



La Teoría de Redes Relacionales: Correlatos neuroológicos de un modelo lingüístico conexionista

*Relational Network Theory: Neurological correlates
of a connectionist model of language*

Adolfo Martín García

Universidad Nacional de Mar del Plata
Argentina

Resumen

La Teoría de Redes Relacionales (TRR) es un modelo conexionista del sistema lingüístico del individuo. En *Pathways of the Brain*, Lamb (1999) demuestra que el modelo es neurológicamente plausible, pero la evidencia neurocientífica que sustenta a la TRR no ha sido actualizada desde la publicación de dicho volumen. Además, en las últimas décadas la teoría no ha gozado de una amplia difusión, especialmente en el contexto hispanoparlante. Para contribuir a revertir ambas situaciones, en el presente artículo se sintetizan los principios básicos de la TRR a la vez que se actualiza la evidencia que confiere plausibilidad neurológica a sus hipótesis principales. Por añadidura, se demuestra que la teoría se ha construido mediante el procedimiento de «modelización por estructuras paralelas», discutiéndose sus méritos y limitaciones teórico-metodológicas.

Palabras clave: neurolingüística; Lamb; Teoría de Redes Relacionales; modelización; estructuras paralelas.

Abstract

Relational Network Theory (RNT) is a connectionist model of the linguistic system of the individual. In Pathways of the Brain, Lamb (1999) demonstrates that the model is neurologically plausible, but the neuroscientific evidence supporting RNT has not been updated since the publication of such volume. Moreover, RNT has not received significant attention in the last few decades, especially in the Spanish-speaking world. In an attempt to partly overcome these situations, the present paper summarizes the basic principles of RNT

Afiliación: Facultad de Humanidades, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Correo electrónico: adolfomartingarcia@gmail.com

Dirección postal: Falucho 1830, 4A (2do. Cuerpo), 7600 Mar del Plata, Argentina.

Fecha de recepción: diciembre de 2010

Fecha de aceptación: octubre de 2012

and offers updated evidence in favor of the theory's neurological plausibility. Furthermore, the theory is shown to have been constructed via the 'parallel structures approach' to neurolinguistic modeling, its merits and limitations being addressed from a theoretical and a methodological stance.

Keywords: *neurolinguistics; Lamb; Relational Network Theory; modeling; parallel structures.*

1. Introducción

La neurolingüística es uno de los campos más fecundos y valiosos de entre todas las disciplinas que estudian el lenguaje humano en la actualidad. Cada vez son más los investigadores que suscriben a la idea de que la única forma de erigir una teoría realista de la naturaleza, la arquitectura y el funcionamiento de los sistemas lingüísticos es mediante un enfoque de base neural. En palabras de Pulvermüller (2002: 9. Trad. mía), “un modelo realista del lenguaje [...] ha de especificar la base orgánica del uso y la comprensión del lenguaje en términos de neuronas, conexiones neuronales, y circuitos neuronales”. En efecto, dado que los sistemas lingüísticos de los seres humanos hallan asiento en el cerebro, estos no podrán ser nada que el cerebro no les permita ser.

Se argüirá, y no sin buen criterio, que lo que sabemos hoy por hoy sobre el cerebro de ninguna forma basta para precisar la naturaleza *exacta* de los sistemas lingüísticos humanos. Sin embargo, los datos firmes con que ya contamos constituyen aspectos (o, si se quiere, restricciones teóricas) ineludibles de cara a la construcción de una teoría lingüística que se presuma realista y biológicamente plausible. Dicho de otro modo, los hechos ya establecidos en las neurociencias deberían conformar una base de contrastación básica para cualquier modelo lingüístico con pretensiones neurológicas. En este sentido, la Teoría de Redes Relacionales (TRR) ha logrado convalidar varios de sus postulados centrales con evidencia neurológica. En las páginas siguientes se sintetizan los principios básicos de la teoría y se actualiza la evidencia que confiere plausibilidad neurológica a sus hipótesis principales, a la vez que se demuestra que su lógica de construcción responde al enfoque de modelización por estructuras paralelas.

