincronización de neuronas es más efectiva mediante *perisomatic inhibitory postsynaptic potentials* (IPSPs) (Buzsáki y Wang, 2012) que por excitación dentrítica, la inhibición por neurotransmisores GABA_a es un factor clave en la generación del ritmo *gamma*. De hecho, las condiciones para que emerja son bien sencillas: bastan neuronas inhibitorias en la red, la constante temporal de los receptores GABA_a y suficiente actividad para inducir la descarga de las neuronas.

Bosman et al. (2014) recogen que se han propuesto dos modelos para explicar el surgimiento de ritmo *gamma*: uno que implica neuronas excitatorias e inhibitorias conectadas de forma recíproca, y

otro en que interneuronas de *fast spiking*, conectadas mutuamente, generan inhibición postsináptica para las células piramidales. Tales mecanismos no son excluyentes, producen ventanas de conectividad efectiva entre circuitos neuronales y tienen consecuencias de bajo nivel para las funciones del ritmo *gamma*, que se discutirán más abajo. Antes, sin embargo, dedicaremos un poco más de espacio a los principales circuitos.

De acuerdo con Buzsáki y Wang (2012), en el modelo inhibitorio-inibitorio (I-I), la sincronización tiene lugar cuando un subconjunto de interneuronas empieza a descargar conjuntamente y genera potenciales de acción postsinápticos inhibitorios. Luego, al decaer el efecto del GABA_A, las neuronas principales inhibidas se descargan. En dicho modelo, las oscilaciones *gamma* pueden emerger de dos maneras (Buzsáki y Wang, 2012): cuando el *input drive* es tónico, las descargas se producen con cierta periodicidad; en cambio, cuando las neuronas reciben *stochastic inputs* y descargan de forma irregular, interacciones recurrentes lo bastante fuertes *will make the asynchronous state unstable against random fluctuations, and oscillations emerge* (Buzsáki y Wang, 2012).

En el modelo I-I, la frecuencia de las neuronas individuales está determinada parcialmente por la cantidad de excitación, y un *input* heterogéneo puede resultar en un amplio rango de frecuencias oscilatorias (Buzsáki y Wang, 2012). Tales sistemas tienden a desincronizarse, si bien la *gap-junction-enhanced synchrony* y las propiedades resonadoras de las *basket cells*, entre otros, controlan la desincronización. Notan los autores, sin embargo, que la heterogeneidad del ritmo de descarga puede ser beneficiosa, puesto que los diferentes patrones de descarga pueden dar pie a mecanismos de selección: “transient synchrony would emerge only among those neurons that are activated to approximately the same level” (Buzsáki y Wang, 2012:210).

Aparte del modelo I-I, Buzsáki y Wang (2012) describen el excitatorio-inibitorio (E-I), en que las conexiones recíprocas de conjuntos de células piramidales excitatorias e interneuronas inhibitorias generan una actividad rítmica, en la que a un periodo de rápida excitación lo sucede otro de inhibición. En el modelo E-I, no se necesita, por lo tanto, de conexiones directas entre células inhibitorias, y la fuerza conductora es la actividad de las células piramidales; lo que sí necesitan los modelos E-I es un *time-delay* entre la descarga de la neurona excitatoria y la de la inhibitoria. Podemos afirmar (Buzsáki y Wang, 2012), que el *timing* de las interneuronas es heredado de las células piramidales.

En relación al alcance y a la sincronización del ritmo *gamma*, Buzsáki y Wang (2012) advierten que, si bien emergen localmente, podemos identificar regiones dispersas oscilantes en *gamma* interactuando entre sí. Se ha observado, por ejemplo, coherencia en *gamma* interhemisférica entre campos receptivos similares de los córtex visuales primarios derecho e izquierdo. A consecuencia

de los retrasos en la conexión axonal, la sincronía directa entre estos ritmos requiere de potentes *axon tracts*, costosos por el espacio que ocupan, etc. No obstante, Buzsáki y Wang (2012) explican la posibilidad alternativa: la actividad sincrónica entre varias oscilaciones *gamma* puede obtenerse mediante la regulación de ritmos más lentos -cuestión en la que no abundaremos por abordarse en el punto 3.2-.

Una matización pertinente de Buzsáki y Wang (2012), contraria a posibles presunciones de una homogeneidad del ritmo *gamma* y coherente con la multiplicidad de funciones que discutiremos enseguida, es que se han registrado múltiples subbandas *gamma* -cuya posible utilidad al modelo se discutirá en el capítulo 7-. En la región CA1 del hipocampo, pongamos por caso, se identifican tres bandas *gamma* distintas: una lenta (30-50Hz), otra media (50-90 Hz), y una rápida (90-140 Hz), también conocida como *epsilon* (Buzsáki y Wang, 2012). A la vista de observaciones como que diferentes subbandas, la *gamma* media y la rápida en este caso, suelen acoplarse a diferentes fases del ciclo *theta* en el hipocampo; de que las subbandas pueden tanto coexistir como ocurrir aisladas, etc. deberíamos ser bastante cautos a la hora de tratar todas las oscilaciones *gamma* de forma unitaria.

Con todo, lo que sí tiene en común todo ritmo *gamma* es que es una oscilación breve que permite organizar transitoria y cíclicamente ensambles neuronales (Buzsáki y Wang, 2012), gracias sobre todo a la inhibición -que alterna con la excitación-, y que acostumbra a sincronizarse con otras oscilaciones. Ahora, ¿cuál puede ser su función -si es que no hay más de una-? El análisis de Bosman et al. (2014) es bastante exhaustivo a este respecto, conecta las funciones *low-level* del ritmo *gamma* con otras cognitivas de más alto nivel y acaba con interesantes cuestiones tocantes a la evolución.

A pesar de que, debido a la dependencia ocasional del ritmo *gamma* de las propiedades de los estímulos -lo cual lo hace impredecible-, se ha dicho que la oscilación puede no ser más que un epifenómeno o, en el mejor de los casos, un mecanismo poco fiable de transmisión de información, Bosman et al. (2014) proponen que la sincronía en banda *gamma* emerge naturalmente de las estructuras en que se da por la conjunción de *synaptic excitation produced by glutamatergic neurons and inhibition produced by GABAergic neurons*; que es, por consiguiente, indisociable de los circuitos y la actividad cerebral; y que sirve para multitud de funciones *across the full spectrum* de los procesos cognitivos: percepción, atención selectiva, la memoria, la motivación, el control del comportamiento, etc. Por ejemplo, se han observado evidencias de la función del ritmo *gamma* en el *olfactory bulb* de los erizos (Bosman et al. (2014): se registran ondas de baja amplitud cuando se mezclan olores, mientras que inhalar aire normal provoca ondas de mayor amplitud en frecuencias más bajas asociadas a la respiración rítmica.

La idea esencial es que la oscilación *gamma* emerge de motivos estructurales básicos, conservados en varias especies y circuitos cerebrales, que comportaron ventajas para el procesamiento *low-level* y múltiples funciones cognitivas a lo largo de la evolución. De hecho, durante la evolución de las estructuras cerebrales, el ritmo *gamma* ha sido un mecanismo exaptado para múltiples *low-level neural circuit functions* (Bosman et al., 2014):

(i) gain control in area-to-area transfer of information, supported by (ii) postsynaptic coincidence detection of presynaptic spikes; (iii) selective switching between multiple incoming stimuli; (iv) phase coding; and (v) regulation of spike timing by inhibition. (Bosman et al., 2014:1983)

Aparte de que las neuronas sincronizadas localmente puedan comunicar la dinámica oscilatoria a otras regiones con que conectan, Bosman et al. (2014) analizan otras funciones proporcionadas a nivel de circuito por la oscilación *gamma*, que subyacerían a procesos sensorios y cognitivos *higher-level*, como la atención selectiva, el procesamiento visual, la memoria, el aprendizaje, etc. Entre las funciones *low-level* de *gamma* se encuentran algunas que nos resultarán menos transparentes, como la *gain modulation*, que, de acuerdo con Salinas y Sejnowski (2001), es un frecuente mecanismo de integración en que una neurona combina información de varios orígenes, y donde un *input* modula la sensibilidad a otro sin alterar la selectividad de las células; o el *dynamic routing*, usado para dar cuenta de la atención visual a pesar de los cambios por el movimiento, etc. en la percepción del objeto, en que unas neuronas de control alteran de forma dinámica el peso de las sinapsis (Olshausen et al., 1993) -cosa que conecta con la propiedad de que el ciclo *gamma* coincide con el tiempo de la plasticidad neuronal tan remarcada por Buzsáki (2006 et seq.)-.

No obstante, formular funciones como estas en términos de oscilaciones queda fuera del propósito del punto y del tiempo y espacio de que dispongo. Así pues, nos centraremos en otras funciones *low level* del ciclo *gamma* tanto o más representativas como el *phase coding*: mecanismo que discrimina la actividad de neuronas/ensambles en función del punto de la fase de una oscilación en curso en que interfieren -desarrollado en los puntos 3.1.1 y 6.4, al explicar la navegación y la memoria en el hipocampo, el fenómeno de la *phase precession*, etc.-; la *coincidence detection*, que no es más que la concepción de la sincronía favorecida por las oscilaciones a partir de si la actividad cae o no dentro de las ventanas temporales críticas -comienzos del capítulo 3-, juzgada por la perspectiva de *readers* en la teoría de la sintaxis neuronal de Buzsáki que esbozaremos en breve -punto 3.2-; o la *selective inhibition*, función esencial de los ritmos cerebrales que puede dar razón, por ejemplo, del favorecimiento de determinados *inputs* en competición cuando cierto ensamble

determina la descarga de interneuronas, de la inhibición de regiones corticales irrelevantes, etc.

3.1.4.1 Funciones de *gamma* a varios niveles

De acuerdo con Bosman et al. (2014), las oscilaciones *gamma* se han correlacionado con la atención visual selectiva y la planificación motora del *saccadic eye movement*. De hechos como que columnas corticales del sistema visual presenten sincronía a 40 Hz ante estímulos congruentes - no así cuando son incongruentes-, se puede seguir también que las propiedades *higher-order* de los estímulos -en que se integran varios rasgos visuales- se codifican mediante ensambles neuronales oscilando a ritmo *gamma*. Es por ello que Bosman et al. (2014) postulan que el mismo facilita el *temporal grouping* de la actividad de neuronas varias y la *coincidence detection of synchronous inputs*, mecanismos útiles en la integración de las propiedades del estímulo -la más cercana al *binding rol* que le asigna Buzsáki y que más tendré en consideración en mi modelo, en los capítulos 6 y 7-.

Aparte, se observa actividad *gamma* cuando se le presentan al sujeto estímulos complejos que activan varios campos receptivos. A través de la jerarquía visual, estos acaban convergiendo en áreas *upstream*, y allí compiten por activar *targets* postsinápticas. Un mecanismo que resuelve esta competición es la atención selectiva: se incrementa la actividad de las neuronas que procesan determinado estímulo -el que atendemos- a expensas de las neuronas que procesarían el estímulo que es ignorado. Bosman et al. (2014) proponen que la atención selectiva puede operar a través de un *gain enhancement* entre el grupo presináptico relevante y el grupo postsináptico gracias a sincronía en *gamma*:

First, coincidence detection of gamma-synchronized spikes can increase the presynaptic gain of attended stimuli [...]. Second, GBS [sincronía en banda gamma] can establish flexible and dynamic communication links between the target areas and the downstream (i.e. early regions in the visual hierarchy) neuronal groups receiving their inputs. (Bosman et al., 2014:1986)

En línea con la discusión sobre la función del ritmo *beta* en la atención del punto 3.1.3, Bosman et al. (2014) señalan que se produce sincronía *gamma* entre el córtex parietal posterior y la región frontal de áreas de atención frente a estímulos *salient*, es decir, en un procesamiento *bottom-up*; mientras que la atención *top-down* se correlaciona con frecuencias *beta* en las mismas regiones. La

conclusión (Bosman et al., 2014) es que en la atención selectiva, la integración de rasgos visuales... puede obtenerse mediante la sincronización de ensambles neuronales relevantes a ritmo *gamma*:

Here, we reviewed evidence suggesting that three such mechanisms (coincidence detection, gain modulation and dynamic routing) can be linked to GBS and high-level functions in vision, particularly in attention. Furthermore, synchronization patterns can be taken as a hallmark of interareal transient links that are relevant for information transfer, despite noticeable shifts in peak frequency. (Bosman et al., 2014:1987)

Por otro lado, Bosman et al. (2014) también asocian funciones *low-level* del ritmo *gamma* con el *memory encoding* y el *retrieval*. En el hipocampo, las oscilaciones *gamma* suelen acoplarse o incrustarse en ritmos más lentos, prototípicamente el *theta*. Así, se consigue una coordinación temporal de la descarga de múltiples neuronas que contribuyen a la función de *phase coding* de bajo nivel -véase el punto 3.1.1 sobre el ritmo *theta*-, que a su vez determina la transferencia de la información.

En la línea de lo comentado al principio, Bosman et al. (2014) afirman que la *gamma* lenta, por un lado, y la media y rápida, por otro, presentan distintas propiedades y se relacionan también de forma diferente con el ritmo *theta*. La lenta tiende a sincronizarse con las áreas del hipocampo CA3 y CA1, mientras que la rápida se suele sincronizar con el *entorhinal cortex*. Además, en el área CA1, las oscilaciones *gamma* lentas y rápidas se asocian con diferentes fases de la oscilación *theta*, por lo cual se produce una separación temporal de los *inputs* al llegar en diferentes fases del ciclo *theta*. Por último, se observa una separación espacial en las poblaciones que sostienen los diferentes ritmos *gamma*.

De ello se sigue (Bosman et al., 2014) que las diversas oscilaciones *gamma* proporcionan las funciones de *dynamic routing*, como sugiere la separación temporal dentro del ritmo *theta*; y *phase coding*, debido a las interferencias en diversos puntos con el ritmo más lento, regulando, en fin, el *spike timing* de las neuronas. Además, el segregar de esta forma los *inputs* evita la convergencia de la información recuperada o antigua y la nueva que se está codificando: la oscilación *gamma* lenta, generada en el CA3, sirve para la *memory retrieval*; la media/rápida, generada en el *entorhinal* córtex, sirve para codificar nuevos objetos.

The encoding of hippocampal memories is thought to depend on the transfer of sensory, object and spatial information from the entorhinal cortices to hippocampus (Hargreaves et al., 2005) whereas CA3–CA1 communication is often emphasized as playing a key role in the retrieval of hippocampus-dependent memories. (Bosman et al., 2014:1988)

Esto es coherente con un experimento en que las ratas mostraban actividad *gamma* media o rápida durante la orientación, y, por el contrario, *gamma* más lenta al recordar una secuencia de movimientos. En relación a ello, Bosman et al. (2014) aportan la teoría de la navegación y la memoria a largo plazo desarrollada en el punto 3.1.1. Lo más relevante ahora es sencillamente que la modulación *gamma* se asocia a la memoria con funciones de *dynamic routing* y *phase coding*.

Cambiando nuevamente de región y función, otra estructura en que Bosman et al. (2014) localizan actividad *gamma* es en el córtex prefrontal, implicada en la cognición de *executive functions* tales que: toma de decisiones de manera flexible; la atribución de valor a estímulos y acciones; la resolución de conflictos, etc.

En una tarea en que había que discriminar olores asociados o no a recompensas, se registró sincronía en banda *gamma* media (Bosman et al., 2014) al presentarse el olor. Entonces, el ratón tenía que esperar más de un segundo y decidir a continuación si se desplazaba o no. Los resultados mostraban que la sincronía *gamma* ocurría durante la segunda mitad del *odor sampling* -dominando la *theta* la primera mitad-. La oscilación no parecía relacionada con lo apropiado de la decisión ni el olor en sí, sino que la sincronía iba aumentando a través de los ensayos, de forma que el aprendizaje iba correlacionado con un aumento en sincronía *gamma*.

Lo que sorprende a Bosman et al. (2014) al analizar las células que sostenían el ritmo es que no eran sensibles a los olores, sino a la acción. Esto los lleva a conjeturar que otra función de la oscilación *gamma* podría ser una inédita hasta el momento: la inhibición, la supresión selectiva de la actividad de una población cuando la misma sería prematura en términos de comportamiento, ya que si las ratas no esperaban suficiente, se quedaban sin recompensa. Desde un punto de vista más cognitivo, la sincronía del ritmo *gamma* controla la impulsividad, pudiendo actuar como un regulador del tiempo de las respuestas; tiene, pues, un papel inhibitorio de las áreas irrelevantes para la acción en la línea de lo que se ha sugerido para el ritmo *alpha* -véase el punto 3.1.2-. Pero al contrario que el ritmo *alpha*, el *gamma* parece inhibir en el córtex frontal y jugar un papel activo, en las áreas sensorias posteriores.

Por último, se ha detectado *gamma* en el córtex prefrontal en lo que respecta a la secuenciación de ítems en la memoria a corto plazo. En un experimento con monos, se los entrenó para una tarea de memoria en que debían recordar cuál de dos objetos fue presentado primero; tras un retraso, se mostraban tres objetos diferentes, y había que dirigir la vista hacia los dos presentados anteriormente en el orden original. Se registró entonces en el córtex prefrontal lateral “neuronal populations to phase-lock spiking activity to an ~32 Hz (low gamma range) and an ~3 Hz rhythm during the memory delay period” (Bosman et al., 2014:1991). Lo más destacable es que de nuevo parecía explotarse el mecanismo del *phase coding*:

Remarkably, during the delay interval in which both objects were held in working memory, spikes conveyed more information about the first presented object at earlier phases of the ~32 Hz cycle than later in the cycle, whereas the converse applied to the second object. (Bosman et al., 2014:1991)

En suma, la oscilación *gamma* en el córtex frontal se asocia a la toma de decisiones y el tiempo de respuesta -la inhibición hacia aguardar a los ratones-, y en la secuenciación de ítems en la memoria, mediante *selective inhibition* y *phase coding* respectivamente.

Para otro estudio de *gamma* en estructuras subcorticales, véase Bosman et al. (2014) sobre el *striatum* y su relación con la motivación. En cualquier caso, la conclusión principal de lo discutido es que la oscilación *gamma* es un fenómeno amplio, a causa de que es generada por la conjunción de células excitatorias e inhibitorias que pueblan todo el sistema nervioso central. Las evidencias refuerzan que el ritmo *gamma* cumple múltiples funciones alto nivel, por lo que Bosman et al. (2014) descartan que se trate de un subproducto de la organización cerebral; postulan, por el contrario, que el ritmo *gamma* cumple amplias funciones computacionales a través del comportamiento *low-level* en los circuitos. Sobre por qué este es el caso, los autores ofrecen una explicación en términos evolutivos que no puedo dejar de contemplar.

3.1.4.2 *Gamma* desde una perspectiva evolutiva

Como sugieren estudios comparativos, los motivos estructurales que generan la oscilación *gamma* surgieron temprano en la evolución, y aparecen actualmente en los principales *phyla* animales,

from phylogenetically ‘older’ circuits such as the stomatogastric ganglion of crustaceans [...] to relatively ‘new’ mammalian cortical column circuits. (Bosman et al., 2014:1992)

Mientras que el simple *stomatogastric ganglion* consiste en una interneurona inhibitoria conectada a 11 excitatorias, donde la inhibición genera un control rítmico mediante oscilaciones rápidas sobre los músculos usados en la digestión, y ha sido conservado evolutivamente durante 350 millones de años (Bosman et al., 2014); las columnas corticales, mucho más complejas -con sus conexiones verticales e interárea-, son esenciales en la organización del córtex sensorio y constituyen la arquitectura fundamental en que se implementa la computación en los mamíferos.

Bosman et al. (2014) destacan que, debido a que la organización en columnas es un paso

adelante de los circuitos más simples que combinan células excitatorias e inhibitorias, se obtienen ventajas adaptativas en la computación, sobre todo gracias a la compartimentación y la organización sistemática. Lo llamativo es que, pese al crecimiento en complejidad y expansión de los circuitos más básicos, la oscilación *gamma* haya persistido en las propiedades funcionales básicas del sistema.

Esta universalidad de *gamma*, razonan Bosman et al. (2014), puede emerger de la necesidad de un equilibrio entre excitación e inhibición en las conexiones recíprocas, que se hallan en muchas especies con independencia del tamaño del cerebro, la conectividad y las *synaptic paths lengths*. En efecto, Buzsáki et al. (2013) argumentan que el desarrollo de aspectos arquitecturales del cerebro se encuentra subordinado al mantenimiento de los ritmos, esto es, se debe preservar el *timing* de la comunicación entre áreas.

Bosman et al. (2014) apuestan por que el surgimiento del circuito excitatorio/inhibitorio elemental “have provided an early evolutionary pressure to select gamma-band oscillations as a constitutive principle for computation”. Al comienzo, la sincronía pudo no ser más que la forzosa consecuencia de la organización del circuito, y carecer de función directa. Luego, al paso que el cerebro se desarrollaba y surgían nuevas funciones, era posible ir valiéndose de los ritmos *gamma* inherentes. Tiene sentido, por consiguiente, conjeturar que la omnipresencia de *gamma* se debe a la exaptación de unos pocos principios y computaciones *low-level* para nuevas funciones cognitivas -lo cual conecta con el papel del tálamo en el nuevo contexto de la globularidad discutido en el capítulo 2-. Estas surgieron sorprendentemente rápido en linajes como el de los primates, cuando los mapas sensorios primarios *hardwired* sirvieron de andamiaje para el córtex intermedio o no primario (Bosman et al., 2014). La oscilación *gamma* se mantuvo entonces compatible con el *wiring* predominantemente local -recordemos, de tipo *small-world* según Buzsáki (2006)-, las constricciones que imponían los ritmos, etc. por lo que la exaptación fue viable.

Así las cosas, el ritmo *gamma* no es un mero epifenómeno que pueda disgregarse de los circuitos que lo generan ni sus funciones *low-level*, sino que emerge de la organización básica del cerebro desde antiguo, de la interacción entre inhibición y excitación, y las *time constraints* impuestas sobre la evolución: “evolution may have turned gamma oscillations into a fundamental but, even so, diverse computational feature of the brain” (Bosman et al., 2014:1995).

3.2 Sintaxis neuronal

Recuerda Buzsáki (2010) que desde mediados del siglo pasado se cree que el pensamiento coherente emerge de la *spatiotemporal orchestration of neuronal activity*. El pensamiento complejo, se creía también, surgiría de la encadenación grupos de neuronas interconectadas, conocidas como ensambles neuronales (*cell o neuronal assemblies*). Tales poblaciones representarían unidades de codificación; activando una parte suficientemente grande, se descargaría el ensamble al completo. Esta idea, además, está en línea con el *representational framework* (Buzsáki, 2010), según el cual bastaría ir presentando estímulos al cerebro y observar las respuestas para, comparando las diferencias entre las mismas, acabar identificando el correlato neuronal de los rasgos del objeto y avanzar en la comprensión del sistema.

No obstante, Buzsáki (2010) advierte de una paradoja: aunque pensemos en los atributos esenciales del objeto como algo independiente de la mente, en verdad son, a nuestros ojos, creados/interpretados por el cerebro. Además, el marco representacional es de poca utilidad por lo que hace a desentrañar los mecanismos con que opera el cerebro en tareas como la integración frente a la segregación, propias de la cognición. Por lo tanto, Buzsáki (2010) propone una teoría alternativa basada en tres hipótesis.

La primera es reformular el concepto de ensamble neuronal desde un punto vista *downstream*, a saber: será una neurona que actúe como lectora (*reader u observer-reader-classifier-integrator*; en palabras del autor) la que valore el *output* de una población de neuronas como relevante o no. Un ejemplo de mecanismo clasificatorio elemental de la neurona lectora es su potencial de acción, que refleja la actividad del ensamble *upstream*: la descarga de la neurona lectora depende de la del ensamble presináptico -pensemos en la *coincidence detection* a bajo nivel que explicábamos también con Bosman et al. (2014)-; en última instancia, el *output* puede ser una acción motora, planes, etc. (Buzsáki, 2010).

Respecto de la segunda hipótesis, es crucial notar que los ensambles neuronales no son independientes, sino que se encadenan en forma de secuencias que evolucionan tanto en el espacio neuronal como en el tiempo (Buzsáki, 2010). Podemos, pues, comparar la organización de los ensambles con la de palabras y frases, lo cual implica que los ensambles están organizados por leyes sintácticas que definen sus relaciones *first-order* y *higher-order* (Buzsáki, 2010). Tal sintaxis neuronal presenta paralelismos con la lingüística que no pueden achacarse a coincidencia: en ambos se segmenta la información en paquetes más pequeños conforme a mecanismos conocidos tanto por el emisor como el receptor, lo cual “makes communication more straightforward than interpreting long uninterrupted messages” (Buzsáki, 2010); sin introducir ritmicidad o inhibición, como

explicamos al principio del capítulo, la actividad no hace más que reverberar continuamente y pierde, pues, el significado. La sintaxis neuronal y la teoría de fases de *Merge-a* que esbozaré en el capítulo siguiente, pues, se reflejan entre sí como ante un espejo -capítulo 5-.

La tercera y última hipótesis es que, debido a que los ensambles neuronales son separados en el tiempo, necesitamos de mecanismos que conecten los ensambles en ausencia de actividad. Buzsáki (2010) defiende que la función de conectar los constituyentes de la sintaxis neuronal en ese caso son los *synaptic weights* o *synapsembles*.

Desarrollemos primero con más detalle la hipótesis de los ensambles neuronales definidos por una neurona lectora o *reader*. Buzsáki (2010) explica que para identificar los ensambles necesitamos, aparte de la *reader*, un *temporal frame*. La razón es que la actividad neuronal se acopla transitoriamente para producir eventos *downstream*, pero de forma que la sincronía de ese acoplamiento es juzgada como significativa sólo por el impacto en la *reader*. Volviendo al caso de integrar potenciales presinápticos -y conforme a la discusión de la sincronía de Buzsáki (2006) que abordamos al principio del capítulo-: la integración está constreñida por la *membrane time constant*, de forma que si la descarga cae dentro de la ventana crítica de la lectora, la actividad se suma y se interpreta significativamente como de un único ensamble; si, por el contrario, la descarga llega fuera de la ventana crítica, la actividad se identificará como un ensamble distinto. Además, si múltiples combinaciones desencadenan el mismo output en la *reader*, serán interpretadas como idénticas.⁹

the postulated physiological goal of the cell assembly is to mobilize enough peer neurons so that their collective spiking activity can discharge a target (reader) neuron(s).
(énfasis de Buzsáki, 2010:364)

La respuesta en términos absolutos, de todo o nada, de la lectora permite, en consecuencia, identificar ensambles de forma discreta. Luego, saltan a la vista divergencias entre la concepción representacional y la *reader-centric* del ensamble neuronal (Buzsáki, 2010): la primera dependería sin más de las sinapsis entre neuronas excitatorias; en la segunda, la conectividad no es suficiente ni obligatoria para definir el ensamble, sino que lo importante es que el *output* sea interpretable, que haya sincronía. Logramos, pues, una una definición más funcional.

Aunque el *output* de la *reader* pueda ser simplemente binario, Buzsáki (2010) hace notar que la lectora puede ser, lejos de un elemento aislado, un miembro más del ensamble neuronal, como

9 Como indica Buzsáki (2010), otra característica de las *readers*, contraria a una posible primera impresión, es que no están en un estado perpetuo de alerta, sino que juegan más bien un papel de iniciador en determinadas ventanas temporales. Son además influidas interactivamente por otros *inputs*, neuromodulares subcorticales, etc. de modo que acaba siendo el estado de la red en su conjunto el que acaba determinando la segregación de ensambles.

músicos de una orquesta en que cada uno lee las acciones del conjunto. Esta comparación lleva a cuestionarnos por el tamaño de los ensambles neuronales o a cuántas neuronas necesitamos para descargar las *reader*. Sin entrar ahora en pormenores, rescataremos de Buzsáki (2010) que la actividad coordinada de unas pocas o decenas de neuronas puede dar lugar a un ensamble desde el punto de vista de la lectora; sin embargo, si se quiere alta precisión, puede ser necesario reclutar una población mucho mayor.

it appears then that while the cell assembly can be conceived of as a large philharmonic orchestra in which the contribution of each instrument is needed to perform a perfect concert, a small fraction of key assembly members can play a “good enough” recital. (Buzsáki, 2010:376)

Antes de entrar a discutir la hipótesis de la sintaxis neuronal basada en la jerarquía formada por la incrustación de ensambles a varias frecuencias, quisiera resaltar cuán próxima está la concepción de la sintaxis de Buzsáki (2010:365) a la de algunos lingüistas, en la que incluso captura el potencial de la recursividad:

In general, syntax (grammar) is a set of *principles* that govern the *transformation* and *temporal* progression of discrete elements [...] into ordered and *hierarchical relations* [...] that allow for a congruous interpretation of the meaning of language or music by the brain [...] grouping or *chunking* the fundamentals by syntax allows for the *generation of a virtually infinite number of combinations from a finite number of lexical elements* using a *minimal number of rules* in sign, body, artificial, and computer languages and mathematical logic. (énfasis mío)

Buzsáki (2010) postula que los mecanismos gobernados por el tiempo con que las neuronas integran la actividad de sus compañeras definen la sintaxis neuronal: la organización de los ensambles neuronales, que forman cadenas de longitudes varias. Al igual que en el lenguaje, el significado de esta composición o encadenación de ensambles en lo que el autor denomina trayectorias depende de la manera en que las unidades fundamentales son analizadas y ordenadas.

I suggest that neural syntax facilitates the formation of ordered hierarchies of trajectories from the fundamental cell assemblies. (Buzsáki, 2010:365)

En relación a ello, Buzsáki (2010) resalta la ventaja de que sean ensambles, y no neuronas individuales, las unidades fundamentales de la sintaxis: las trayectorias son menos vulnerables; la

reader tolera variación y ruido; se pueden amplificar los *outputs*; computar probabilidades, etc.

Así las cosas, podemos entender que la secuenciación temporal de unidades discretas por medio de la sintaxis neuronal genera *neural words and sentences* (Buzsáki, 2010). Las palabras neuronales consistirían en múltiples ensambles, de la misma forma que las palabras están compuestas, en el lado fonológico, por múltiples fonemas. Un candidato a palabra neuronal es, a juicio de Buzsáki y Watson (2012), una oscilación *gamma*: pensemos en los ensambles que definen los múltiples ciclos de la oscilación como en letras neuronales, que pueden ser combinadas en palabras y luego frases. De acuerdo con Buzsáki y Watson (2012), estos ritmos *gamma* son agrupados por oscilaciones más lentas, como la *theta*, mediante acoplamiento interfrecuencia -véase más abajo-:

Then slower rhythms in which θ waves nest can bind such words into “neural sentences,” ie, longer messages of information, coordinated across large brain territories.
(Buzsáki y Watson, 2012:351)

Es en este punto en que saltamos del ensamble a la formación de un constituyente mayor, sea palabra, sintagma o frase, cuando las oscilaciones devienen esenciales. Buzsáki (2010) advierte que para encadenar ensambles se requiere de *readers* con mayor capacidad temporal de integración, es decir, de otros mecanismos aparte de la constante del potencial de membrana de las neuronas *reader*. Los osciladores de relajación (véase el principio del capítulo 3) permiten distinguir entre fases de *input*, en que se integra temporalmente la actividad *upstream*, y de *output*, en que transmiten y no pueden recibir información, gracias a los ciclos de inhibición y excitación que explicamos. Es decir, las oscilaciones funcionan de manera semejante que el mecanismo de las *reader*; pero lo hacen a mayor escala y proporcionan un mecanismo adicional de *parsing and chunking* (Buzsáki, 2010). Las oscilaciones, pues,

can determine the length of an information unit (“neural word” or assembly sequence), and multiple cycles can combine word sequences into “neural sentences.” (Buzsáki, 2010:366)

Así, los ensambles activos dentro de un patrón clasificatorio, como el ciclo de una oscilación, pueden representar entidades integradas como palabras neuronales (Buzsáki, 2010). Un ejemplo de palabra neuronal podría ser la actividad en el *antennal lobe* de los insectos en respuesta a un olor: en dicha región se genera una oscilación *gamma*, con diferentes ensambles en función del olor, de forma que el olor es codificado por la secuencia o trayectoria de ensambles. Por otro lado, cuando palabras como estas se activan secuencialmente, podemos concebirlas como una frase, de lo que

puede ser un ejemplo el *grooming* de los ratones (Buzsáki 2010), un comportamiento complejo compuesto por un patrón fijo de diversas acciones ejecutadas de forma secuencial.

Buzsáki (2010) nota que en sistemas de gran tamaño, se pueden generar muchísimas trayectorias; la habilidad de cambiar o redefinir estas secuencias es lo que está detrás de nuestra capacidad para recordar, pensar, planear, etc. A pesar de que los ejemplos de arriba suelen estar motivados por *cues* externas, las frases neuronales no necesitan ser respuesta de estímulos del entorno, sino que pueden ser generadas internamente por la actividad autoorganizada del cerebro, es decir, por las oscilaciones.

Otra característica definitoria de la sintaxis neuronal de Buzsáki (2010), que la distingue de procesos como la comunicación, que transcurre por turnos, es su gran carácter interactivo: las palabras pueden solaparse y generarse patrones tanto *first-order* como *higher-order*. Un ejemplo ilustrativo, tanto de este párrafo como del anterior, son los mecanismos de la memoria y la *phase precession* de las neuronas del hipocampo en relación a la actividad *theta* más lenta de la población que explicamos en el importante punto 3.1.1, al que remito nuevamente desde aquí.

Debido a constricciones estructurales cuando múltiples ritmos se dan simultáneamente, como el el caso recién mencionado, las fase de los lentos modula la amplitud de las bandas más rapidas (Buzsáki y Watson, 2012). De esta forma, se genera naturalmente una jerarquía de carácter sintáctico:

This “cross-frequency phase coupling,” first demonstrated between theta (θ , 4 to 9 Hz) and gamma (γ , 30 to 90 Hz) oscillations, is a general mechanism for all known rhythms and it undergirds a hierarchical organization of brain rhythms.(Buzsáki y Watson, 2012:348)

Respecto de la relevancia de la codificación temporal, Buzsáki y Watson (2012) argumentan que, con la salvedad de la oscilación *theta* del hipocampo -que se escala inversamente con el tamaño del cerebro-, la conservación de los ritmos a pesar de grandes diferencias en el tamaño cerebral refuerza la idea del tiempo como principal organizador de la dinámica temporal. En otras palabras, no es por un casual, dados los costes de conexión y metabólicos que supone, que heredemos los mismos mecanismos de codificación, por lo que algunos conjeturan (Buzsáki et al., 2013), como defendimos en el punto anterior, que efectivamente el desarrollo cerebral está subordinado a la prioridad de la organización temporal.

En relación a los mecanismos de acomplamiento interfrecuencia que señalábamos, Buzsáki y Watson (2012) distinguen entre los de fase-fase, fase-amplitud y amplitud-amplitud -en el que no entraré-. En la sincronía fase-fase, *phase is shared between the waves*, y puede darse tanto con

oscilaciones en la misma frecuencia (figura 1) como entre oscilaciones de frecuencia distinta (figura 2):

Figura 1

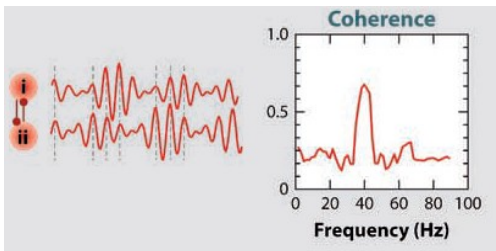
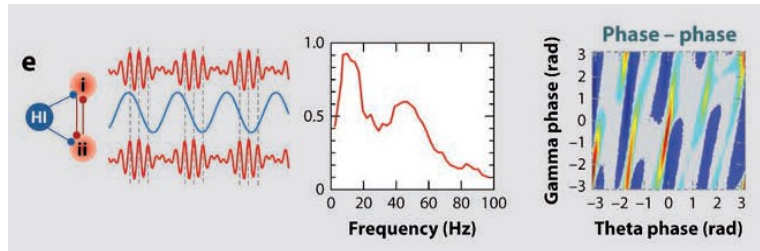


Figura 2 (extraídas de Buzsáki y Watson, 2012)



En cuanto a la sincronía fase-amplitud, observamos que la relación entre la fase de las diversas oscilaciones puede ser aleatoria, pero que el poder de los ritmos rápidos es modulado por el más lento (las *gamma* por el ritmo *theta* en la figura 3). No obstante, también puede observarse sincronía entre las fases (figura 4).

Figura 3

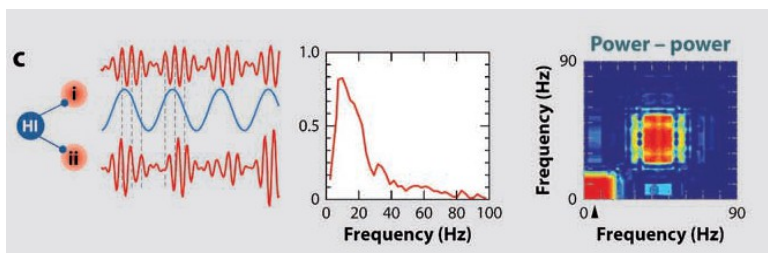
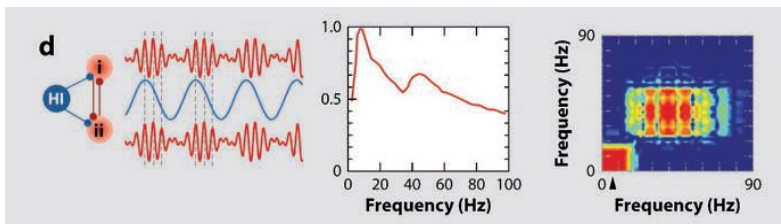


Figura 4 (extraídas de Buzsáki y Watson, 2012)



Lo que pone de manifiesto este fenómeno de acoplamiento interfrecuencia es que el cerebro se organiza jerárquicamente mediante ritmos en múltiples escalas temporales correlacionadas entre sí (Buzsáki y Watson, 2012). Los mecanismos que dan lugar a ello constituyen la espina dorsal de la sintaxis neuronal, y permiten al mismo tiempo la segmentación y la conexión de la actividad neuronal en ensambles neuronales o cadenas de ensambles, comparables a letras y palabras, respectivamente, o incluso en frases neuronales cuando entra en juego la sincronía a múltiples

escalas temporales.

La tercera hipótesis que introdujimos -secundaria para nuestros intereses- era la de la importancia de los pesos sinápticos a la hora de establecer relaciones entre ensambles. Buzsáki (2010) señala que, a causa de la plasticidad de los circuitos cerebrales, un modelo de conectividad fija no sirve para segregar grupos neuronales o ensambles: la distribución de los pesos sinápticos (la fuerza o conductividad de la sinapsis) cambia de continuo en función de la actividad que va produciéndose, tanto aferente como eferente, y puede responder de forma significativa a *inputs* externos. Además, la plasticidad sináptica puede jugar un papel significativo a la hora de limitar la duración de los ensambles neuronales, condicionando su evolución temporal y espacial.

Los “synapsembles”, que Buzsáki (2010:372) describe como sigue

Analogous to the assembly of spiking neurons, a particular constellation of synaptic weights in a defined time window can be conceived of as an assembly of synapses or “synapsemble.”

pueden, en este contexto, tener una doble función: por un lado, limitar el tiempo de vida de las palabras neuronales *to subsecond to seconds timescales*; por otro lado, unir palabras neuronales separadas por la interrupción de la actividad, bien deprimiendo las conexiones inhibitorias o bien potenciando las sinapsis excitatorias.

Para acabar, cabe resaltar el papel de la inhibición en la sintaxis neuronal, que es un medio natural de ir silenciando alternativamente el flujo de información y fragmentar consecuentemente los mensajes de las células principales. La combinación de este mecanismo de *start-stop* y el acoplamiento interfrecuencia permiten soportar las leyes sintácticas (Buzsáki y Watson, 2012). De acuerdo con la teoría de Buzsáki (2010), la segregación de las neuronas principales en grupos funcionales es posible gracias a la inhibición generada por las interneuronas. A la hora de crearse ensambles, la supresión de las neuronas inhibitorias puede dar lugar a otros nuevos en nuevas partes, por lo que las interneuronas juegan el papel doble de ser parte del ensamble y de suprimir ensambles que compitan.

En definitiva, en el cerebro existen múltiples mecanismos lectores, cada uno con sus ventanas temporales para integrar la actividad; los más lentos permiten integrar mayores secuencias, como las frases neuronales; esta riqueza permite monitorizar simultáneamente la actividad de los ensambles desde varias perspectivas, y extraer diferentes significados, “for example, temporal relationships for one feature and spiking intensity for another” (Buzsáki, 2010:376).

One can only speculate that the roots of language and musical syntax do in fact emanate from the neural syntax native to the brain [...], since it is the neural syntax that secures a match between brains, which both generate and interpret information.(Buzsáki, 2010:379)

4. *Merge- α* ¹⁰

En *Merge- α* (Boeckx, 2014) se huye del preformacionismo y del lexicocentrismo en que se incurre al apelar a rasgos no primitivos y *domain-specific* que guíen la derivación sintáctica, para, por el contrario, permitir que sea la misma operación *merge* la que estructure incluso los ítems léxicos. Tanto el lexicón *narrow* (Boeckx, 2014) como *merge* son *structureless*, a saber: no constan de subcomponentes o suboperaciones. *Merge*, además, es un acto simétrico de combinación o formación de conjuntos, irrestricto e ilimitado, y no va asociado a la proyección como mecanismo que introduzca asimetrías.

Boeckx (2014) denomina las unidades que combinan la sintaxis *lexical precursor cells*; su única propiedad sintáctica es que son susceptibles de ser ensambladas, de lo que se sigue que son idénticas a ojos de la sintaxis. Las diferencias semánticas y fonológicas podrían, defiende el autor, obtenerse mediante índices que hicieran las veces de instrucciones para los sistemas externos, como, pongamos por caso, la de *fetch* (ir a buscar) un concepto relevante en lado semántico, o bien la asociarse a una matriz fonológica. A pesar de que podemos, por consiguiente, concebir los ítems léxicos como tripletes: la propiedad que hasta ahora representaba el *edge feature* (rasgo del borde) y un par de índices para los sistemas externos, lo único que nos interesa en este proyecto sintacticocéntrico es la primera propiedad.

Nótese, además, que si las células precursoras léxicas son planas, sintácticamente hablando, si disociamos por entero forma de sustancia, estamos introduciendo un giro radical en la concepción de los ítems léxicos: estos dejan de ser *bundless* de rasgos, son homogéneos y, por ende, no presentan categorías. Al operar con este tipo de precursores léxicos, *merge* es libre, deja de estar sujeto a influencias léxicas y a *triggers* o *vehicle requirement* (Boeckx, 2014). El ensamble de precursores léxicos no implica que haya proyección, ni, en consonancia con lo discutido, apelamos a categorías funcionales que al estilo de la morfología distribuida identifiquen las raíces. No hay, en fin, ninguna distinción presintáctica.