El artículo se estructura de la siguiente manera: primero, se caracterizan cuatro tipos de procedimiento empleados en el

campo de la neurolingüística y se destaca el potencial teórico del procedimiento de modelización por estructuras paralelas; luego, se detallan los principios fundamentales de la TRR, modelo erigido en base a dicho procedimiento; a continuación, se presenta una síntesis de parte de la evidencia que convalida neurológicamente a la teoría; y, por último, se discuten sus implicancias, méritos y limitaciones teóricas y metodológicas.

2. Procedimientos de modelización en neurolingüística

En este trabajo, el término *procedimiento* se refiere a los modos de establecer correlaciones sobre los datos (psico)lingüísticos y neurobiológicos para determinar qué áreas del cerebro sirven de asiento a determinadas funciones del lenguaje y/o cómo se procesan las diversas representaciones lingüísticas y cognitivas a nivel interneuronal. Dicho de otro modo, un procedimiento de modelización neurolingüística es una estrategia metodológica empleada para postular y justificar correspondencias entre ciertos constructos de una teoría lingüística y ciertos constructos de una teoría neurológica. Según Caplan (1987), es posible distinguir cuatro procedimientos en la modelización neurolingüística, si bien no todos tienen el potencial de caracterizar la base real de los sistemas lingüísticos en tanto redes del tejido neural.

Un primer procedimiento es el empleado en la *modelización de base patológica*. En las teorías construidas mediante esta estrategia se predicen las áreas y se describen las funciones del lenguaje a la luz de los impedimentos que manifiestan los pacientes con problemas neurológicos. La mayoría de los estudios en afasiología, desde los trabajos seminales de Broca (1861), se apoyan sobre este procedimiento. En términos generales, se aplica el método de disociación doble, acaso la piedra angular de la neuropsicología experimental. Según Damasio (1994: 53), dicho método consta de los siguientes pasos: (i) hallar correlaciones sistemáticas entre áreas cerebrales dañadas y disfunciones de la conducta y la cognición; (ii) validar los hallazgos mediante el establecimiento de disociaciones dobles, en las que una lesión en el área A produce la disfunción X pero no la disfunción Y, mientras que una lesión en el área B provoca la disfunción Y pero no la disfunción X; (iii) formular hipótesis generales y particulares respecto de cómo un sistema neural normal integrado por distintos subsistemas desempeña una

operación cognitiva o conductual con diferentes componentes específicos; y, finalmente, (iv) testear las hipótesis propuestas con nuevos casos de daño cerebral localizado que sirvan para probar si una lesión en el área afectada de hecho provoca el efecto predicho.

Por más de 150 años, el estudio de pacientes afásicos ha sido la principal fuente de datos para el desarrollo de teorías neurolingüísticas. La detección de disfunciones lingüísticas selectivas como resultado de lesiones en diferentes áreas del cerebro ha permitido comprender mejor la organización de los componentes del sistema lingüístico. Por ejemplo, la selectividad de las disfunciones propias de los diferentes síndromes afásicos demuestra la relativa independencia funcional de las funciones lingüísticas de alto nivel, como la producción oral espontánea, la repetición, la comprensión, la lectura y la escritura (Damasio, 1991). A su vez, los diversos casos de afasia documentados en la literatura permiten determinar la realidad psicológica de diversos constructos lingüísticos analíticos, como los morfemas y los papeles temáticos (Obler y Gjerlow, 1999). Por añadidura, el establecimiento de disociaciones dobles en pacientes afásicos bilingües revela que las lenguas maternas y las lenguas extranjeras son neurofuncionalmente independientes (Paradis, 1989) y se vinculan con diferentes sistemas de memoria (Aglioti y Fabbro, 1993; Paradis, 1994), lo cual tiene implicancias teóricas, pedagógicas y clínicas. Si bien la modelización de base patológica presenta marcadas limitaciones (pues, entre otras cosas, no siempre es posible modelizar el sistema lingüístico de un cerebro sano en base a una caracterización de una disfunción neurocognitiva), este método puede integrarse de manera fructífera a los tres procedimientos que se describen a continuación.