Semejante concepción del lexicón, muy en línea de la creatividad del proceso de lexicalización por el que aboga Pietroski, es perfectamente coherente -puede que condición indispensable- con la *humaniqueness* que explicamos en el capítulo 2. En su vertiente semántica, los predicados poliádicos, como defiende Pietroski (2006 et seq.), devienen monádicos, de forma que sean manipulables por operaciones básicas como la conjunción. Es claro que tal uniformidad parece oponerse a la variación postsintáctica: para ella, habrá que apelar a procesos de gramaticalización o,

¹⁰ Quede claro que, sin que se haga explícito repetidamente, todas las ideas de este capítulo son de Boeckx; los errores, míos. Aparte, esta es sólo una síntesis que no hace justicia a todo lo que es *Merge- α* .

como definiré en el capítulo 6, a una sintaxis postsintáctica.

De acuerdo con Boeckx (2014), es justamente esta operación combinatoria irrestricta lo que supuso el salto evolutivo. Dicho de otro modo, la posibilidad de tratar homogéneamente el lexicón presintáctico es lo que nos permite hacer uso recursivamente de medios finitos para construir *finite-yet-unbounded systems* (Boeckx, 2014) no sólo en lo que respecta al lenguaje, sino a las matemáticas, la música, etc. -sobre la especificidad de nuestro fenotipo cognitivo, véase el punto 2.3-.

Ahora bien, aunque no contemos con la típica proyección de la teoría X', por ser lexicocéntrica y más que nada una estipulación, sí que precisamos de asimetrías a las que los sistemas externos puedan anclar sus recursos interpretativos, y de las que emerjan asimetrías temáticas, de extracción, ligado, rasgos, ámbito, etc. tras las cuales, sugiere Boeckx (2014), podría hallarse la más elemental de mando-c asimétrico.

The challenge for us is to find a way to capture them [asimetrías] without resorting to an extra operation like 'Project' or relying on the asymmetries made available by features, since both of these strategies, familiar from the literature, *are, at bottom, nothing more than ways of coding the facts*. (Boeckx, 2014:62, énfasis mío)

Esta misma discusión es extensible al tan socorrido *labeling*, por medio del que, lejos de explicar de una forma *principled* por qué ocurre, nos hemos limitado a *restate* la idea tradicional de que el núcleo proyecta (Boeckx, 2014). Señala el autor, además, que los últimos mecanismos que se han propuesto fracasarían en el modelo de *Merge- α* , puesto que siendo los ítems tradicionales conjuntos de rasgos, nos topáramos con el ensamble de dos sintagmas y no de un sintagma con un núcleo.

Así las cosas -“within syntax, symmetry will reign” (Boeckx, 2014)-, el autor se vale de las fases para generar las asimetrías, porque se siguen de necesidad conceptual virtual y porque hacen posible que la noción del *labeling* emerja de un proceso más dinámico o derivacional, en que se rompen las simetrías por el funcionamiento del mismo sistema. El *labeling*, pues, se obtiene a partir de la transferencia parcial de la estructura generada por *merge* hacia los sistemas externos; las fases pasan a ser, por lo tanto, el mecanismo de autoorganización que regula un *merge*, a su vez, irrestricto, y “the sources of all asymmetries found in Universal Grammar” (Boeckx, 2014). Esta nueva función asignada a las fases puede entenderse como una condición de localidad que redundaría en la eficiencia computacional, puesto que la transferencia permite que el componente sintáctico mantenga una cantidad mínima de información en la memoria de trabajo.

En relación a ello, Boeckx (2014:66) reflexiona, breve pero contundentemente:

because all asymmetries in Universal Grammar are rooted in phases (cyclic transfer), al
of them will be 'interpretive'

Si las asimetrías no se generan hasta que tiene lugar la transferencia, *merge* está exento de ellas y sus aparentes condiciones quedarán constreñidas a nivel postsintáctico. Bien que, llegados a este punto, surge la siguiente pregunta: ¿qué motiva las fases? En opinión de Boeckx (2014), el argumento más sólido hasta el momento, la *feature inheritance*, se ha vuelto insostenible en su formulación clásica, dado que para explicar la obligatoria simultaneidad entre valuación de rasgos y transferencia se apelaba a conjuntos de rasgos, etc. Lo que propone Boeckx (2014) es que la transferencia cíclica es simplemente la manera más natural de conseguir el *mechanism of symmetry-breaking*.

Según Boeckx (2014), la mayor necesidad de asimetría que pueden imponer los sistemas externos y que, por consiguiente, es capaz de motivar las fases, es la *Anti-Identity Avoidance* capturada por Richards (2010) -a la que me referiré a menudo como “antiidentidad” a secas-: “no two elements of the same syntactic category can be transferred at the same time” (Boeckx, 2014):

(1) *Hace frío, dijo Juan María. (adaptado de Boeckx, 2014:71)

La antiidentidad lleva a conjeturar a Boeckx (2014) que, de no ser por las fases, toda estructura generadas por *merge* fracasaría al alcanzar los sistemas externos, porque todas las células precursoras léxicas son idénticas, de la misma categoría. La función esencial de las fases es, consecuentemente, impedir que lleguen a los sistemas externos dos elementos homogéneos sin un límite de fase entre ellos, lo cual, a su vez, puede dar cuenta de la ciclicidad:

transfer should not be too greedy; it should not transfer more elements than can be
distinguished by external systems at each spellout points.(Boeckx, 2014:72)

No obstante, la transferencia tampoco debería precipitarse, puesto que la derivación empezaría de cero una y otra vez y la sintaxis, más que ser generadora de jerarquía, produciría una concatenación o formación de *strings* (Boeckx, 2014). Necesitamos, pues que como mínimo un miembro permanezca accesible: el borde de fase.

Boeckx (2014) apunta a que el límite de fase entre dos elementos, uno de ellos transferido,

podría dar lugar a la distinción X-XP o núcleo-complemento. Sin embargo, al carecer ambos de categoría, y en atención a la necesidad de obtener asimetrías postsintácticas, debemos dar un *label* a las unidades transferidas: Boeckx (2014) se inspira en teorías en la línea de la morfología distribuida para proponer un *labeling-by-phase*. Antes de proceder a explicar cómo funcionaría, reparemos en que, para que un sistema de categorías tenga sentido, necesitamos por lo menos dos distintas; seguiremos, pues, coherentes con la necesidad conceptual.

Imaginemos ahora -la discusión que sigue es más bien un calco de la de Boeckx (2014)- que insertamos un límite de fase entre A y B: ambos adquieren identidad, B es “labeled” por A al transferirse; y A, a su vez, es el *label* de B. A continuación, insertamos G. Puesto que A ya habría adquirido identidad, sería suficientemente distinta de G; por consiguiente, no necesitaríamos transferir y podríamos añadir un tercer elemento, D. En este punto, necesitamos insertar un borde entre D y G: transferimos G y A, y D permanece como borde de fase. Puesto que las identidades deben ser únicas y excluyentes, la de A se mantiene, G es “labeled” por D, y D a su vez es identificada como el *label* del conjunto transferido G y A.

Boeckx (2014) señala que a despecho de no haber contemplado la binariedad como una restricción, la necesidad de insertar un borde de fase ha dado lugar a una ramificación binaria, lo cual, además, es coherente con la inspiración de la *Anti-identity Avoidance* en la teoría de los *unambiguous paths* de Kayne (1984):

In the present context, it would be legitimate to talk of unambiguous categorization paths. (Boeckx, 2014:77)

Habida cuenta de las configuraciones que etiquetamos: conjuntos de un sólo miembro o de dos como mínimo, podemos distinguir entre fases intransitivas y transitivas. El complemento de las primeras formaría una clase natural postsintácticamente (Boeckx, 2014) de carácter nominal, si consideramos que los nombres, a diferencia de adposiciones y verbos, carecen de especificaciones de estructura argumental y pueden aparecer aislados. El segundo tipo de complementos de fase, transitivo -al que conforme a Boeckx (2014) se reduce cualquier opción supertransitiva-, podría corresponderse, en cambio, a protoadposiciones, que no se mapean con tanta transparencia como los protonombres en los sistemas externos y, una vez incorporadas distinciones morfológicas, devienen postsintácticamente adposiciones, verbos, adjetivos etc.

Para ello, Boeckx (2014) apela a la gramaticalización, cosa razonable a la luz de que en diacronía se habría puesto de manifiesto que la mayoría de categorías, si no todas, pueden rastrearse hasta nombres o adposiciones/verbos sin tiempo. Si las categorías, pues, se construyen

derivacionalmente sobre otras dos más básicas, las distinciones a que estamos acostumbrados los lingüistas no reflejan primitivos computacionales.

En lo tocante a la tensión entre minimismo y cartografía (Rizzi, 1997, Cinque, 1999), problemas de selección, etc. una interesante propuesta de Boeckx (2014) es la de incluir los dominios en que hay material ofensivo para la selección dentro de cláusulas relativas a lo Kayne (1994): el material que interviene fuerza la reproyección del elemento seleccionado. De ello se sigue que entre las categorías que intervienen deberíamos encontrar siempre un elemento de tipo adposicional y que categorías como el determinante, por ejemplo, serían una suerte de pronombre relativo a cuyo especificador, en términos tradicionales, ascendería el nombre.

Si bien hasta el momento hemos sido capaces de explicar el ritmo derivacional de Fase-No fase que refleja la espina clausal (Boeckx, 2014), debemos dar cuenta de especificadores y adjuntos. Unos y otros pueden ser concebidos como estructuras que se adjuntan a dicha espina y causan así estructura de tipo XP-XP problemática, por lo general, para el *labeling*. Boeckx (2014) señala que la inserción de un especificador o adjunto en la parte más baja de la estructura no supone problemas, a la vista de que los dos no-núcleos de fase del complemento están separados por un núcleo de fase:

(2) ...{ Phase head, {Non-Phase Head, Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {{Phase head, {Non-Phase head}}, Non-Phase head }}}} (Boeckx, 2014:112)

Cuando sí parece violarse la antiidentidad es al insertar un adjunto o un especificador en el borde de fase, puesto que nos encontramos con dos elementos adyacentes del mismo tipo transferidos conjuntamente como complemento de la fase siguiente.

Para los adjuntos, la solución de Boeckx (2014) es recurrir a la transferencia: basta insertar un límite de fase entre los dos núcleos, deshacernos con urgencia del adjunto que contiene el segundo núcleo de fase conflictivo, y asegurarnos así de que los elementos iguales acaben en dominios de transferencia distintos. Este razonamiento casa con las ideas de que los adjuntos están en un plano separado y el hecho de que *label* del núcleo de fase al que adjuntamos la estructura se mantenga. Además, esta urgencia por transferir la estructura adjunta puede explicar la opacidad de los adjuntos en los bordes de fase altos en lo relativo a la extracción; sólo los que insertemos lo más abajo posible no deberán ser transferidos de inmediato y serán, pues, más transparentes.

Boeckx (2014) se niega a aplicar la misma explicación a los especificadores, en atención a que los adjuntos son de naturaleza adposicional, mientras que los especificadores, en su mayoría, son de naturaleza nominal. El correlato estructural básico de tal diferencia sería:

(3) especificador:

{Phase head, {Non-Phase head}}

(4) adjunto:

{Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {Non-Phase head}}}

 (Boeckx, 2014:116)

Al insertar adjuntos o especificadores en la espina clausal siempre se genera una estructura en que hay dos núcleos de fase juntos, con una diferencia entre los primeros y los segundos, sin embargo: la estructura del adjunto es idéntica a la cual se inserta, es decir, chocan dos fases transitivas; la estructura de los especificadores, en cambio, es la de una fase intransitiva combinada con una transitiva. Boeckx (2014) defiende que tal distinción podría bastar para los sistemas externos: el núcleo de fase intransitiva de los especificadores sería lo bastante diferente al núcleo de fase transitiva de la espina clausal como para que la transferencia pudiera esperar. Por esta razón, los especificadores están más integrados en la estructura que los adjuntos y, en ocasiones, no son islas. Ahora bien, nótese que en dicho sistema, donde la importancia de la estructura es central, los especificadores de tipo clausal o adposicional deben ser vistos como adjuntos, como reforzarían las islas de sujetos oracionales o las que emergen de argumentos marcados inherentemente por caso e insertados, en consecuencia, dentro de una capa adposicional.

A Boeckx (2014) no se le escapa que esta explicación es insuficiente para casos de especificadores estructuralmente más complejos que Sn y que, no obstante, no son transferidos como adjuntos.

(5) {{{Phase head, {Non-Phase, Phase head, {Non-Phase}}}} Phase head, {Non-Phase head}}

(linear order irrelevant)

{{{p, {P, n, {N}}}} n, {N}}

 (Boeckx, 2014:118)

La solución para estructuras como “a friend of Mary”, por ejemplo, radica en considerar “of Mary” como parte del borde de la fase intransitiva, es decir, como adjunto de “a friend” y no como complemento (Boeckx, 2014). Este adjunto, sin embargo, no necesita transferirse: es una fase transitiva en el borde de una intransitiva y, en consecuencia, los núcleos de fase son suficientemente distintos -de lo que da fe una mayor transparencia para la extracción-.

Otra de las asimetrías que *Merge-a* puede explicar mediante la nueva función de las fases es la que introducen las cadenas formadas por *merge* interno, es decir: el movimiento puede usarse para romper estructuras que en ausencia del mismo fracasarían. Boeckx (2014) argumenta que las

estructuras generadas por *merge* interno tienen mucho en común con las proyecciones tradicionales, lo cual es lógico cuando ambas se han entendido, en principio, como producto de la misma operación -para una elaborada discusión, véase Boeckx (2008)-: tanto las proyecciones como las cadenas son asimétricas, se descomponen en niveles máximo, intermedio y mínimo, etc. El caso es que, al igual que el núcleo de fase en el borde “etiquetaba” su complemento, el núcleo de las cadenas puede asignar un *label* a la *tail* de la cadena o, en términos tradicionales, su copia (Boeckx, 2014).

Esta hipótesis, en apariencia inocente, tiene un potencial explicativo considerable: las cadenas, por desplazar elementos idénticos, necesitan un límite de fase entre huella y huella. He aquí una explicación para la antilocalidad y para por qué no podemos mover complementos de fase enteros:

(6) {a, b}
 {a, phaseboundary {b}}
 !{b a, phase boundary {b}} (Boeckx, 2014:124)

si necesitamos bordes de fase entre elementos idénticos, devolver dos *merge partners* a un mismo dominio -el borde de fase- por medio de *merge* interno crea nuevamente la configuración que obligaba a transferir uno de ellos (Boeckx, 2014). Una explicación complementaria en términos de *labeling* es que: si los núcleos de las cadenas asignan el *label* a la *tail*, mover el complemento de fase al borde genera un *labeling* doble, esto es, el impuesto por el núcleo de fase y el impuesto por sí mismo como núcleo de la cadena.

Tal conflicto de *labelings* explica, además, que sólo podamos desplazar los núcleos de fase: son los únicos cuyo doble *labeling* no impone una etiqueta ambigua o doble.

Si, como acabamos de discutir, todo movimiento debe ser al exterior de la fase, perdemos la forma en que capturábamos hasta el momento la distinción entre movimiento A -dentro del complemento o al borde de la *probe-by-proxy*¹¹- y A' -al borde del núcleo de fase-. Sin embargo, Boeckx (2014) advierte que esta es menos configuracional de lo que se creía: cualquier elemento que desplazemos acabará, antes o después, en el interior de un complemento de fase. Para capturar la distinción el autor recurre a una explicación de la concordancia y la herencia de rasgos, así que sigamos el curso de su reflexión.

Aunque la valuación sea un fenómeno postsintáctico, debemos generar desde la sintaxis la configuración que la hace posible posteriormente (Boeckx, 2014). De acuerdo con la herencia de rasgos, al producirse la transferencia y valuación, el rasgo *unvalued* del núcleo de fase/sonda es

11 Término adoptado de Boeckx (2010b).

heredado por el “nonphase head sitting next to the goal” en el complemento de fase (Boeckx, 2014) -de lo que se sigue que sólo tienen espacio estructural para la concordancia los complementos de fase transitiva-. Entendamos un rasgo *unvalued* como un ítem con un valor y otro elemento vacío de contenido:

$$(7) X_{uF} = \{-F\}, \{+F\} \text{ (Boeckx, 2014:132)}$$

Esta estructura, en *Merge- α* , equivale a un núcleo de fase que selecciona un conjunto vacío, en el sentido de que no puede recibir contenido conceptual¹²: $\{\ \} F$, que recuerda a un núcleo funcional sin *root* a lo morfología distribuida (Boeckx, 2014). El conjunto vacío, pues, no recibe interpretación semántica -sí fonológica-. Entendamos ahora la inserción de esa estructura como un caso de adjunción; las sondas, pues tendrán la siguiente representación:

$$(8) \{\{\text{Phase head } \{\ \}\}, \text{Phase head}, \{\text{Non-Phase head } \dots\}\} \text{ (Boeckx, 2014:134)}$$

Boeckx (2014) advierte que, como adjunto alto que es, esta estructura precisa de transferencia inmediata. Si entendemos que transferir puede ser ensamblar a otro sitio -lo cual tendrá pleno sentido en el modelo de oscilaciones cerebrales del capítulo 6-, podemos explicar la herencia de rasgos como un *remerge* de la estructura con la *probe-by-proxy*. La herencia de rasgos, en fin, no es más que un proceso de readjunción que evita sobrecargar el *workspace* (Boeckx, 2014); una vez readjuntado y transferido, el conjunto vacío de la estructura del rasgo *unvalued* adopta postsintácticamente el valor de la fase intransitiva que mande-c más cercana¹³.

Volvamos, para concluir, a la distinción de movimiento A y A', ahora que conocemos el funcionamiento de la concordancia. La antilocalidad, basada en la antiidentidad, exigía que el *merge* interno cruzara un núcleo de fase; gracias a la herencia de rasgos, la estructura que se adjunta a la *probe-by-proxy* puede ejercer de límite de frase entre el núcleo y la copia de la cadena A. De esta forma, podemos capturar la distinción entre cadenas A y A' según si se dan en el contexto de una configuración de valuación o no, respectivamente (Boeckx, 2014). Aparte, esta hipótesis podría explicar, apunta finalmente el autor, por qué la concordancia genera islas para la subextracción en cadenas A, o por qué siempre que recurrimos al principio de proyección extendido parece jugar cierto papel la concordancia.

12 Según Boeckx, si asumimos que *merge* es *set formation*, tenemos que asumir que puede operar con conjuntos vacíos, lo cual mina más la idea de que sea una operación *triggered*.

13 Para una explicación alternativa sobre clíticos que sí son interpretados, etc. véanse Boeckx (2010b), basado en Roberts (2010), y Boeckx y Martín (2013).

Es, en fin, asombroso el poder explicativo, y notable la cobertura empírica, de la elemental teoría de *Merge- α* ; pero lo que es más importante, a mi juicio, es que abre la posibilidad de traducir la teoría lingüística a una dinámica de las oscilaciones cerebrales bien fundamentada en la neurociencia -eso es lo que pretendo desarrollar en la siguiente parte del proyecto-. El propósito es dejarnos de abstracciones y tomarnos en serio que nuestra teoría sea una más entre las ciencias naturales, poniendo de manifiesto un correlato claro y directo entre los mecanismos sintácticos y los cerebrales.

**Parte II: Traduciendo *Merge- α*
a oscilaciones cerebrales**

5. Paralelismos entre *Merge-a* y los ritmos cerebrales

Si confrontamos las teorías de Boeckx y Buzsáki, saltan a la vista paralelismos que dan sentido a este proyecto. En ambas propuestas, se trata el sistema, ya sea el cerebro o el lenguaje, como un sistema complejo, en que las constricciones y el funcionamiento emergen de forma espontánea de la actividad autoorganizada del mismo. A partir de la interacción de los elementos constituyentes más simples, se obtiene un comportamiento más complejo que el de dichos elementos, entre previsible e imprevisible y que no está predefinido apriorísticamente.

De acuerdo con Buzsáki (2006), la autoorganización es una propiedad esencial del cerebro: la mayor parte de la actividad se genera espontáneamente desde dentro, mientras que los *inputs* se limitan a perturbar los patrones por defecto -véase el capítulo3-. Tal propiedad de *self-cause* es característica de los sistemas complejos,

The term “complex” does not simply mean complicated but implies a nonlinear relationship between constituent components, history dependence, fuzzy boundaries, and the presence of amplifying–damping feedback loops. (Buzsáki, 2006:11)

entre los que se cuenta, por lo tanto, el cerebro -lo cual no significa que sus constituyentes, las neuronas, no puedan ser complejas a su vez-.

En este tipo de sistemas, las perturbaciones sobre un estado de continuo cambio pueden pasar desapercibidas o generar un efecto magnificado. Esto puede ser ejemplificado por la metáfora que Boeckx (2010b, 2014) emplea en relación al lenguaje: pensemos en una montaña de arena a la que vamos añadiendo granos y que, alcanzada una masa crítica, sufre una avalancha. Los granos de arena son casi idénticos, apenas están conectados, y carecen de patrones preespecificados; sin embargo, sumar a la montaña uno crítico puede generar un nuevo comportamiento que no anuncia el grano en sí. Ahora recordemos la teoría de Merge-a -capítulo 4-: un lexicón homogéneo como granos de arena; un *merge* ilimitado como la constante adición de granos; y una avalancha en forma de *transfer* cuando principios físicos -que abordaré en el capítulo 6- se imponen.

The complex whole is the output of simple processes and interactions, rather than the result of complex specifications. (Boeckx, 2014:275)

A este respecto, Buzsáki (2006) señala lo sorprendente de que un sistema se autoorganice, una reacción muy similar a la que Boeckx (2014) achaca el error del preformacionismo. Señala Buzsáki

(2006) que la actividad autoorganizada cuesta de entender, porque parece guiada por una intención u objetivo al margen del entorno, como por una suerte de libre albedrío que dé razón así de la complejidad. Igualmente, señala Boeckx (2014) que, en la tradición generativista, nos sorprendió la complejidad del lenguaje, tanto que creímos necesitar preespecificarla en una intrincada gramática universal a lo *top-down*, de rígidas relaciones, y que metafóricamente venimos asociando a un reloj suizo. No obstante, si atendemos al enfoque multidisciplinar por el que aboga Boeckx, veremos que hay una lección que aprender de la evo-devo y de la física: lo complejo puede emerger de lo simple.

Recoge Boeckx (2014) que ya en biología, ante la aparente complejidad de los organismos, Darwin no pudo más que recurrir a la mano invisible de la selección natural como causante de la misma. Aunque así camufló la concepción de un diseñador -o *watchmaker*, en sentido figurado (Boeckx, 2014)-, mantuvo la impresión de la complejidad, sin poder dar respuesta a la pregunta central del origen de las especies, esto es, al por qué de la forma sobre la que actúa la selección. No fue hasta que Turing profundizó en la morfogénesis, defendiendo que

we must envisage a living organism as a special kind of system to which the general laws of physics and chemistry apply [...y que] certain physical processes are of very general occurrence. (Turing y Wardlaw, 1953, extraído de Boeckx, 2010b:24)

cuando pudimos reconsiderar el diseño mismo, y la complejidad hasta entonces inexplicable. Lo que Turing hizo fue introducir en la teoría lo que en el programa minimista conocemos como principios del tercer factor, para construir la complejidad por medios simples y explicarla de forma genérica, universal y ahistórica (Boeckx, 2014).

Incluso en la física, Buzsáki (2006) señala que los sistemas complejos parecen violar la segunda ley de la termodinámica, yendo en contra del *monotonic increase of entropy*¹⁴. En otras palabras, en lugar de ir de lo organizado a lo desorganizado, del orden a lo desordenado, los sistemas complejos tienden, transitoriamente, a ir de la inestabilidad y el desequilibrio a la estructura, a un estado de mayor organización. Sin estar encarrilados hacia ese estado, los sistemas complejos son muy sensibles a las condiciones iniciales, tanto que, al fluctuar estas, el comportamiento se vuelve impredecible hasta cierto punto. Esto que parece abstracto entronca con lo apuntado arriba: el comportamiento del conjunto va más allá de la suma de las partes, “the emergent order and structure arise from the manifold interactions of the numerous constituents” (Buszaki, 2006:13). ¿Qué puede dar nuevamente sentido a esto? La intervención sutil de principios universales en las

14 Entiéndase como entropía la energía que se desperdicia en cualquier trabajo y no puede ser reutilizada; recuerdo haber leído una imagen de Hawking, en que el universo estaba abocado a ser algo así como una sopa templada en un equilibrio imperturbable. La entropía es cómo el universo va cocinando esa triste receta.

interacciones.

En relación a la interacción entre los constituyentes, Buzsáki (2006) describe la sinergia de los sistemas complejos -que enseguida relacionaremos con las oscilaciones y las fases-: en ellos, los constituyentes compiten; al imponerse unos sobre otros, y emerger por consiguiente un comportamiento nuevo, se limita asimismo el grado de libertad de los constituyentes. Podemos pues, entender la sinergia como un caso de causalidad circular (Buzsáki, 2006), porque al ir de lo local a lo global emergen comportamientos que a su vez constriñen, en la dirección opuesta, la actividad local¹⁵.

Para trasladarnos del atractivo conceptual de esta discusión a nuestras teorías, pensemos primero en el cerebro. Dos constituyentes locales compiten: neuronas excitatorias e interneuronas inhibitorias; en consecuencia, a escala global, emerge la oscilación; esta oscilación, a su vez, regula la descarga de las neuronas de las que emerge. Dejando a un lado, por razones expositivas, que las neuronas sean resonadores naturales, nada en esos constituyentes locales predefinía el comportamiento colectivo. Es a causa de la estructura celular y de principios físicos de aparición muy general, en términos de Turing, que la complejidad emerge.

Ahora pensemos en *Merge- α* : localmente, tenemos precursoras léxicas homogéneas, un *merge* potencialmente ilimitado y unos sistemas externos; al interaccionar estos constituyentes a escala global, emerge cíclicamente la transferencia. La transferencia, a su vez, impone condiciones sobre la combinación de los elementos -tipos de fases-, les da un *labeling* que determinará su destino a otros niveles -como la externalización-, etc. Tampoco hay nada en ninguno de los constituyentes que, sin tener en cuenta el sistema en vivo al completo, invite a pensar en la transferencia -por lo que, en términos lingüísticos, tampoco hay rasgos en los ítems léxicos que la fuercen-. Vuelve a ser a causa de cómo principios generales se imponen sobre la estructura (cerebral/lingüística) que emerge un comportamiento más complejo que el de los constituyentes¹⁶.

Así las cosas, podemos decir que, tanto en *Merge- α* como los ritmos cerebrales necesitamos de un mecanismo que regule una actividad potencialmente ilimitada: en el primer caso, la transferencia para regular *merge*; en el segundo, la oscilación, que obtenemos gracias a la inhibición, para orquestar la excitación. Sin fases cíclicas, los elementos no pueden ser identificados y las estructuras no pueden ser interpretadas por los sistemas externos; sin la inhibición de las oscilaciones, no podemos segregar las señales y cualquier *input* genera una avalancha de actividad

15 Añade Buzsáki (2006) que la capacidad para ser alterado desde afuera, sumando esa influencia a sus principios básicos, hace también del cerebro un sistema complejo adaptativo, capaz de optimizarse para relacionarse con el entorno.

16 Uno puede pensar, de entrada, en la antidentidad de los sistemas externos como en una condición predefinida; no obstante, en el capítulo 6 veremos que esta es una propiedad emergente, y, en consecuencia, es sólo la interacción de los constituyentes la que da lugar a la ciclicidad de la derivación.

sin sentido. Brevemente: fases y oscilaciones porcionan (*chunk*) la información en unidades significativas.

Quede claro que la idea de que las fases y las oscilaciones cerebrales podrían ser las dos caras de la misma moneda no es mía, sino que ya la propone, como muy tarde, Boeckx (2013). Es más, sospecho que el nombre de *Merge- α* de ya Boeckx (2010b) escondía -aparte del homenaje a la libertad de Múevase- α de tiempos pretéritos-, la intuición de que tras las operaciones elementales se encuentra en un lugar prominente el ritmo *alpha*. Téngase asimismo en cuenta que en este capítulo pretendo poner de manifiesto importantes puntos de contacto, pero que no estoy afirmando que la operación de transferencia sea exactamente lo mismo que la inhibición ni que una fase se corresponda exactamente a un ritmo cerebral. Será en el capítulo 6 cuando proponga una implementación propia, inspirada en la obra de Boeckx y Buzsáki.

Lo importante, llegados a este punto, es que sí parece plausible dar con un principio del tercer factor, simple, general y ahistórico, que permita explicar desde la dinámica de las oscilaciones cerebrales propiedades emergentes de los sistemas complejos que son el lenguaje y el cerebro, reforzándose así la idea de que la sintaxis del lenguaje se construye sobre la neuronal. Este es el objetivo del capítulo siguiente, acorde por lo tanto con el objetivo de la biolingüística: aunar disciplinas para ofrecer explicaciones más profundas, veraces y sólidas.

De hecho, Boeckx (2014) afirma que estamos preguntándonos por la autonomía del mosaico (Boeckx, 2012) de elementos y constituyentes de la cognición de alto nivel, y apelamos cada vez más al *descent with modification* en boga en teorías evo-devo. La introducción de principios universales, no modulares, etc. y la simplificación del objeto de estudio prometen ser de ayuda para superar el preformacionismo. Esta práctica viene haciéndose en biología con el genocentrismo, y es el turno de hacerlo en una lingüística más o menos madura con el lexicocentrismo. En esta línea, pretendo explicar a partir de la dinámica cerebral la antiidentidad y las propiedades que se siguen de ella

Sand piles [...] and swiss watches may perform the same function, but depending on which metaphor one chooses, it may lead to irreducible complexity or beyond explanatory adequacy. Since simplicity is the only road to scientific progress (i.e. progress in explanation and understanding), we should favor the model that enables us to built complexity simply, *even if it means leaving out of the explanatory scheme quite a few irreducibly complex phenomena.* (Boeckx, 2014:276, énfasis mío)

aunque deba renunciar a algo de cobertura empírica, al nivel de complejidad histórica que se le superpone a la complejidad emergente y natural (Boeckx, 2014). Tal vez sólo lo último sea el objeto

de la ciencia.

Los paralelismos no acaban aquí. Sobre la posibilidad de que las oscilaciones proporcionen una alternativa al *binding* de los rasgos que integran los objetos en su representación mental, Buzsáki (2006) destaca que esto ofrecería una capacidad de codificación prácticamente infinita para combinar rasgos, que uno está tentado de asociar al aspecto creativo del lenguaje. Asimismo, la posibilidad de que “cross-modality representations can be mapped directly onto each other, using the same format” (Buzsáki, 2006:239) casa a la perfección con la teoría del pensamiento intermodular de Boeckx y Burraco (2014). Sin embargo, puesto que estas y otras consideraciones se tendrán en cuenta en puntos siguientes, la comparación hecha cumple, creo, el propósito y espacio para los que ideé este punto.

6. Un modelo

A pesar de que mi intención es explicar, cuando menos, la teoría de Merge- α esbozada en el capítulo 4 en términos de oscilaciones cerebrales, por razones de tiempo y espacio me veo obligado a ser menos ambicioso. Así pues, he decidido centrarme en la principal restricción a partir de la cual pueden seguirse las demás, a saber: la *Anti-identity Avoidance* postsintáctica; y también en el principal desafío para evitar el preformacionismo, logrando que emerja una distinción a partir de dos elementos idénticos -sintácticamente hablando-, que en Boeckx (2014) se resuelve por medio del *labeling-by-phase*. Para ello, necesito desarrollar primero un modelo que implemente los rudimentos de Merge- α : en el punto 6.1, propondré correlatos cerebrales de los primitivos; luego -punto 6.2-, articularé todas estas piezas, explicando una posible derivación sintáctica desde la perspectiva de los ritmos cerebrales.

6.1 Traduciendo primitivos

Defendimos en el capítulo 2 la importancia de las estructuras subcorticales en el nuevo enfoque al problema de Broca. Adelantaba en el punto 3.1 que los ritmos más relevantes en el procesamiento sintacticosemántico podrían ser los *theta*, *alpha*, *beta* y *gamma*. Por último, vimos en el capítulo 4 que los primitivos indispensables con que opera el lenguaje podrían ser, como material, las *lexical precursor cells*, y, como operaciones, *merge* y *transfer*. Aparte, los sistemas externos necesitaban distinguir categorialmente un mínimo de dos elementos, sobre los que opera la restricción de la antiidentidad. Ello requerirá de un mecanismo de *labeling* cuya explicación, por razones expositivas, postergaré al punto 6.2. Hecha esta salvedad, la propuesta desarrollada a continuación es coherente con todos los requisitos.

6.1.1 *Lexical precursor cells*

Podemos entender que las *lexical precursor cells* de Boeckx (2014) son ensamblajes neuronales oscilando localmente en los lóbulos parietal y frontal, o bien en áreas sensorias altas en la jerarquía del procesamiento, a banda *gamma*. Esta propuesta es coherente con la hipótesis de que las oscilaciones *gamma* proporcionan un mecanismo de *binding* de los rasgos que constituyen los

objetos (Buzsáki, 2006:238),

binding by temporal coherence. [...] spatially distributed cell groups should synchronize their responses when activated by a single object. In this new scheme, connectivity is no longer the main variable; rather, it is the temporal synchrony of neurons, representing the various attributes of the object, that matters. The different stimulus features, embedded in the activity of distributed cell assemblies, can be combined by mutual horizontal links.

como pone de manifiesto asimismo el análisis de Bosman et al. (2014) -punto 3.1.4.1- en que se interpreta esta oscilación como el mecanismo para integrar las propiedades de los estímulos visuales coherentes; y es también acorde con la concepción de las palabras neuronales de la sintaxis neuronal (Buzsáki, 2010) -punto 3.2-. De hecho, experimentos con la memoria de trabajo registran que, al aumentar los ítems retenidos, aumentaba la actividad *gamma* en múltiples sitios distribuidos, sobre todo por encima del córtex prefrontal (Buzsáki, 2006). Por todo ello, parece razonable entender que los conceptos de cuya combinación se deriva la jerarquía sintáctica -a la que se somete la semántica composicionalmente- son implementados por determinada población neuronal oscilando a frecuencia *gamma*.

Nótese que estoy oponiéndome a la tendencia imperante en trabajos sobre la memoria a corto plazo de identificar los ciclos/ensambles individuales que integran el ritmo *gamma* con ítems particulares. A pesar de que esta idea es útil para explicar el límite de retener 7 ± 2 ítems, dar por válida la equivalencia ciclo-ensamble-ítem implicaría echar por tierra la hipótesis del pensamiento intermodular con la que en el capítulo 2 caracterizábamos nuestro fenotipo cognitivo. Si, por el contrario, consideramos que los conceptos que combinamos proceden de diversos módulos esparcidos en la red *higher-order* de regiones principalmente anteriores del cerebro, podemos recoger la propiedad de nuestro lenguaje del pensamiento de trascender los módulos cognitivos (Boeckx, 2010 et. seq).

De acuerdo con Boeckx (2014b), la codificación de los ítems mediante *gamma* y, por lo tanto, bajo un mismo formato, puede ponerlos en pie de igualdad a ojos de la sintaxis, con independencia de cuál sea su origen; en palabras de Buzsáki (2006:239): “cross-modality representations can be mapped directly onto each other, using the same format”. La homogeneidad, pues, que confiere la oscilación *gamma* a los ensambles neuronales en diversas áreas corticales puede favorecer la combinación de representaciones mentales que hasta el surgimiento de nuestra especie habían permanecido aisladas. Es obvio, sin embargo, que este no puede ser el único elemento de la ecuación, sino tal vez un mero requisito previo, dado que las palabras neuronales son esenciales

en la cognición de otras muchas especies.

Otra advertencia relevante es no identificar -a falta de ahondar más en la teoría- los ciclos o ensamblajes neuronales que constituyen las oscilaciones *gamma* con los típicos rasgos que desde la lingüística creemos identificar en las piezas léxicas. Si lo hiciéramos, podríamos considerar que incurrimos en el preformacionismo que tratamos de evitar -cosa que más abajo descarto-. No debe confundirse una *lexical precursor cell* o una palabra neuronal con una palabra en sentido lingüístico: las palabras postsintácticas están sujetas a condiciones de externalización variables, que son posteriores a la formación de los primitivos computacionales y que pueden agrupar -y tratarlas como una unidad a efectos de prosodia, de *merge* interno, etc.- múltiples palabras neuronales. Siguiendo la teoría de Merge- α , toda estructura debe ser generada por la sintaxis neuronal.

Esta discusión abre la puerta a la posibilidad, sobre la que Boeckx (p.c.) llamara mi atención, de que la combinación de rasgos de un mismo módulo se produzca localmente para formar determinado concepto, lo cual estaría al alcance de otras muchas especies y, por supuesto, la nuestra. Habida cuenta de que, en mi modelo, el sistema manipularía el ritmo como una unidad, entiendo que las propiedades de la misma no son accesibles para la sintaxis a una escala igual o menor que la de las letras neuronales -punto 3.2-. Nótese que, en cualquier caso, el *bundling* de rasgos locales se obtiene con un ritmo *gamma* y, en consecuencia, no está definido apriorísticamente -lo cual impide una variación presintáctica que no tiene cabida en las teorías contempladas-. En cualquier caso, este problema potencial lo discutiré más por extenso en el punto 6.4.

De la identificación de las *lexical precursor cells* con representaciones mentales pertenecientes a sistemas de conocimiento centrales diversos se sigue una llamativa falta de especificidad de los ítems léxicos. En otras palabras, estoy asumiendo que la sintaxis manipula directamente representaciones obtenidas a partir de la experiencia del entorno no necesariamente lingüística; de hecho, asumo que dichas representaciones poco deben al aspecto comunicativo del lenguaje. Dicho de otra forma si cabe, el lenguaje trabaja con ítems generales/no específicamente lingüísticos -para la morfología puede ser de utilidad la adición de índices a los que apunta Boeckx (2014)-. Por chocante que pueda ser, creo que sólo esta hipótesis es compatible con el problema de Darwin, pero da pie a otro problema potencial: trazar la delgada línea entre percibir y computar sintácticamente esas representaciones. A grandes trazos: si el sustrato neuronal del concepto PERRO y nuestra representación mental al percibirlo, etc. son lo mismo en áreas *higher-order*, ¿qué marca la diferencia? Para ello recurriré, a grandes rasgos, a la subdivisión entre núcleos talámicos dorsales y ventrales y a las propiedades de *merge* en el punto siguiente.

6.1.2 Merge

Propongo que concibamos *merge* como la sincronización de las palabras neuronales en banda *gamma* descritas arriba mediante un ritmo más lento: en concreto, la oscilación *alpha*. Como vimos en el capítulo 3, el acoplamiento interfrecuencia es un mecanismo de lo más general y explotado en multitud de procesos cognitivos, como la memoria de trabajo, la atención, la consciencia, etc. que, en consonancia con el lenguaje del pensamiento postulado en el capítulo 2, se construyen sobre la misma sintaxis neuronal a partir de la cual explicaremos ahora la del lenguaje. A pesar de que, intuitivamente, prefiera la interacción de tipo fase-fase, por proporcionar momentos de máxima sincronía de los ensambles neuronales distantes -generando un megaensamble, por así decirlo-, mis conocimientos al respecto son insuficientes, por ahora, para aventurar más.

La idea es coherente con la hipótesis del procesamiento activo para la oscilación *alpha* discutida en el punto 3.1.2: al igual que en otros muchos procesos cognitivos el ritmo conecta regiones cerebrales relevantes para la tarea, podría actuar de ensamblador de *lexical precursor cells* a banda *gamma* para el pensamiento intermodular o, lo que es lo mismo, ser el correlato de *merge*.

Un argumento más en pro de *merge* como la sincronización por medio de *alpha* es que introduce en el modelo las estructuras subcorticales, en que tanto hicapié se hizo en el capítulo 2. Conforme a Palva y Palva (2007, 2011), es precisamente el tálamo el principal responsable de sincronizar ritmos *gamma* y *beta*, y de conectar áreas distantes, gracias a la posición central (Boeckx y Burraco, 2014) que ocupa y a que genera el ritmo *alpha* que caracterizamos en el capítulo 3 como lento y global -en virtud de los retrasos en la transmisión axonal y la ampliación de las ventanas críticas de sincronización-. Así, a menos que vaya muy desencaminado, de la combinación de los ítems léxicos del punto anterior con el *merge* como un ritmo *alpha* activo, surge la red fronto-parietal-thalamical que en el nuevo enfoque al problema de Broca se erige en sustrato neuronal del procesamiento sintáctico.

A este respecto, Buzsáki (2006) descarta que el tálamo sea una mera *relay station* como discutimos en los capítulos 2 y 3: presenta muchos más núcleos definidos anatómicamente que tipos de información sensorial; muchos de sus circuitos no tienen que ver con la misma; aunque hay *inputs* del cerebelo y los ganglios basales, la mayoría de aferentes proceden sin embargo del córtex, etc. Hay otra distinción anatómica que es igual de importante:

The bottom-up thalamocortical connections are reciprocated by layer 6 and also from layer 5 corticothalamic connections, according to a cleverly organized plan [...]. The importance of the cortical feedback is best illustrated by the fact that the thalamus is the

only corticofugal target of the layer 6 pyramidal cell population, and these neurons innervate virtually all thalamic nuclei. In contrast, collaterals of layer 5 pyramidal cells, whose fast-conducting main axons are destined for the brainstem, target those thalamic nuclei that do not receive primary sensory or motor information. [investigadores] *call these thalamic divisions “higher order” nuclei, as opposed to the “first-order” nuclei with specific sensory-motor information.* (Buzsáki, 2006:178, énfasis mío)

Es ahora cuando, en consonancia con lo discutido en 6.1.1 y la necesaria distinción entre percibir y computar, podemos apelar a la asociación de un ritmo *alpha* activo con áreas *higher-order*, en oposición a las sensorias, y determinados núcleos talámicos. De acuerdo con Buzsáki (2006), estos aferentes de los núcleos *higher-order* envían proyecciones amplias a muchas áreas corticales y diseminan la información, como refleja una conexión axonal mayor que la de sus *first-order partners*. Si recordamos la importancia que se concedía en el capítulo 2 a los núcleos pulvinar y reticular, y vemos que estos núcleos son justamente dorsales, la hipótesis se muestra consistente con Boeckx y Burraco (2014).

Es por estas razones que quisiera llamar al ritmo *alpha* el ritmo “derivacional”: es el que lleva el peso de la derivación sintáctica, el que mantiene activos los elementos ensamblados antes de enviarlos a los sistemas externos.

6.1.3 Transfer

A mi juicio, podemos concebir la transferencia, *grosso modo*, como un proceso en el que los ritmos que sostienen la representación de las precursoras léxicas a banda *gamma* -más adelante veremos que también pueden oscilar a *beta*- se desincronizan del ritmo derivacional *alpha*, para pasar a acoplarse a otros ritmos sostenidos en otras regiones, correspondientes a los sistemas externos y -de lo que surgirán controversias- un sistema de memoria. Salvando esto último, la idea general está en línea con la concepción lingüística de la transferencia, conforme a la cual los ítems en el complemento de fase abandonan la derivación. La pregunta ahora es, ¿qué nuevos ritmos y áreas cerebrales acogen al complemento de fase?

Tengo la intuición de que el ritmo “postransfer” es el *theta*, y la estructura relevante, el hipocampo. Aparte de que esto vuelve a introducir una estructura subcortical más y es perfectamente compatible con la literatura analizada en el punto 3.1, la idea es atractiva principalmente porque: i) en algún punto necesitamos un sistema de memoria en que almacenar la estructura que vamos generando, ii) el acoplamiento entre el ritmo *alpha* derivacional y el *theta*,

gracias a la progresión logarítmica de 2.17 que Buzsáki (2006) observa entre los ritmos, permite capturar naturalmente la fluctuación entre Fase-Nofase que trataré de hacer evidente en el punto 6.2.

Nótese que, si estoy en lo cierto, el sistema de memoria es requerido postsintácticamente, esto es, para los complementos de fase que son transferidos. Aunque en apariencia inocente, esta hipótesis se opone a la teoría de fases tal y como venimos comprendiéndola: en términos lingüísticos, en lugar de usar la memoria de trabajo durante la derivación sintáctica, estoy confiando en que el ritmo *alpha* derivacional es suficiente para sostenerla y, por el contrario, retengo luego las estructuras generadas para que los sistemas externos puedan aplicar las reglas del proceso de externalización. La idea es: si un conjunto de ensambles neuronales está activo, descargándose cíclicamente -como en la fase actual de determinado punto en la derivación- ¿qué necesidad hay de doblarlo en términos de memoria? Si no la hay entonces, pero sí posteriormente, transferir el complemento de fase deja de suponer que “nos olvidamos de él”, como solemos leer, para suponer que es tras la transferencia cuando pasa a integrarse en la memoria.

Propongo, por consiguiente, que una vez desincronizadas del *alpha* talámico derivacional, y sincronizadas con el *theta* hipocampal de memoria, las *lexical precursor cells* -originalmente frontales y parietales en *gamma*- pasan a estar a disposición de sistemas externos con que conecta el hipocampo. Estos sistemas externos pueden ser las áreas específicas típicas del modelo Broca-Wernicke que en el capítulo 2 restringimos a la externalización del lenguaje. Se dice que estas regiones podrían tener sus propios *buffers* de memoria, pero dada la controversia de estas conjeturas -como en el caso del área de Broca-, prefiero, por ahora, recurrir sólo al hipocampo.

Esto no supone el fin de la sintaxis neuronal -discutido en 3.2-: el hipocampo sostendrá otros ritmos con los sistemas más específicos, aunque con restricciones que abordaremos más adelante. Lo importante en este punto es reparar en la imagen general del sistema: al ensamblar las precursoras léxicas, usamos la red fronto-parietal-talámica; al transferir/desincronizar los ítems del ritmo derivacional y acoplarlos al *theta*, etc. pasan a jugar un papel central el hipocampo y otras regiones más locales que reclutan redes por los lóbulos temporal, parietal también, y puede que occipital -este salto será de utilidad al discutir en el punto 6.3 el paso de la lengua-I a la lengua-E (Chomsky, 1986)-.

Una hipótesis alternativa es aprovechar la dualidad funcional del ritmo *alpha* que explicamos en el punto 3.1.2 para postular que el ritmo *alpha* es asimismo responsable de la transferencia, sólo que en su vertiente inhibitoria según la hipótesis más común de que inhibe, valga la redundancia, regiones irrelevantes para la tarea -en este caso, los ensambles de las precursoras léxicas-. De hecho, en procesos como la atención y el modelo de Dipoppa y Gutkin (2013) al que Boeckx (2014b) hace referencia, la oscilación *alpha* se usa para liberar objetos de la memoria de trabajo.

Otra ventaja conceptual es que el tálamo, contra la intuición inicial que Boeckx (p.c.) me hizo notar, es tan importante en conectar regiones distantes como en regular esa conexión, de lo que puede seguirse que es tan responsable de *merge* como de *transfer*.

No obstante, esto implicaría:

- i) que dejamos de capturar el ritmo Fase-Nofase que obtenemos haciendo el uso de *theta*;
- ii) una contradicción, porque la hipótesis inhibitoria suele asociarse a regiones *low-order*;
- iii) que queda sin resolver el hecho de que la inhibición en sí misma sea un paso incompleto y sigamos necesitando de la conexión con otras regiones, que mi modelo da por sí mismo;
- iv) que el mismo ritmo *alpha* cumple simultáneamente dos funciones distintas, a menos que apelemos a uno en núcleos dorsales, de carácter activo, y a otro en los ventrales, inhibitorio;
- v) y que la conexión entre el *alpha* derivacional y el hipotético *alpha* de la transferencia sería constante, lo cual plantea una comunicación continua poco representativa de lo fluctuante de la derivación.

6.1.4 Distinciones categoriales: núcleos de fase vs no-núcleos de fase

Apuntábamos que para dar cuenta de la principal restricción postsintáctica, la antiidentidad, era necesaria una distinción categorial de elementos obtenida de una asimetría inherente en la dinámica de la transferencia/desincronización de las precursoras *gamma*. A este respecto, tendré en cuenta la nota al pie de Boeckx (2013:473), según la cual las distintas categorías pueden explicarse porque son sostenidas a diferentes ritmos:

constraints like Richards's (2010) Distinctness Condition, which prohibits the presence of more than one lexical unit of the same category within the phase complement, may result from constraints imposed by how many distinct rhythms the brain can couple in particular activities.

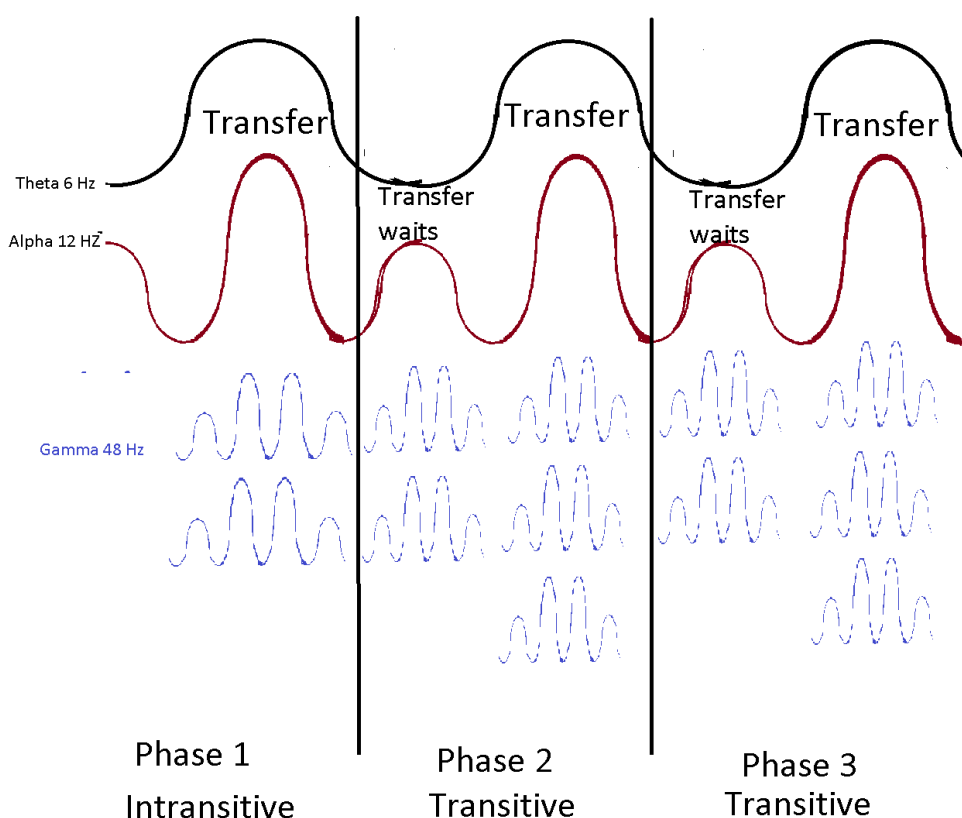
La idea que desarrollaré en el punto siguiente es que los no-núcleos de fase oscilan a banda *gamma* -tal vez a subbandas específicas del ritmo-, mientras que los núcleos de fase oscilan a banda *beta*. Esta distinción podría ser la base de la asimetría que pueden reconocer los sistemas externos y, en consecuencia, de la antiidentidad que se produce en ellos. Para comprender la hipótesis, sin embargo, es mejor explicar un funcionamiento del *labeling*, que resultará más clarificador si avanzamos al punto siguiente y atendemos a la dinámica derivacional en términos de oscilaciones.

Baste por el momento la idea intuitiva de que los núcleos de fase permanecen en el borde de la derivación: siendo así, estos elementos son un conjunto cognitivo que se mantiene, lo cual casa con la hipótesis del ritmo *beta* como sustentador del *status quo* conforme a Engel y Fries (2010) -punto 3.1.3-.

6.2 Uniendo las piezas

Ténganse presentes las hipótesis del punto anterior sobre el correlato neuronal de los primitivos, y obsérvese la figura 1 -las frecuencias son sólo orientativas-.

Figura 1



Visualizándola desde abajo hacia arriba, vemos que las *lexical precursor cells* están representadas por oscilaciones *gamma*, incrustadas y unidas mediante el ritmo derivacional *alpha*. En cada ciclo *alpha*, se produce la sincronización/*merge* de una palabra neuronal -cosa que se hará más visible en la figura 2-¹⁷. El ritmo *alpha* está, a su vez, acoplado al ritmo *theta* -con el cual se

¹⁷ En la primera fase de la derivación, nada nos impide imaginar que el primer ítem se sincroniza individualmente con un primer ciclo del ritmo *alpha*, consiguiéndose así una mayor homogeneidad.

En la primera fase de la derivación nos encontramos con dos elementos sin identificar y necesitamos construir una asimetría mediante transferencia. Al producirse el “ensamble máximo” gracias al acoplamiento de todos los ritmos, una de las oscilaciones *gamma*/precursoras léxicas se desincroniza de *alpha* y es sincronizada con *theta*, esto es, transferida; y la otra oscilación *gamma* permanecerá acoplada al ritmo *alpha* derivacional en el siguiente ciclo -parte de la segunda fase-. Al producirse la transferencia, el complemento de fase es identificado como no-núcleo de fase *N* -protonominal por tratarse de una fase intransitiva-; y el elemento que permanece en el borde, como núcleo de fase *n*.

En la fase 2 de la derivación, en el primer ciclo del ritmo *alpha* derivacional, heredamos el borde de la fase 1, *n*. Tenemos ese elemento ya identificado, se sincroniza una nueva *lexical precursor cell*, y al no haber dos elementos idénticos, la transferencia puede esperar. Esto es lo deseado puesto que el ciclo *theta* no se encuentra receptivo todavía.

En el segundo ciclo *alpha* de la fase 2, se ensambla una nueva palabra neuronal a banda *gamma*, y nos encontramos con tres elementos: uno identificado (*n*), dos sin identificar. Necesitamos construir una asimetría entre estos últimos, para lo cual estamos en el momento adecuado de la transferencia.

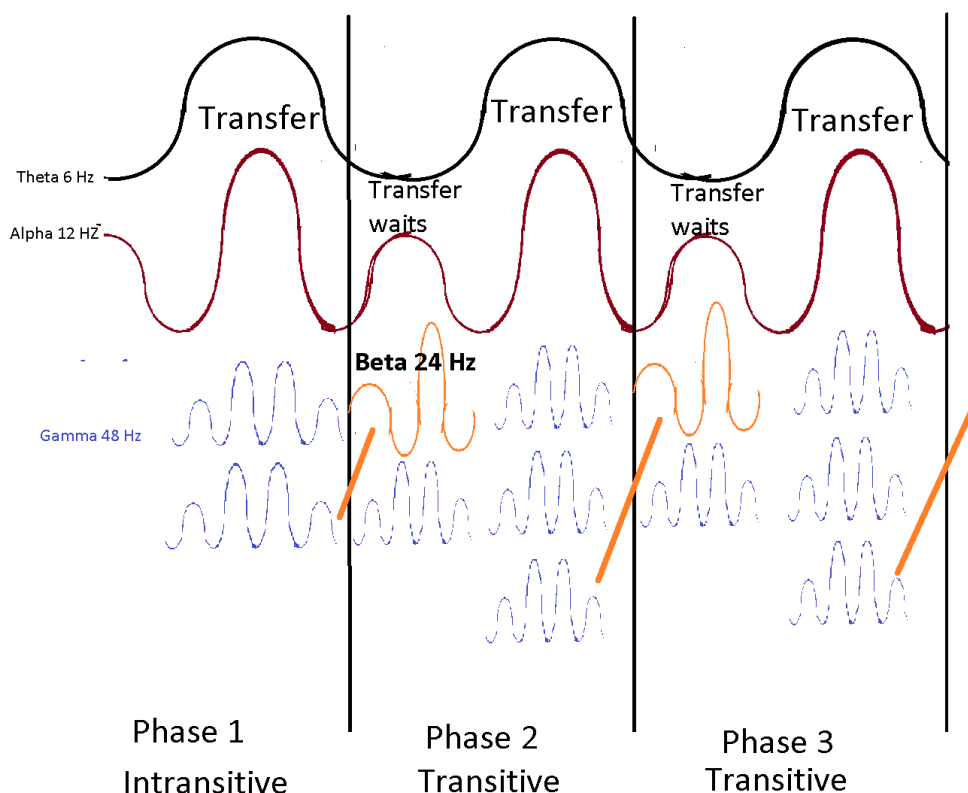
Se transfiere/desincroniza entonces el complemento de fase, que incluye el anterior núcleo de fase (*n*) y una palabra neuronal sin identificar, que se categoriza como no-núcleo de fase *P* -protoadposicional por ser una fase transitiva-. La otra palabra neuronal permanece en el borde, en la derivación, y es identificada como núcleo de fase *p*. Será el elemento al que se ensamble la nueva precursora léxica en la fase 3.

La fase 3 y las siguientes procederán -sin entrar en la inserción de especificadores, etc. desarrollada en el capítulo 7- de la misma manera que la fase 2. Ahora bien, para evitar el preformacionismo, tenemos que afrontar el desafío de construir una asimetría sobre la que distinguir entre categorías a partir de elementos idénticos, es decir: tenemos que obtener una diferencia entre las células precursoras léxicas a banda *gamma* que no sea *ad-hoc*. La pregunta ahora es: ¿existe una asimetría inherente en la dinámica derivacional?

En efecto, vuélvase sobre la figura 2: si nos fijamos en el contraste entre círculos rojos y lilas, nos percataremos de que el borde de fase permanece en la derivación, esto es, sincronizado con *alpha*, mientras que el complemento de fase la abandona para sincronizarse con *theta* y los sistemas externos.

Así las cosas, podemos explotar esta asimetría para construir la distinción categorial entre no-núcleo de fase y núcleo de fase que en el punto 6.1.4 asociamos, respectivamente, con oscilaciones *gamma* y *beta* -figura3-.

Figura 3



Ahora bien, ¿qué entendemos por *labeling*? ¿Por qué uno de los ritmos *gamma* habría de ralentizarse y convertirse en *beta*? Mi hipótesis es que, para obtener el *label*, la población que representa el ítem léxico debe incorporar información nueva, lo cual, desde la perspectiva del cerebro, no puede significar otra cosa que reclutar una nueva población neuronal. Al ampliar, en consecuencia, el ensamble neuronal del ítem léxico, si dicha población categorizadora se encuentra demasiado lejos, se necesitará de una oscilación más lenta para poder sincronizar la descarga de una región mayor. Esto invita a pensar que no sólo los núcleos de fase se ralentizan hasta *beta*, sino que en el caso de no-núcleos de fase podríamos pasar de *gamma* en banda media a *gamma* lenta, por ejemplo.

En cualquier caso, ¿por qué *beta*? Si recordamos la hipótesis de la función del ritmo *beta* del punto 3.1.3, parecerá razonable entender que el borde de fase, la población que representa una de las precursoras léxicas y que permanece anclada al ritmo *alpha* derivacional, es un conjunto cognitivo que estamos manteniendo. Es decir, al conservar el núcleo/borde de fase en la derivación, lo que hacemos es, de alguna forma, mantener el *status quo*. Si, conforme a Engel y Fries (2010), esa es la función del ritmo *beta*, la especulación empieza a tener visos de plausibilidad. Si, además, se comprueba que los núcleos de fase reclutan una población neuronal mayor, pueden explotarse paralelismos con la observación en neurolingüística de que los nombres son más locales que las

preposiciones, como Boeckx (p.c) me ha sugerido. Así, podemos empezar a explicar por qué los complementos de fase siempre contienen dos categorías distintas. El siguiente paso, ahora que podemos explicar más o menos la creación de la asimetría de forma no predefinida, es explicar la constricción de la antiidentidad.

6.3 Un sistema incapaz de sostener múltiples ritmos en la misma banda. De lo global a lo local

Si volvemos sobre las figuras 1-3, veremos que se han diseñado, en apariencia, para que casen con los hechos, esto es: he sincronizado deliberadamente un máximo de dos ritmos/palabras neuronales con el primer ciclo *alpha*, y al sumarse un elemento en el segundo ciclo, he forzado la transferencia. Ahora bien, se tiene constancia de que, en el caso del hipocampo, por ejemplo, el ritmo *theta* puede modular múltiples ritmos *gamma*. Por lo tanto, tengo que dar una razón por la que los sistemas externos no pueden lidiar con más de un ritmo *gamma* ni más de uno *beta*, si pretendo explicar a partir de la dinámica cerebral la constricción de la antiidentidad y el resto de propiedades que se siguen de ella.

Al reflexionar sobre el asunto en cuestión, me percaté de que la pregunta esencial podía ser qué tipo de sistema es incapaz de sostener múltiples ritmos en la misma banda. La primera respuesta fue: una sola neurona, capaz de resonar a múltiples frecuencias, pero no de sostener simultáneamente varios ritmos en una misma banda. Es evidente que los sistemas externos no están constituidos por una sola célula, pero sí que el núcleo de la idea es correcto: la localidad. Pensemos ahora en un pequeño grupo de neuronas interconectadas: a la que oscilen, será inevitable que se sincronicen. Por consiguiente, si dos células -simplifico por razones expositivas- empiezan a oscilar en *gamma*, el ritmo reclutará y sincronizará enseguida la población al completo, y la oscilación acabará siendo una sola. Si paralelamente, en virtud de las múltiples propiedades resonadoras de las neuronas (Buzsáki, 2006), parte de la población genera un ritmo *beta*, se dará igualmente la sincronía.

Lo que ocurre en nuestra pequeña región, por lo tanto, es que no hay lugar, por ser demasiado local, a más de un ritmo en la misma banda; en términos lingüísticos o un tanto abstractos, no se toleran ambigüedades en las oscilaciones, porque toda oscilación acaba sincronizando la población. Así las cosas, la región local es incapaz de sostener al mismo tiempo más de una oscilación *gamma* y más de una oscilación *beta*. ¿Son los sistemas externos así de simples? Por supuesto que no, pero

a pesar de la complejidad estructural y de un número de neuronas que puede alcanzar los millones, puede que sigan siendo demasiado locales, demasiado pequeños, para evitar la sincronización de las oscilaciones en determinada banda.

Si esta intuición es correcta, y si, como defendía en 6.1.4, el cerebro distingue las categorías en función de los ritmos a los que oscila el ensamble neuronal -*beta* para núcleos de fase, *gamma* para los no-núcleos de fase-, lo que parecía arbitrario en las figuras 1-3 -esto es, el máximo de un ciclo *beta* y un ciclo *gamma* en el complemento de fase- está del todo fundamentado. Dicho de otro modo, podemos explicar la antiidentidad en términos de oscilaciones cerebrales: regiones locales de los sistemas externos, como subregiones del área de Broca, pongamos por caso, se sincronizan inevitablemente para ritmos en la misma banda. Al no poder sostener más de uno *beta* y otro *gamma*, no pueden operar al mismo tiempo con más de un elemento de la misma categoría. Si esta explicación de la antiidentidad está bien encaminada, y no he estipulado el mecanismo de *labeling* propuesto en el punto 6.2, cabe pensar que es posible explicar, una vez desarrollado este tentativo modelo, la teoría de *Merge- α* y, en consecuencia, explicar lo más elemental de la facultad del lenguaje¹⁸ desde una perspectiva mecanicista y que descansa sólidamente sobre la estructura y la dinámica cerebrales -por ambicioso y prematuro que sea por ahora el proyecto-.

Antes de entrar en cómo explicar algunas propiedades lingüísticas según esta teoría -capítulo 7-, cabe plantearse si realmente estamos moviéndonos de lo global a lo local tras la transferencia/desincronización de los ítems léxicos del ritmo derivacional. En efecto, esto tiene sentido, y puede reflejar otras distinciones teóricas. Si, de acuerdo con lo explicado en el capítulo 2, el componente sintáctico del lenguaje recluta la red fronto-parietal-talámica, y la externalización, por el contrario, las redes del modelo Broca-Wernicke, la transferencia supone de hecho que pasamos de usar el cerebro a escala global en el componente sintáctico a operar con áreas más específicas y de menor extensión postsintácticamente.

Llegados a este punto, las fronteras entre lo sintáctico y lo postsintáctico se diluyen: estamos recurriendo a los mismos mecanismos, a la misma sintaxis neuronal, para transferir los elementos, desincronizándolos del ritmo *alpha* derivacional, sincronizándolos al *theta* del hipocampo y los sistemas externos, sobre los que operan las mismas constricciones anatómicas, y que en efecto

18 Podemos resumir lo elemental del lenguaje en que el potencial combinatorio virtualmente ilimitado está constreñido por las asimetrías requeridas por los sistemas externos, que necesitan de una distinción mínima y máxima de dos tipos de elementos. El mecanismo para identificarlos y evitar así pares idénticos en determinados dominios -como refleja la antiidentidad- se basa en una asimetría temporal en la transferencia, que obliga a la derivación i) a proceder de forma binaria, ii) a hacerlo cíclicamente conforme a un ritmo de fase-nofase, y iii) a generar asimismo una jerarquía estructural que asociamos a la proyección -y en el capítulo siguiente explicaré mediante la sincronización de ritmos para la relación núcleo especificador-. A tales condiciones, que acaban dotando el sistema de un carácter fuertemente local, están sujetos postsintácticamente el movimiento, la valuación de rasgos, la semántica, la prosodia, la realización morfológica, etc.

explican el porqué del máximo de una oscilación *beta*/núcleo de fase y una oscilación *gamma*/no-núcleo de fase. En síntesis: hay sintaxis postsintácticamente, sólo que más local. La sintaxis postransferencia es la misma, pero incapaz de explotar todo el potencial que ofrecen las oscilaciones cuando se reclutan áreas más amplias y cuando juega un papel central el tálamo.

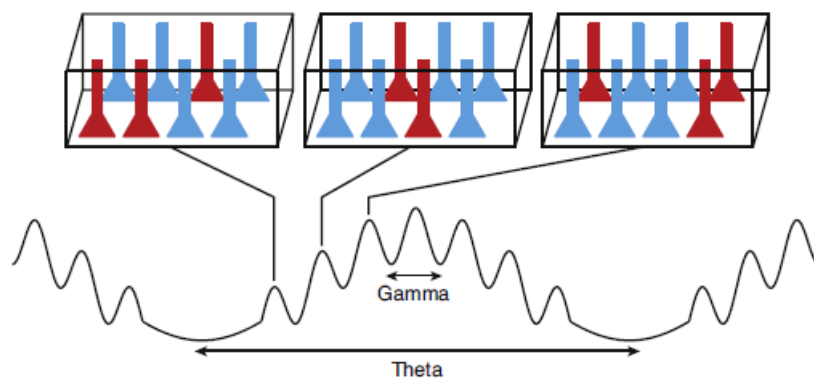
Lo más productivo conceptualmente de esta idea es la observación que me hizo Boeckx (p.c) al respecto: una es la sintaxis de la lengua interna, la otra es la sintaxis de la lengua externa. Por lo tanto, lo que reflejan los círculos rojos de la figura 2 es la distinción teórica entre el lengua-I y lengua-E de Chomsky (1986), el salto de la sintaxis a la morfología, de la sintaxis/semántica a la externalización, del pensamiento intermodular a lo lingüísticamente específico. Estas distinciones han estado fundamentadas teóricamente desde hace decenios, pero si el modelo es correcto, hace evidente algo que cabe esperar desde la perspectiva del cerebro: la sintaxis neuronal, los mecanismos que subyacen a la sintaxis/semántica en oposición a la externalización, son los mismos. Es sólo que, debido a un cambio de regiones globales a otras locales y a una implicación menor del tálamo, podemos sacar menos partido del sistema.

6.4 Un problema potencial y el *binding* local

Un problema potencial a esta teoría que Boeckx (p.c.) me señaló, como insinuamos en 6.1.1, son las evidencias de que localmente se pueden representar múltiples ítems, como es el caso del caso del hipocampo y secuencias, por ejemplo, de números. Las aparentes contradicciones son dos: (1) se pueden sostener localmente varios ítems en un ritmo *gamma* en una misma estructura local; (2) los ítems pueden ser representados por ciclos *gamma* individuales, sin necesitar de una oscilación al completo.

Lisman (2010) sintetiza la interacción entre ciclos *theta* y *gamma* en el hipocampo durante la memoria de trabajo, que se distingue de la memoria a largo plazo en que está mucho más limitada y no parece depender tanto del fortalecimiento de las sinapsis -para una explicación más detallada de la formación de la memoria mediante mecanismos exaptados de la navegación, véase el punto 3.1.1-. Para representar los objetos, los ensamblajes neuronales que constituyen ciclos *gamma* se descargan continuamente en fases puntuales del ciclo *theta* en que se incrustan.

Figura 4 (extraída de Lisman, 2010)



En la figura 4, cada ensamble asociado a un ciclo *gamma* representa un ítem. Así pues, dentro del ciclo *theta* se organizan los *gamma* de tal forma que podemos segregar hasta 7 ± 2 ítems de forma ordenada incluso, ocupando cada “recuerdo” una fase particular del ciclo *theta*: “memory capacity is limited by the number of gamma cycles within the theta cycle” (Lisman, 2010).

Con todo, creo que esta teoría no contradice mi modelo, sino que refuerza algo complementario que apuntamos en 6.1.1: es posible el *binding* de rasgos a nivel local mediante *gamma*, por ejemplo en los módulos que compartimos con otras especies. Esta capacidad no refuta el modelo postulado -ni abre la puerta al preformacionismo por seguir recurriéndose a oscilaciones- porque es incapaz de reflejar el principal atributo del fenotipo cognitivo humano tal y como lo caracterizamos en el capítulo 2: el pensamiento intermodular, que precisa de ondas más lentas y seguramente de tratar los ciclos *gamma* como unidades según especulaba en el punto 6.1.1. Aun en el supuesto de que el mecanismo de la memoria de trabajo sea completamente correcto, no basta para explicar la sintaxis humana.

Aparte, debemos tener en cuenta las diferencias estructurales entre el hipocampo y los sistemas externos corticales: de acuerdo con Buzsáki (2006), el circuito del hipocampo se caracteriza por establecer conexiones aleatorias a largas distancias, que permiten conectar dos células cualesquiera mediante tan sólo dos sinapsis; por el contrario, los circuitos corticales son predominantemente locales con escasas conexiones largas, tal y como describimos al comienzo del capítulo 3. También son diferentes, por lo tanto, las células que forman cada estructura. En consecuencia, puede que no operen las mismas constricciones en cada uno de los sistemas. Incluso si el hipocampo pudiera sostener múltiples ritmos *gamma* simultáneos, de lo cual no tengo constancia por ahora, podríamos argumentar que es una región mayor que la de los sistemas externos. Ahora bien, admito que este caso hipotético sí supondría una amenaza al modelo.

A pesar del diálogo entre el hipocampo y el córtex que permite la creación y consolidación de la

memoria, tampoco creo que podamos equiparar el sustrato neuronal de los conceptos representados en el hipocampo con el sustrato cortical, probablemente mucho más rico. Mi modelo trabaja con ensambles neuronales en los córtex frontal y parietal, y su constitución puede ser, por ende, distinta. Además, los conceptos que forman las *lexical precursor cells* pertenecen a la memoria a largo plazo, con lo cual puede que sigan sin ser del todo equiparables.

Es más, tampoco recorro al hipocampo para establecer conexiones entre los ítems, sino al tálamo. Podría ser un modelo mal diseñado de cabo a rabo, pero hasta que no lo haya corroborado, la existencia de alternativas como un *merge* por *gamma* incrustada en el *theta* hipocampal no tienen fuerza para echarlo abajo, sino para motivar una investigación más profunda.

7. Ampliando el modelo: especificadores, adjuntos, y un poco de datos

Recordemos que, según Boeckx (2014), la principal restricción postsintáctica es que los sistemas externos no toleran elementos categorialmente idénticos en el mismo complemento de fase. Este es un fenómeno que Richards (2010) analiza exhaustivamente. Sin entrar aquí a discutir la explicación que ofrece de esta condición de *distinctness* -según la cual la derivación fracasaría si intentáramos linearizar una estructura $\langle \alpha, \alpha \rangle$ donde los elementos se encuentran en el mismo dominio de *spellout*, en una relación de mando-c asimétrico y tienen el mismo *label*-, Richards (2010) ofrece ejemplos ilustrativos con que aproximar mi propuesta esencialmente teórica a los datos al uso -sobre cómo ponerla a prueba empíricamente, véase el punto 8.1-.

De entre ellos, he seleccionado varios candidatos a mostrar una restricción de antiidentidad en: (i) la coexistencia de argumentos de estructura similar en el interior del SD (1); (ii) la necesidad de un marcador para el argumento externo en causativas donde el verbo de la subordinada es transitivo (2); (iii) la coexistencia de verbos en determinadas estructuras, donde, por ejemplo, es imposible pasivizar sin incurrir en agramaticalidad (3-4); (iv) secuencias inaceptables de infinitivos (5), que en opinión del autor que las propone son gramaticales en español pero que a mi juicio chirrian bastante (5b); (v) el marcado diferencial de objeto (6), donde disiento una vez más en la consideración de (6c), que me resulta agramatical; (vi) subordinadas relativas en que no media un elemento de naturaleza adposicional entre el antecedente y el relativo (7); (vii) argumentos nominales carentes asimismo del elemento adposicional (8), etc. A esta lista podemos añadir el ejemplo aportado por Boeckx (2010b) para las copulativas en que ningún SD asciende (9) -extraído a su vez de Moro (2000, 2007)-: ¹⁹

- (1) *L'afusellament de l'escamot d'en Ferrer Guardia.
- (2) a. Elena fa lavorare Gianni. (Italiano)
b. Elena fa riparare la macchina a Gianni.
- (3) a. We saw John leave. (Inglés)
b. *John was seen leave.
- (4) *It's continuing raining. (Inglés)
- (5) a. *Paolo potrebbe sembrare dormire tranquillamente (Italiano)

¹⁹ Parte de los ejemplos extraídos de Richards (2010) se han obtenido, a su vez, de otros trabajos como Picallo (1991), Guasti (1997), Torrego (1998), Rodríguez-Mondoñedo (2007), etc. En los casos en que disiento del juicio de gramaticalidad, indico el mío, con el que coincide Francesc Roca, entre corchetes.

- b. [*] Pablo pudo parecer dormir tranquilamente.²⁰
- (6) a. Describieron un maestro de Zen al papa.
 b. *Describieron a un maestro de Zen al papa.
 c. [*] ??Juan presentó a María a Pedro.
- (7) a. L'homme avec qui j'ai danse'. (Francés)
 b. *L'homme qui je connais.
 c. L'homme que je connais.²¹
- (8) a. They destroyed the city. (Inglés)
 b. *The destruction the city.
- (9) a. *Sono molte foto del muro la causa della rivolta. (Italiano)
 b. Molte foto del muro sono la causa della rivolta.

Los datos previos no escapan, sin embargo, a contraejemplos que cuestionan su legitimidad. Francesc Roca (p.c) ha llamado mi atención sobre estructuras donde coexisten con el SD dos SP con *de* (10); donde se permiten infinitivos sucesivos para casos de control (11a), bien que no de elevación (11b), a pesar de la posibilidad de tener uno (11c) o incluso varios (11d) verbos modales -lo cual invita a descartar una explicación en términos estrictos de elevación (Francesc Roca, p.c.); y donde nos encontramos con la adyacencia de SDs en copulativas (12):

- (10) El retrato de Goya del Museo del Prado.
- (11) a. Querer dormir plácidamente no debería ser una quimera.
 b. *Parecer dormir plácidamente no debería ser una quimera.
 c. Poder dormir plácidamente no debería ser una quimera.

20 Roca me hizo notar que la traducción de *potrebbe* -pese al ejemplo de Richards (2010)- no es *pudo*, sino *podría*; y que al usar esta forma verbal la frase, lejos de ser perfecta, resultaba ligeramente más aceptable.

*/? Pablo podría parece dormir tranquilamente.

21 Estoy dando por sentado que la naturaleza de *que* y *qui* (*que* y *quien* en español) es esencialmente distinta: concíbase el primero como un núcleo de fase protoadposicional, y el segundo, en cambio, un núcleo de fase protoadnominal, distinción que debería bastar para los sistemas externos. De hecho, Roca me ha señalado que Kayne apeló a una distinción estructural basada en el rasgo [+hum] para diferenciar *que* de *qui* (*que* + [+hum]), ejemplificada en las siguientes frases del catalán:

Aquells qui/que més m'estimo...
 Només retrataré els qui/que més m'estimo. (Francesc Roca, p.c.)

donde *qui* fuerza a interpretar el referente como [+hum], mientras que *que* admite ambas lecturas [± hum]. Otros argumentos en pro del carácter protonominal de *quien* y protoadposicional de *que* son: por un lado, que el rasgo [+hum] es propio de elementos protonominales; y, por otro, el hecho de que en español la flexión en número posible para *quien* no puede realizarse en el caso de *que* -obligando entonces a recurrir a determinantes para expresarla- (Francesc Roca, p.c.)

d. Juan debe poder estar presente en la deliberación.

(12) Son la causa de la revuelta muchas fotos del muro. (Francesc Roca, p.c.)

Para (10), defendería que el agente o argumento de relación semántica más estrecha sea analizado como especificador -para lo que propondré un proceso en términos de sincronización de oscilaciones más abajo-, mientras que el resto, como locativos o poseedores, sean tratados cual adjuntos, de tal forma que se transfieran aparte y no coincidan con otro núcleo protoadposicional en el complemento de fase.

La oposición entre la gramaticalidad de una sucesión de verbos para los casos de control (11a) frente a la agramaticalidad que presentan los casos de elevación (11b) podría explicarse tentativamente si entendemos que: los verbos de control llevan asociada una estructura más compleja, siendo núcleos de fases combinados con otros no-núcleos, tal vez como el clásico PRO, que permiten respetar el ritmo fase-nofase; y, por el contrario, los verbos de elevación constituyen no-núcleos de fase que, en consecuencia, no pueden ser el último elemento que ensamblamos, como podría estar poniendo de manifiesto la necesidad de traslados²². Por otro lado, casos como (11c) y (11d) parecen de resolución más complicada: sé que las secuencias de modales se han analizado, junto con el verbo principal, como un conglomerado, esto es, una sola unidad/núcleo de fase. No obstante, esta es una hipótesis que no cuadra con la teoría de fases que doy por buena en el proyecto, y el lector convendrá conmigo en que ponerse a postular elementos nulos fonéticamente, *merge* interno, etc. equivaldría a poco más que correr una cortina de humo.

Finalmente, de (12) quisiera destacar que la interpretación semántica y prosódica son más bien marcadas, cosa que sugiere la activación de capas adicionales del SC, como el SFoco, así como a movimientos sobre el orden de constituyentes de base, en la línea que Roca (p.c.) especulaba. Esta solución casa, en efecto, con el *merge* interno al que se echa mano en italiano para salvar estructuras como la (9), con la que (12) parecía entrar en conflicto debido solamente al orden lineal resultante. En cualquier caso, el principal objetivo que me mueve a presentar *candidatos* a la antidentidad es ejemplificar que se trata de un fenómeno que plaga el lenguaje y tiene, por ende, sentido el considerarla una constricción esencial. Queda fuera de mi intención, tiempo, etc. corroborar que las construcciones que ofrece, entre otros, Richards (2010), sean efectivamente las idóneas, por más atractivas que sean las observaciones de Roca (p.c), a las que no hago justicia en el poco espacio de la reflexión precedente.

22 Podría ser que justamente los rasgos *unvalued*, analizados en el capítulo 4 como núcleos de fase que se ensamblan primeramente a un conjunto vacío, y finalmente a un no-núcleo de fase (Boeckx, 2014), fueran el núcleo de fase cuyo borde necesitamos en este tipo de estructuras para habilitar el traslado y, sobre todo, cerrar la derivación, en un caso más del fenómeno que nombramos EPP y del que poco entendemos. Desafortunadamente, debo aplazar el desarrollo de la cuestión a trabajos futuros.

Aparcándolas, pues, para el futuro, la idea es que si mi propuesta va bien encaminada, todas las estructuras de arriba en que ambos elementos se encuentren dentro de un mismo complemento de fase podrían explicarse -hipótesis desarrollada en el capítulo 6- porque diferentes categorías oscilan a diferentes ritmos, en función de los cuales se distinguen. En concreto, los núcleos de fase oscilarían a *beta*, y los no-núcleos de fase, a *gamma*. Debido a que los sistemas externos son demasiado locales, no pueden sostener múltiples ritmos en la misma banda sin sincronizarse. En consecuencia, interpretarían/sincronizarían múltiples elementos con la misma categoría/banda ambiguamente, esto es, los tratarían como un único elemento.

Ahora bien, nótese que la antiidentidad en los casos de arriba se da entre diferentes tipos de núcleos de fase: protonominales -terminología propia de Boeckx (2010b)- como en (9.a), y protoadposicionales como en (1). Es más, en casos donde nos encontramos con dos núcleos de fase protonominales, la manera de evitar el fracaso derivacional es insertar un núcleo de fase protoadposicional, verbigracia, en (2.b) -cosa que podemos conseguir también mediante *merge* interno como en (9.b)-²³. Para mayor desafío al modelo, esta coexistencia de un núcleo de fase protonominal y otro protoadposicional en un mismo complemento de fase es mucho más general de lo que a simple vista muestran los ejemplos, puesto que es la que se da en los especificadores.

En el capítulo 4 los analizamos como fases intransitivas en origen, $\{Phase\ head, \{Non-Phase\ head\}\}$ (Boeckx, 2014), en cuyo borde teníamos la opción de “adjuntar” fases transitivas como complementos del nombre. De hecho, la naturaleza protonominal de los especificadores insertados en el borde de núcleos de fase protoadposicionales -salvo en el caso recién señalado de “adjunción” de complementos del nombre-, puede ser, en palabras de Roca (p.c.), “un requisito de antiidentidad muy fuerte”. En efecto, esto es lo que refleja la observación que me hizo de que ningún especificador es categorialmente igual que el núcleo del sintagma en que se inserta, como se evidencia en los clásicos ST, SC, SP o SD. La razón de fondo, de acuerdo con *Merge- α* , es que los especificadores son, podríamos decir, iguales y opuestos a un tiempo al núcleo del sintagma: unos y otros son núcleos de fase, pero los primeros, de una intransitiva, y los segundos, de una transitiva -cuando ambos elementos son núcleos de fase transitiva, emerge la adjunción-. Es por ello que los “sabores” morfológicos que sobrepongamos a los especificadores y núcleos nunca coincidirán.

Se analizó, asimismo en el capítulo 4, el caso de inserción de este núcleo de fase intransitiva(/especificador) en la posición inferior de la estructura y se afirmó que no comportaba ningún problema, como enseguida comprobaremos. Fíjese el lector en (13): el orden lineal es irrelevante; marco así el complemento de fase transferido y subrayo la fase intransitiva insertada; y uso la notación característica de Boeckx (2014) (13a), otra más tradicional a la que recurre el

²³ La sintaxis, sin embargo, no es a prueba de fallos si Boeckx está en lo cierto.

mismo autor (13b) y otra con oscilaciones acorde a mi modelo (13c), donde γ representa oscilación *gamma*, y β , *beta*.

(13) a. ...{ Phase head, {Non-Phase Head, Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {{Phase head, {Non-Phase head}}}, Non-Phase head } } } } (Boeckx, 2014, marcado mío)

b. ...{ p, {P, p, {P, n, {{n, {N}}, N } } } }

c. ...{ β , { γ , β , { γ , β , {{ β , $\{\gamma\}$, γ } } } }

Es crucial notar que el complemento de fase del “pseudoespecificador” ha sido transferido en un estadio derivacional previo. Por lo tanto, se respeta la binariedad y los sistemas externos en (13) están siendo sincronizados con sólo dos oscilaciones: una *beta*, que es el borde de fase del pseudoespecificador, y una *gamma*, que es el primer elemento con que se ensambló la *lexical precursor cell* que devendrá el núcleo de fase del presente ciclo. Para que sea más visible que no está violándose la antiidentidad con los no-núcleos de fase: cuando hablo de un elemento que ha sido transferido en la fase anterior, hago referencia al siguiente que tacho: {{ β , ~~$\{\gamma\}$~~ , γ }.

No obstante, este no es el caso de lo que entendemos configuracionalmente como un especificador: por definición, se inserta en el borde de fase, en una posición más elevada en la jerarquía, y donde va a tener de compañero, por lo tanto, un núcleo de fase.

(14) a. ...{ Phase head, {Non-Phase Head, Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {{Phase head, {Non-Phase head}}}, Non-Phase Head, Phase-head ... } } } } (orden lineal irrelevante)²⁴

b. ...{ p, {P, p, {P, p, {{n, {N}}, P, p ... } } } }

c. ...{ β , { γ , β , { γ , β , {{ β , $\{\gamma\}$, γ , β ... } } } }

Vuelva a notarse que, como arriba, el complemento de fase del especificador ya ha sido transferido: {{ β , ~~$\{\gamma\}$~~ , γ , β ...}. Aun así, en (14) sí nos topamos con un problema: los sistemas externos tratarían de sincronizarse con dos ritmos *betas*, núcleos de fase *-n* y *p-*, y uno *gamma*, no núcleo de fase *-P-*. Sin embargo, si mi explicación del *labeling*, las categorías y la antiidentidad va en la dirección correcta, esto parece imposible a menos que introduzcamos una nueva distinción categorial -u otro desarrollo-: cuando los sistemas externos trataran de sincronizarse con dos *betas*, debido a ser demasiado locales, no podrían evitar que los dos ritmos se acoplaran e identificar, por consiguiente, los dos elementos núcleos de fase como uno solo -en términos lingüísticos, se

24 Más abajo explicaré por qué el orden lineal podría ser del todo irrelevante en mi modelo; solicito hasta entonces un voto de confianza.

produciría una ambigüedad derivacionalmente letal-

Y no es precisamente que esta estructura -aparte de recurrir a la adjunción que se analizará más abajo- sea una forma excepcional de dar cuenta de ciertos casos seleccionados principalmente de Richards (2010) aparentemente conflictivos con mi modelo (1-9), sino que es extremadamente común, como se evidencia si traducimos (14) a una notación clásica en que consideremos que el especificador es un sujeto de, por ejemplo, una oración subordinada

- (15) a. ...{ C, {T, v, {V, C, {{n, {N}}, T, v ...}}}} o lo que es lo mismo
b. ...{ C, {T, v, {V, C, {T, n, {N}}, v ...}}}} (orden estándar entre el sujeto y T)²⁵

o si, por ejemplo, le sobreponemos la construcción de doble objeto del español de 6.a, analizada en la línea de Romero (2010), de forma que el verbo selecciona la preposición, cuyo complemento es el objeto indirecto y cuyo especificador es el objeto directo:

- (16) a. {C, {T, v, {{n, {N}}, V, P {n, {N}}}} o lo que es lo mismo
b. {C, {T, v, {V, n, {N}}, P {n, {N}}}}
c. {C, {-eron, -ir, {describ, un, {maestro}}, a {el, {papa}}}} (aproximadamente)²⁶

Nótese que aquí el complemento de fase de la preposición y el del especificador ya habrían sido transferidos: { V, n, {N}}, P {n, {N}}.

En definitiva, los sistemas externos *parecen* ser capaces, por lo menos, de diferenciar y explotar tres categorías: núcleos de fase pronominales, núcleos de fase protoadposicionales, y no-núcleos de fase. Es lógico que hagan asimismo una distinción entre no-núcleos de fase de naturaleza pronominal frente a adposicional; sin embargo, dado que la combinación {P, N} es imposible de obtener -ni siquiera por *merge* interno-, relegaré este asunto por ahora.

El reto radica, pues, en que una tercera categoría o una forma alternativa de integrar un tercer ritmo emerjan del sistema respetando la lógica del modelo. De entrada, uno piensa en tres mecanismos potenciales: i) la introducción de nuevas oscilaciones; ii) el *phase coding*, al estilo de la interacción entre ritmos *theta* en el hipocampo -punto 3.1.1-; y iii) la memoria derivacional.

La primera opción es la más cómoda: como ya he apuntado tímidamente, disponemos de subbandas *gamma* a las que se llegan a asignar funciones dispares (Buzsáki y Wang, 2012, Bosman

25 No se considere que el sujeto en (12.a) está en el especificador de T. Ello requeriría introducir los rasgos *unvalued*, que complicarían bastante la estructura y cuya explicación postergo a trabajos futuros.

26 Evito, por razones explosivas, ser fiel al análisis de Boeckx (2014) -que sin embargo prefiero- en que los nombres proyectan para resolver problemas de selección, etc. y donde el determinante es de naturaleza protoadposicional.

et al., 2014). Además, la cantidad de ritmos que caracterizamos como locales en el punto 3.1, hecha esta subdivisión, cuadra con la cantidad de categorías: ritmos *beta*, *gamma* lento, *gamma* medio y *gamma* rápido (o *epsilon*); y núcleo de fase protoadposicional, núcleo de fase protonominal, no-núcleo de fase protoadposicional, y no-núcleo de fase protonominal (respectivamente, estaría uno tentado de aventurar). Es más, esta hipótesis casaría más o menos con la observación de Boeckx (p.c.) ya mencionada acerca de que los nombres reclutan una región cerebral menor que los elementos de naturaleza adposicional. Pero aún más importante es que, por un lado, podríamos seguir sosteniendo que cada categoría equivale a una oscilación distinta, y, por otro lado, los sistemas externos no estarían forzados a sincronizarse sino en la misma subbanda -esto es, podrían mantener un máximo de 4 ritmos categorialmente significativos-.

A pesar de que esta hipótesis se presenta como poco dañina para mi modelo, lo debilitaría significativamente. Esto es así porque: a) perdería la correspondencia entre el sostenimiento del *status quo* por medio del ritmo *beta* (Engel y Fries, 2010) y el borde de fase que permanece acoplado al *alpha* derivacional -en el caso, en concreto, de núcleos de fase protonominales oscilando hipotéticamente a *gamma* lenta; véanse los puntos 3.1.3 y 6.2-; b) obligaría -salvo introducir complicaciones- a que las precursoras léxicas oscilaran siempre en *gamma* rápida, para lo cual sospecho que daría con más contraevidencias que evidencias; c) dejaría de tratar uniformemente los núcleos de fase frente a los no-núcleos; d) pero sobre todo, porque me obligaría a recurrir al *watchmaker* que quisimos eliminar en el capítulo 5. Me explicaré.

El mecanismo de *labeling* consistía en que, a causa de sincronizarse con una población mayor que confería la identidad categorial, el ensamble neuronal de la precursora léxica núcleo de fase se veía ampliado. Debido, entonces, a los retrasos de la transmisión axonal, el ritmo necesitaba ralentizarse -desde *gamma* hasta *beta*-. Este mecanismo explotaba una asimetría inherente entre la desincronización/transferencia del complemento de fase y el acoplamiento sostenido del elemento del borde al *alpha* derivacional. Uno de los atractivos de la idea, a mi juicio, es que el *labeling* era un mecanismo, digámoslo coloquialmente, “idiota”: no era sensible a nada como en qué fase nos encontrábamos. Ahora bien, ¿qué implica afirmar que el primer núcleo de fase se sincroniza con una región menor que el núcleo de la segunda fase -para no necesitar ralentizarse tanto-? Pues que el sistema se vuelve inteligente, que está diseñado -y de ahí la metáfora del *watchmaker*- para saber *a priori* dónde ir a buscar la categoría: un ensamble más pequeño al empezar la derivación, y uno más amplio a partir de entonces. Creo que, en fin, esta primera hipótesis me acercaría a la pura reafirmación de los hechos.

La segunda hipótesis que barajamos es la del *phase coding*, y, a mi juicio, la más débil e incompatible. Recordemos que el cerebro parece usar la interferencia entre oscilaciones como un

mecanismo de codificación precisa. Pensemos en una *place cell*: cuanto más cerca del *trough* de la fase del *theta* de la población se descargue, más cerca se encuentra el sujeto del centro del *place field*. Lo que sugiere esta teoría es que podríamos mantener que los núcleos de fase son *beta* y los no-núcleos de fase son *gamma*, aunque, por ejemplo, los núcleos de fase protonominal se descargarían antes en el ciclo *theta* -del sistema de memoria usado para la externalización, etc.- que los protoadposicionales -especulación extrema con fines únicamente expositivos-.

Aparte de una pregunta esencial a la que no sabría dar respuesta: ¿por qué?, esta segunda hipótesis amenaza con delegar el papel de los sistemas externos en estructuras no locales, y no tan específicas como quisiera. Me explicaré nuevamente. Si queremos usar los ritmos *theta* o *alpha*, por ser lentos, como los responsables de codificar la interferencia causada por *beta* y *gamma*, seguramente no podamos sostener el papel que les otorgamos en el capítulo 6 ni a las oscilaciones ni a las estructuras: serán ahora los ritmos generados por el tálamo y el hipocampo los encargados de discriminar categorialmente los elementos -o la tarea pasará a estar más distribuida-. Cabe pensar, por lo tanto, que la constrictión de la antiidentidad no emergerá tanto de la localidad de los sistemas externos como podría hacerlo de limitaciones del *phase-coding* del tipo de la observada en el punto 6.4 para la memoria de trabajo. En consecuencia, no sólo perderemos la sugestiva frontera entre sintaxis interna y sintaxis externa que explicamos en el punto 6.3, sino que tendremos que reformular de cabo a rabo el modelo. Esta especulación no es, ni por asomo, la única posibilidad que ofrece la segunda hipótesis; es más, tal vez el *phase coding* sea la única vía que me vea forzado a explorar en un futuro, pero, por ahora, resta algún resquicio de fe en la propuesta actual.

Por último, aunque no deja de estar exenta de algún recelo, la hipótesis, expresada en tercer lugar, de confiar en la historia derivacional es la que me resulta menos *ad-hoc*. De hecho, las palabras de Boeckx (2014:116) sugieren algo en esta línea:

“It is conceivable that the external systems manipulating syntactic representations could exploit this difference [los adjuntos son estructuralmente idénticos a donde se adjuntan, no así los especificadores] and *exploit the different derivational histories* and regard the phase head of the specifier as sufficiently distinct the clausal phase head it merge with, allowing the derivation to proceed without immediate spell out of the specifier phrase, unlike in the adjunct situation discussed above”. (Énfasis mío)

A este respecto, es interesante que los especificadores, al igual que los adjuntos, han sido definidos, aparte de configuracionalmente, por su historia derivacional: estructuras derivadas en paralelo en relación a la estructura en que se insertan. De hecho, la interpretación más radical de Uriagereka (1999 et seq.) apunta a que ocupan una dimensión derivacional aparte. Ahora bien,

siendo menos abstractos, ¿cómo traducimos esto a la dinámica cerebral?

Una primera idea -tal vez impulso de sacudirnos el problema- es que los especificadores son transferidos al completo, y se asocian al borde de fase mediante otro mecanismo que no sea la sincronización a través del *alpha* derivacional -sin *merge*, lingüísticamente hablando-. No obstante, definimos más arriba los especificadores como, originalmente, fases intransitivas, con una estructura mínima de $\{Phase\ head, \{Non-Phase\ head\}\}$ (Boeckx, 2014). Este es, efectivamente, el inevitable punto de partida de cualquier estructura en Merge- α . Una fase intransitiva, por ende, puede ser tanto el origen de una estructura mayor, como un especificador; ¿qué podría forzar la transferencia completa sólo en el último caso, si no es un interesado *look-ahead*?

Además, esta idea es contraituitiva: todo sugiere que, si hay algo que se asocia a la estructura tras la transferencia, son los adjuntos, mucho menos integrados en la misma, y no los especificadores. Esto da pie a una aparente digresión -que acabará encauzando el asunto- sobre cuál es la historia derivacional de los adjuntos y, por extensión, de las islas seguramente²⁷.

A despecho de que mi modelo, hasta ahora, se enfrenta a dificultades a la hora de explicar los especificadores, es justo al revés cuando se trata de adjuntos. Recordemos que la distinción entre unos y otros, conforme a *Merge- α* , es que los adjuntos son idénticos a la estructura a la que se ensamblan, no así los especificadores. Traducida esta observación a oscilaciones cerebrales y en consonancia con el capítulo 6, los adjuntos (e islas) pasan a revelarse como una consecuencia más de la constricción de la antiidentidad de los sistemas externos. Para ilustrarlo, retoquemos sutilmente (14), convirtiendo el antiguo especificador en una fase transitiva:

(17) a. ...{ Phase head, {Non-Phase Head, Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {Phase head, {Non-Phase head, Phase head ...}}, Non-Phase Head, Phase-head ...}}}}(orden lineal irrelevante)

b. ...{ p, {P, p, {P, p, {p, {P, p/n ...}}, P, p ...}}}}}

c. ...{ β , { γ , β , { γ , β , { β , { γ , β ...}}}, γ , β ...}}}}}

Incido de nuevo en que el complemento de fase del adjunto ha sido ya transferido: ...{ β , { γ , β , { γ , β , { β , { γ , β ...}}}, γ , β ...}}}}}. (17) viene a revelar lo antitético de adjuntos y especificadores: si tener dos *betas* en (14), con un especificador, contradecía la explicación de la antiidentidad; tenerlas en (17), en cambio, viene como anillo al dedo para dar cuenta de que el sistema está forzado a desincronizar la *beta* núcleo de fase del adjunto y transferirla/sincronizarla con el *theta* y

²⁷ Para explicar las islas a partir de adjuntos asumo que hay puntos derivacionales de no retorno, esto es: el elemento transferido no puede resincronizarse con el *alpha* derivacional.

los sistemas externos. Si, como antes, convertimos (17) a una estructura algo más familiar, podemos explicar la naturaleza, pongamos por caso, de una isla de adjunto:

- (18) a. {C, {T, v, {{P, {V, n...}}, V, n ...}}}
- b. {C, {-é, v, {{tras, {llegar, María...}}, llegu-, Yo ...}} (simplificando)
- c. Yo llegué tras llegar María.
- d. *¿Quién llegué yo tras llegar?

Aparte del valor que esta explicación tiene en sí misma -y en relación a algunos casos (1-9) que discutiré al final-, es útil porque arrojará luz sobre la cuestión de los especificadores: hay algo que los distingue de los adjuntos, algo que los permite integrarse en la estructura -abajo aclararé qué entender por dicha “integración”-. Igual que en mi modelo los sistemas externos rechazan automáticamente la coexistencia de dos oscilaciones *beta* con los adjuntos, debo permitir de forma asimimsmo automática que los sistemas externos toleren los especificadores, sin incurrir en el posible *look-ahead* que censuraba arriba.

Propongo para ello que los especificadores sean tratados junto con los núcleos de fase, en cuyo borde se ensamblan, *como un único elemento*. Esto es, propongo que cuando se trata de especificadores, la sincronización de las dos oscilaciones *beta* -en los sistemas externos o antes de la transferencia, abajo lo abordaré- es de hecho el resultado deseado. Recuperando (14), resalto en amarillo los ensamblajes neuronales que acaban sincronizándose bajo un único ritmo -el complemento de fase del especificador ya ha sido desincronizado-:

- (19) a. ...{ Phase head, {Non-Phase Head, Phase head, {Non-Phase head, Phase head, {{Phase head, {Non-Phase head}}, Non-Phase Head, Phase-head ...}}}} (orden lineal irrelevante)
- b. ...{ p, {P, p, {P, p, {{n, {N}}, P, p ...}}}}}
- c. ...{ β, {γ, β, {γ, β, {{β, {γ}}, γ, β ...}}}}}

En (19), por lo tanto, los sistemas externos están recibiendo tan sólo una oscilación *gamma*, que representa un no-núcleo de fase, y una sola oscilación *beta*, que representa la combinación del núcleo de fase de la espina clausal y el núcleo de fase del especificador transferidos. En otras palabras, transferimos { γ, β }. Cuando se trata de los adjuntos, por el contrario, esta sincronización resulta no interpretable, digámoslo así, por lo cual el sistema debe transferirlos aparte -y de ellos surgen islas, etc-.

Contra lo que pudiera pensarse de entrada, creo que esta hipótesis no sólo es la menos *ad-hoc*,

sino que amplia el alcance explicativo del modelo al prometer capturar, de una forma más elegante, las propiedades de la binariedad, lo que conocemos como proyección y selección en la relación núcleo-especificador, la insensibilidad al orden lineal, la mayor transparencia de los especificadores... porque:

I) Los especificadores, de no ser sincronizados con el núcleo sintagmático en términos tradicionales, suponían una ruptura de la binariedad, a saber: los sistemas externos recibían, cualquiera que fuera el mecanismo, 3 oscilaciones -como 2 *betas*, 1 *gamma*-. Por el contrario, cuando permitimos que las dos *betas* se acoplen, los sistemas externos siguen recibiendo pares de elementos no idénticos -1 *beta*, 1 *gamma*-.

II) Podemos formular la vieja idea de proyección en la relación núcleo-especificador en términos de oscilaciones cerebrales, y reflejar el hecho de que el especificador está mucho más integrado en el núcleo de fase que va a ser transferido, que en el no-núcleo de fase que también será desincronizado del *alpha* derivacional. Por ejemplo, el sujeto de (15) está mucho más unido al verbo ligero que al núcleo T. Así pues, entendamos que cuando un núcleo proyecta al insertarse el especificador y se mantiene como *label* de la estructura, lo que en verdad podría estar ocurriendo es que los ensamblajes neuronales que expresan cada elemento son unificados bajo una misma oscilación *beta*, mientras que el no-núcleo de fase se mantiene aparte en banda *gamma*.

III) En conexión con lo recién apuntado, podemos hacer que el sistema sea verdaderamente insensible al orden lineal y, sobre todo, que la proyección deje de estar sujeta a abstractas condiciones de selección, para depender en exclusiva de la coincidencia de oscilaciones cerebrales. Recuperemos (15):

- (15) a. ...{ C, {T, v, {V, C, {{n, {N}}, T, v ...}}}} o lo que es lo mismo
 b. ...{ C, {T, v, {V, C, {T, n, {N}}, v ...}}}}

Estamos acostumbrados a leer estas configuraciones de una forma un tanto lineal. Si el especificador precedía a T, parecía incongruente que fuera sin embargo el especificador de v.

No obstante, si mi propuesta es correcta, el orden es verdaderamente indiferente: se van a sincronizar automáticamente las dos oscilaciones *beta*, esto es, los dos núcleos de fase que se hallan en el complemento, porque están en la misma banda. Resulta más natural pensar que se acoplan ritmos en la misma banda, que por ejemplo *n* a *beta* con *T* a *gamma*. De ser así, las condiciones de selección se reducen a que se acoplan los elementos que tienen más en común en cuanto a su implementación cerebral.

Para que la fase intransitiva fuera arriba lo que entendemos tradicionalmente como el especificador

de T, necesitaríamos introducir el núcleo de fase que constituyen los rasgos *unvalued* y complicar la estructura, una cuestión que, como dije, aplazo para trabajos futuros.

IV) Podemos seguir tratando de manera uniforme los núcleos de fase como *beta* y los núcleos de fase como *gamma*, sin complicar el modelo. Estamos, por lo tanto, más cerca de olvidarnos del *watchmaker* que empezaba a asomar en la primera hipótesis de contemplar subbandas.

V) Si los especificadores no necesitan ser desincronizados del *alpha* derivacional individualmente, en contra de la urgencia a ello que exigen los adjuntos, siguen -seguramente antes de ser sincronizados con el núcleo de fase en cuyo borde se insertan- a disposición de operaciones, como *merge* interno -en la cual tampoco entraré-, que pueden dar cuenta de la menor opacidad de esta estructura.

La pregunta ahora, en conexión con la última ventaja conceptual contemplada, es, ¿cuándo y cómo se sincronizan los especificadores con su núcleo de fase? En consonancia con la preferencia que expresé arriba de confiar en la historia derivacional, tiene sentido que el acoplamiento de los ensambles neuronales de especificador y núcleo se produzca con anterioridad a que los elementos se desincronicen como una única unidad del *alpha* derivacional. De esta forma, se incrustan en el *theta* del hipocampo y alcanzan los sistemas externos con una memoria derivacional distinta que los adjuntos, y pueden por lo tanto ser tratados de forma asimismo diferente. Si esto responde al cuándo, necesito ofrecer también algo respecto al cómo, y es en este punto donde la situación es más confusa. Quisiera apelar a axones altamente mielinizados y de alta conductividad al estilo del *corpus callosum* que permitan una sincronización relativamente rápida entre áreas distantes, en este caso, de los lóbulos parietales y frontales. Sin embargo, resolver esta cuestión está temporalmente fuera del alcance del presente proyecto.

De todas formas, los sistemas externos tratan, en el caso de los especificadores, como un sólo ensamble neuronal lo que en origen fueron dos, lo cual es coherente con relaciones semánticas más estrechas como las discutidas arriba. Pero esto lleva a una nueva pregunta: ¿qué impide a los adjuntos sincronizarse bajo *beta* de la misma forma? La respuesta, tan tentativa como intuitiva, es que los adjuntos son estructuralmente más complejos que los especificadores -por lo general, fases transitivas frente a fases intransitivas-. En términos cerebrales, esto puede significar que los adjuntos reclutan una región cerebral mayor que los especificadores. Al ser así, la suma de los dos ensambles neuronales, el del adjunto y el del núcleo de fase en cuyo borde se inserta, podría devenir demasiado amplia para ser sincronizada bajo un mismo ritmo *beta*, a pesar de los potentes axones que apuntaba arriba. Si esto fuera así, volvemos a explicar una constricción lingüística desde una pura limitación estructural del cerebro.

Lo mejor para cerrar el capítulo será comprobar si la ampliación del modelo solventa los desafíos de (1-9) que han desembocado en ella. La intuición lleva a asociar los conflictos entre núcleos de fase pronominales (9.a) o protoadposicionales (1) con la explicación que dábamos arriba para los adjuntos (17): dos *betas* incapaces de sincronizarse bajo un mismo ritmo. En cambio, el caso en que salvamos la derivación insertando un núcleo de fase protoadposicional entre dos pronominales (2.b) equivaldría a la explicación de los especificadores:

(20). a. Elena fa riparare la macchina **a** Gianni.

b. ...{ β , { γ , β , { γ , β , {{ β , { γ }}, γ , β ...}}}}}

c. ...{ β , { γ , β , { γ , β , {{*la*, {*macchina*}}, riparare, **a** [Gianni]..}}}}}

Gianni es transferido en primer lugar sin mayor complicación, y *la (machina)* se integra con *a* bajo un mismo ritmo *beta*. Siendo *riparare* un no-núcleo de fase -V-, los sistemas externos reciben una sola *beta* -estructura núcleo-especificador, *la+a-* y una sola *gamma -riparare-*.

La cuestión, sin embargo, no acaba aquí, puesto que esto genera dos nuevos desafíos que responder i) ¿qué impide que los ensambles oscilando a *beta* en el caso de núcleos pronominales, aparentemente más simples que los protoadposicionales, se sincronicen como sucede en la relación núcleo-especificador?; y ii) ¿por qué no salvamos la coexistencia de núcleos protoadposicionales recurriendo a la adjunción, es decir, desincronizando del *alpha* derivacional una de las *betas* núcleo de fase transitiva?

Ya he apuntado a que los adjuntos eran incapaces de sincronizarse con un segundo núcleo de fase porque eran demasiado complejos, es decir, la suma de los dos ensambles neuronales reclutaba una región cerebral demasiado amplia para ser sincronizada bajo un sólo ritmo rápido como *beta*. La intuición que subyace a esta hipótesis, y que, me temo, amenaza con el susodicho *watchmaker*, es que los núcleos de fase transitiva eran representados por un ensamble neuronal mayor que los núcleos de fase intransitiva. Si esto fuera más o menos cierto, podríamos explicar de manera natural casos como el de (1), pero no damos verdaderamente cuenta de qué fuerza en (20) la inserción de *a*, en lugar de sincronizar las *betas* de *la* y *Gianni*. Conste que la explicación conforme a (19) me parece del todo lógica, no obstante, ¿por qué se llega a ese punto? A decir verdad, todavía no puedo responder con nada sólido.

Enfoquemos la segunda pregunta así: ¿qué impide en (1), por ejemplo, desincronizar independientemente uno de los núcleos de fase transitiva conflictivos? Un posible primer impulso es achacarlo a constricciones semánticas, pero me parece una burda forma de echar balones fuera. Un posible segundo impulso es rescatar la hipótesis que descarté hacia la mitad del capítulo, e

introducir así nuevas distinciones categoriales mediante subbandas, etc. con las que enseguida inventaríamos una manera de reformular los hechos. Me niego a hacerlo, y esto entronca con diferentes criterios a la hora de hacer lingüística.

Roca me recuerda a menudo que investigar en este campo es como recoger manzanas: al inclinarte por algunas, se te caen otras tantas. Hay, pues, que acabar decidiendo qué dejamos en el suelo. Pero siguiendo con la metáfora, creo que también nos situamos entre extremos de hortelanos: los hay que prefieren cargar a manos llenas, luciendo una montonera tan vistosa como tambaleante; en las antípodas, hay quien criba el mejor par, y lo aprehende con la mayor firmeza que dan de sí sus manos. Los hay también titubeantes entre los polos, y todos, en fin, ambiciosos. Que cada uno decida quién nos muestra el paradigma más fiel de la manzana.

No pretendo captar la condescendencia del lector, tampoco hacer gala de negligencia. Sólo expreso que la extensión de las observaciones de Greenberg no supera la profundidad de las explicaciones de Boeckx; yo estoy, salvando todas las distancias, torpemente tras la estela del segundo; espero que se use el mismo sistema métrico para lo ancho que para lo hondo; y me consuelo con la idea de Roca de que en toda teoría no bien bien fallida, siempre debe haber algo que no cuadre. Para intentar desmontar felizmente esto último, es indispensable, como mínimo, más tiempo.

8. Conclusiones

Como he indicado al principio, este trabajo final de máster está concebido como el inicio de un proyecto de investigación.

Cuando me distancio de la redacción del proyecto, y lo miro con perspectiva de futuro, no puedo evitar la corazonada de que en poco tiempo detectaré picos de inocencia por doquier. Y no me importa. El motivo no es una escasez deliberada de rigurosidad: las ideas están verdes todavía, pero más por falta de tiempo que de empeño en madurarlas. No me importa porque he superado el temor que me acosaba cuando Boeckx me impelía, semana tras semana, a buscar mi propio problema y, con ello, a superar el mismo miedo: el de decir alguna estupidez.

Este proyecto es un primer paso hacia mi futuro como investigador. Tal vez sea un paso un poco “bruto”, falto de una mayor reflexión acerca de todos los condicionantes que pueden intervenir, pero es hacia adelante. Tenía opción de darlo, con un poco más de coordinación, hacia un lado: parafraseando poco más o menos a una nómina de autores que admiro. Sin embargo, este sentimiento hacia ellos y hacia sus trabajos se debe en primera instancia a que, un día, empezaron a gestar, también tentativamente, lo que hoy los ha colocado en primera fila.

Salvadas, nuevamente, todas las distancias, la “pequeña estupidez” con que me he atrevido ha sido intentar fundar una hipótesis de enlace entre las teorías de Boeckx y Buzsáki. Muy a grandes rasgos: las *lexical precursor cells* son ensambles neuronales oscilando en banda *gamma* en el córtex parietal y frontal, sincronizados mediante un ritmo *alpha* derivacional/*merge* generado por el tálamo que habilita el pensamiento intermodular. Este *alpha* se acopla a su vez rítmicamente con el *theta* del hipocampo, que provee al sistema de memoria posterior a la transferencia, abre la puerta a los sistemas externos y acoge/se sincroniza con las precursoras léxicas que se desincronizan del *alpha* derivacional, en lo que lingüísticamente conocemos como *transfer*. Esta operación desencadena la distinción categorial que requieren los sistemas externos, que discriminan las categorías en función del ritmo al que oscilan los ensambles. El núcleo de fase muestra un comportamiento asimétrico con respecto al complemento: se mantiene más tiempo acoplado al *alpha* derivacional, y obtiene el *label* reclutando una mayor población que amplía el ensamble neuronal y obliga a ralentizar el ritmo hasta *beta*; el no-núcleo de fase, en cambio, se mantiene en banda *gamma*.

Es al producirse la desincronización de las precursoras léxicas del *alpha* derivacional cuando damos el salto de lo global a lo local, del lenguaje del pensamiento a la morfología/sintaxis postransferencia. Las estructuras de los sistemas externos son demasiado pequeñas para sostener múltiples ritmos en la misma banda sin sincronizarlos ambiguamente, de lo cual se sigue la

principal restricción sobre la que se construye *Merge- α* : la antiidentidad. No obstante, la sincronización de ensamblajes neuronales puede ser explotada con anterioridad a la transferencia para explicar los especificadores en oposición a los adjuntos. Cuando los ritmos *beta* que expresan los núcleos de fase consiguen acoplarse antes de alcanzar los sistemas externos, el nuevo ensamblaje es tratado como un único elemento y obtenemos lo conocido como proyección/selección -en la relación núcleo-especificador- de una forma automática e insensible tanto al orden lineal como a condiciones preformacionistas. En cambio, cuando esta sincronización no puede tener lugar -tal vez debido a limitaciones anatómicas-, los sistemas externos precisan de la transferencia urgente de los adjuntos para evitar una sincronización ambigua de dos *betas*, de lo cual emergen las islas.

Sé que el lingüista más puro a duras penas encontrará nada novedoso para su campo. Por ejemplo, en lo referente a la ciclicidad, Ross (1967) desencadenó un alud de trabajos que habrán cubierto descriptivamente -no sé si explicativamente- hasta el último resquicio; o, en lo relativo a ciertos primitivos, uno podría situarnos bastante próximos al conato verdaderamente minimista de Chomsky (1970) de reducir las categorías a $[\pm N]$ $[\pm V]$. No obstante, como nota Boeckx (2012:126) en su homenaje Ross, este ya se había preguntado “why-questions [that] are at the heart of current minimalist investigations” y que, aventuraría, persisten prácticamente tan arcanas hoy como entonces:

[...] *Why* should complex NP’s, coordinate nodes, sentential subject clauses, and NP’s on the left branches of larger NP’s all function the same in defining islands? Can islands be shown to behave like psycholinguistic entities? (Ross, 1967:291, extraído de Boeckx, 2012b:126, énfasis mío)

Mi propósito ha sido, llanamente, probar a hacer un poco de biolingüística para ofrecer algún *why*. Un atisbo del porqué de la antiidentidad, la ciclicidad, el máximo de categorías, la binariedad, la distinción entre especificadores y adjuntos, las islas... podría ser, en esencia, que los sistemas externos son demasiado locales para sostener múltiples ritmos en la misma banda que identifiquen los elementos. Este *why* interactúa con unos *whats* como los precursores léxicos, *merge*, *transfer* o *labeling*, para los que he intentado proponer un correlato físico compatible con la ciencia cognitiva y la neurociencia, sobre lo que no voy a repetirme por haberlo esbozado arriba y haber dedicado a todo ello los capítulos 6 y 7.

¿Por qué prefiero una razón biológica? Porque quisiera que un experto en el cerebro pueda interesarse por mi objeto de estudio, que lo identifique también como suyo, y pueda echarme mano: o bien desmantelando la teoría, o bien ayudándome a plantear nuevos *why*, como, ¿por qué se recurre a diferentes ritmos para identificar y diferenciar elementos? ¿Por qué la sincronía local de

betas y *gammas* deviene físicamente inevitable? ¿Por qué el ritmo *beta* de adjuntos, a diferencia del que sostienen los especificadores, no puede sincronizarse con el del núcleo antes de desacoplarse ambos del *alpha* derivacional? Si es por reclutar una región cerebral demasiado amplia, ¿por qué los núcleos de fase intransitiva requieren de ensambles menores? ¿Por qué no resolvemos, en todos los casos, la coexistencia de núcleos protoadposicionales desincronizando del ritmo talámico una las *betas* núcleo de fase transitiva? ¿Por qué no sincronizar dos núcleos de fase intrasitivos a *beta* de forma pareja al proceso de formación del ensamble núcleo-especificador? Y otros muchos, para los cuales acabemos precisando de la colaboración de físicos, psicólogos, médicos, etc.

No se me escapa, como alguna vez he discutido con mi hermano, que encadenando “por qué” se acaba llegando al último e irresoluble que unos indagan en dios, otros en números, otros en la poesía... o que otros, simplemente, desesperamos por desoír. Como le contestaría a Álex, puestos a vivir de un pasatiempo, mejor que sea el que parezca menos falso.

Hecho este sumario del modelo, fundamentalmente desarrollado en los capítulos 6 y 7 capitales del proyecto, y hecha la reflexión sobre mi aportación, no cierro el trabajo protocolariamente porque cualquier suerte de síntesis de tono rotundo rompería con el carácter provisorio de las hipótesis, y porque estimo más coherente con lo dicho abrazar una sugerencia de Boeckx (p.c): soñar con cómo testear empíricamente un modelo que es puramente teórico.

8.1 Experimento

A pesar de que las estructuras y ritmos cerebrales explotados tienen un linaje antiguo, no parece haber nada equiparable a nuestro fenotipo cognitivo en otras especies. Esto entronca con cuestiones, ciertamente controvertidas, acerca de la (no)especificidad, la homología, la evolución... sobre las que he de instruirme adentrándome en la literatura evo-devo. Así las cosas, nos topamos con barreras éticas insalvables en la experimentación con humanos, y con dificultades a la hora de identificar los mejores correlatos en otras especies de un sistema cuyas propiedades, para colmo, emergen del conjunto.

A causa de prejuicios inculcados por una visita prematura a la literatura contraria al genocentrismo y una ignorancia supina en la materia, no entraré en los posibles fundamentos genéticos. Por lo que respecta a técnicas del *neuroimaging* típicamente utilizadas en neurolingüística, descartaría el fMRI (*functional magnetic resonance imaging*), dada su baja resolución temporal, para centrarme en el EEG (*electroencephalography*), principalmente por ser, hasta donde sé, la idónea para registrar los ritmos cerebrales. Si acaso, podría usar la fMRI en un

primer momento para confirmar la actividad de las regiones candidatas, pero dada su amplitud y dado que la literatura sobre neurociencia nos daría un conocimiento lo bastante preciso de la localización de módulos donde colocar los electrodos, etc. estimo que se trataría de un paso innecesario.

El problema del EEG son las dificultades para registrar la actividad subcortical de forma no invasiva, cuando en el modelo juegan sin embargo un papel central el tálamo y el hipocampo. No entraré en frívolas especulaciones sobre posibles pacientes ni circunstancias clínicas que vadearían el asunto. Tampoco trasladaré el experimento a otras especies, por sentirme más inseguro todavía. Por consiguiente, me limitaré a apuntar unos pocos test bajo el supuesto de que, de una forma u otra, se consiguiera medir la actividad cerebral oportuna. El procedimiento sería sencillo: invitar a hablar al sujeto durante un largo rato de multitud de temas -otras tareas que no implicaran la externalización podrían no servir para capturar la actividad postransferencia-, de forma que el lenguaje del pensamiento tal y como lo he concebido aquí se mostraría plausible:

1) si se registrara sincronía entre un ritmo *alpha* en el tálamo y uno *theta* en el hipocampo y si los ritmos *beta* y *gamma* en zonas de los lóbulos parietales y frontales -no necesariamente implicados por igual en todo momento- se acoplaran alternativamente a las dos primeras oscilaciones;

2) si en ninguna (sub)región cortical del área Broca-Wernicke se registrara más de un ritmo *beta* ni otro *gamma*, de lo contrario, se hundiría la explicación de la antiidentidad sobre la que descansa el modelo -arrastrando consigo la del ritmo derivacional Fase-NoFase, los adjuntos, y un largo etcétera-;

3) si parte -y sólo parte- de los ritmos *gamma* en los lóbulos frontales y parietales se ralentizara hasta *beta*, reclutando entonces una región mayor; si no, fallaría el mecanismo de *labeling* propuesto para diferenciar núcleos de no-núcleos de fase;

4) si los ritmos *beta* y *gamma* acoplados al *theta* del hipocampo no estuvieran acoplados simultáneamente al *alpha* del tálamo; en caso contrario, la transferencia no podría significar desincronización del *alpha* derivacional;

5) si pares de ritmos *beta* se acoplaran entre sí al tiempo que siguieran coherentes con el *alpha* del tálamo, para sincronizarse posteriormente al *theta* del hipocampo o con circuitos responsables de la externalización; de no ser así, habría errado en la hipótesis sobre los especificadores;

6) si núcleos talámicos dorsales sostuvieran una actividad a banda *alpha* predominante; si no, se vería amenazado su papel en el *merge*/sincronización de palabras neuronales;

7) si se detectara una equivalencia entre la localización de los ritmos *gamma* sincronizados en el procesamiento sintacticosemántico y los conceptos que representan en sus correspondientes

módulos cerebrales; en el caso opuesto, la concepción de las precursoras léxicas se revelaría simplista e inespecífica.

9. Bibliografía

- Balari y Lorenzo. 2013. *Computational phenotypes: Towards an Evolutionary Developmental Biolinguistics*. Oxford: OUP.
- Boeckx. 2008. *Bare Syntax*. Oxford: OUP.
- Boeckx. 2010. *Language in Cognition: Uncovering Mental Structures and the Rules behind Them*. Chichester, U.K.: Wiley-Blackwell.
- Boeckx. 2010b. Elementary syntactic structures. Ms., ICREA/UAB. Parte A, "Defeating lexiconcentrism" disponible en <http://ling.auf.net/lingBuzz/001130>.
- Boeckx, 2011. Some Reflections on Darwin's Problem in the Context of Cartesian Biolinguistics. En *The Biolinguistic Enterprise*, editado por Di Sciullo y Boeckx. Oxford: OUP.
- Boeckx. 2012. The I-Language Mosaic. En *Language, from a Biological Point of View*, Boeckx, Horno y Mendivil. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Boeckx. 2012b. *Syntactic Islands*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Boeckx. 2013. Merge: Biolinguistic considerations. *English Linguistics* 30(2), 463-484.
- Boeckx. 2014. *Elementary syntactic structures*. Ms. ICREA, UAB.
- Boeckx. 2014b. The role of the thalamus in linguistic cognition. Ms. ICRA, UAB.
- Boeckx y Grohmann. 2007. The *Biolinguistics* Manifesto. *Biolinguistics* 1, 001-008.
- Boeckx, Mendivil y Horno. 2012. *Language, from a Biological Point of View*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Boeckx y Martín. 2013. *El clíctic datiu és més que un clíctic*. Lleida: Pagès editors.
- Boeckx y Burraco. 2014. The shape of the language-ready brain. *Frontiers in Psychology (Language Sciences)*, 5: 282.
- Boeckx y Burraco. 2014b. Universal Grammar and biological variation: An Evo-Devo program for Comparative Biolinguistics. *Biological theory* [publicado antes de imprimir].
- Bosman et al. 2014. Functions of gamma-band synchronization in cognition: from single circuits to functional diversity across cortical and subcortical systems. *European Journal of Neuroscience*, 39: 1982–1999. doi: 10.1111/ejn.12606 .
- Buschman et al. 2012. Synchronous oscillatory neural ensembles for rules in the prefrontal cortex. *Neuron*, 76 (4): 838-846.
- Buzsáki. 2006. *Rhythms of the brain*. Oxford: OUP.
- Buzsáki. 2010. Neural syntax: cell assemblies, synapsembles and readers. *Neuron*, 68(3): 362-85.
- Buzsáki. 2011. Hippocampus. *Scholarpedia*, 6(1): 1468.

- Buzsáki. 2012. Oscillatory Organization of Cell Assembly Sequences. Conferencia en *Waterloo Brain Day Lectures*.
- Buzsáki et al. 2013. Scaling brain size, keeping timing: evolutionary preservation of brain rhythms. *Neuron*, 80(3): 751-764.
- Buzsáki y Wang. 2012. Mechanisms of gamma oscillations. *Annual Review of Neuroscience*, 35: 203-25.
- Buzsáki y Watson. 2012. Brain rhythms and neural syntax: implications for efficient coding of cognitive content and neuropsychiatric disease. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 14: 345-67.
- Buzsáki y Moser. 2013. Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal-entorhinal system. *Nature Neuroscience*, 16(2): 130-8.
- Chomsky. 1970. Remarks on nominalization. En *Readings in English transformational grammar*, editado por Jacobs y Rosenbaum. Waltham, Mass.:Ginn and Co.
- Chomsky. 1986. *Knowledge of Language. Its Nature, Origin, and Use*. New York NY: Praeger.
- Chomsky. 1995. *The Minimalist Program*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Chomsky. 2000. Minimalist inquiries: The framework. En *Step by Step. Essays on Minimalist Syntax in Honor of Howard Lasnik*, Martin et al. Cambridge MA: The MIT Press.
- Cinque. 1999. *Adverbs and functional heads: a cross-linguistic perspective*. Oxford: OUP.
- Dipoppa y Gutkin. 2013. Flexible frequency control of cortical oscillations enables computations required for working memory. Publicado online. DOI: 10.1073/pnas.1303270110.
- Engel y Fries. 2010. Beta-Band oscillations – signaling the status quo?. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2): 156-165.
- Friederici. 2011. The brain basis of language processing: From structure to function. *Physiological Reviews*, 91(4): 1357-1392.
- Geisler et al. 2010. Temporal delays among place cells determine the frequency of the population theta oscillations in the hippocampus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17): 7957-62.
- Giraud y Poeppel. 2012. Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, 15(4): 511-7.
- Gómez. 2007. *Tensegridad: Estructuras Tensegríticas en Ciencia y Arte*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Guasti. 1997. Romance Causatives. En *The new comparative syntax*, editado por Haegeman. London: Longman.
- Hinzen. 2011. Language and Thought. En *The Oxford Handbook of Linguistic Minimalism*, Boeckx.

Oxford: OUP.

- Kayne. 1984. *Connectedness and Binary Branching*. Dordrecht: Foris.
- Kayne. 1994. *The Antisymmetry of Syntax*. Cambridge, MA: MIT.
- Lieberman. 2002. On the nature and evolution of the neural bases of human language. *American Journal of Physical Anthropology*, 119: 36-62.
- Lisman. 2010. Working Memory: The Importance of Theta and Gamma Oscillations. *Current Biology*, 20(11): R490-92.
- Longa y Lorenzo. 2012. Theoretical Linguistics meets development. Explaining FL from an epigeneticist point of view. En *Language from a Biological Point of View*, editado por Boeckx, Horno y Mendivil. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Moro, A. 2000. *Dynamic antisymmetry*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Moro, A. 2007. Some notes on unstable structures. Ms, Universita Vita-Salute San Raffaele/Harvard University.
- Olshausen et al. 1993. A neurobiological model of visual attention and invariant pattern recognition based on dynamic routing of information. *The Journal of Neuroscience*, 13(11): 4700-4719.
- Oyama et al. 2001. *Cycles of Contingency: Developmental Systems and Evolution*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Palva y Palva. 2007. New vistas for alpha-frequency band oscillations. *Trends in Neuroscience*, 30(4): 150-8.
- Palva y Palva. 2011. Functional roles of alpha-band synchronization in local and large-scale cortical networks. *Frontiers in Psychology*, 2: 204.
- Picallo. 1991. Nominals and nominalizations in Catalan. *Probus* 3: 279-316.
- Pietroski. 2006. *Events and Semantic Architecture*. Oxford: OUP.
- Poeppel. 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.
- Richards. 2010. *Uttering Trees*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Rizzi. 1997. The fine structure of the left periphery, *Elements of grammar*, editado por Haegeman. Dordrecht: Kluwer: 281-337.
- Roberts. 2010. *Agreement and Head Movement: Clitics, Incorporation, and defective Goals*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Rodríguez-Mondoñedo. 2007. *The syntax of objects: Agree and differential object marking*. Tesis doctoral, University of Connecticut.
- Romero. 2010. Accusative datives in Spanish. Ms. Universidad de Extremadura.
- Ross. 1967. *Constraints on variables in syntax*. Tesis Doctoral, MIT.

- Salinas y Sejnowski. 2001. Correlated neuronal activity and the flow of neural information. *Nature Reviews Neuroscience*, 2: 539-550.
- Torrego.1998. *The dependencies of objects*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Turing y Wardlaw. 1953 [1992]. A diffusion reaction theory of morphogenesis in plants. En *Collected Works of A. M. Turing: Morphogenesis*, editado por Saunders. Amsterdam: North Holland.
- Uriagereka. 1999. Multiple Spell-Out. En *Working Minimalism*, Epstein y Hornstein. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Waal y Ferrari. 2010. Towards a bottom-up perspective on animal and human cognition. *Trends in Cognitive Science*, 14(5): 201-7.
- Wang. 2010. Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition. *Physiological Reviews*, 90(3): 1195-268.
- Watson y Crick. 1953. Molecular Structure of Nucleic Acids: A structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, 171: 737-738.