En el segundo tipo de procedimiento que consideraremos, a veces llamado *top-down modeling*, se toman los constructos de una teoría (psico)lingüística como punto de partida y luego se busca la evidencia neurológica que permitiría afirmar que el cerebro efectivamente encarna los componentes abstractos de la teoría inicial. Un ejemplo de este procedimiento puede hallarse en la monografía que Freud (1953 [1891]) publicara sobre los síndromes afásicos. En dicho escrito, el padre del psicoanálisis, sobre el supuesto de que toda palabra constituye una estructura mental compleja hecha de asociaciones multimodales, propuso que el área cerebral responsable del lenguaje debía constituir

una única y amplia región, circundada por las áreas encargadas del procesamiento visual, táctil, auditivo y motriz.

Más recientemente, varios neurolingüistas adherentes al Programa Minimalista han realizado estudios aplicando este procedimiento. Bornkessel y Schlesewsky (2006), por ejemplo, llegan a postular que el Área de Brodmann 44 (AB 44) es responsable de la linealización de argumentos durante la asignación de roles temáticos (o θ -roles). Por su parte, Hagiwara (2006) recopila los resultados de diversos estudios de ERPs sobre el procesamiento sintáctico (principalmente en japonés) e, interpretándolos a la luz de algunas nociones minimalistas, concluye que tal conjunto de datos “corroboran la realidad electrofisiológica de las operaciones de movimiento y eventualmente del constructo teórico ‘Move’ en el Programa Minimalista” (Hagiwara, 2006: 305. Trad. mía). A pesar de la popularidad de tales propuestas y de sus posibles contribuciones al campo, Caplan (1987) explica que este enfoque lógico jamás devendrá en la identificación de las estructuras neurológicas vinculadas al procesamiento lingüístico. En pocas palabras, el hecho es que no hay razón alguna por la que los constructos analíticos surgidos en teorías abstractas deban hallar un correlato físico que los materialice, tal cual se los postula, a nivel neural¹.

El tercer tipo de procedimiento, llamado *bottom-up modeling*, supone una lógica de razonamiento inversa, pues avanza desde asertos sobre determinadas estructuras y funciones neurales hacia postulados respecto del procesamiento lingüístico. Este tipo de modelos parten de una teoría neurológica y toman sus principios como base para caracterizar la organización para los componentes del lenguaje. A título de ejemplo, mencionaremos las propuestas de Jackson (1874) respecto de la organización jerárquica del sistema nervioso. Jackson observó que el sistema nervioso consta de niveles cada vez más altos de actividad, y que la principal función de los niveles superiores consiste en la inhibición crónica y el control temporal de los niveles inferiores. Dadas estas observaciones, Jackson concluyó que los componentes del sistema lingüístico también debían organizarse de manera jerárquica y presentar el mismo tipo de control descendente. Puede considerarse que este procedimiento es superado respecto

¹ García (2010) ofrece una crítica detallada en contra de la plausibilidad neurológica de la biolingüística chomskyana. Véase también, en esta línea, el trabajo de Gil (2009).

del anterior, pues confiere preponderancia a la base física del sistema. No obstante, presenta consabidas limitaciones, pues el número de teorías lingüísticas que podrían formularse en consonancia con los datos neurológicos de partida es, cuanto menos, muy alto. Por ende, su grado de realismo y objetividad es menor de lo que parecería a primera vista.

Por último, nos referiremos a la modelización por *estructuras paralelas*, el principal foco de interés en el presente artículo. Al aplicarse este procedimiento, se enfatizan las *correspondencias estructurales y funcionales* entre los componentes de cierto modelo lingüístico y los datos firmes que arrojan las neurociencias, y se confirman, precisan o rectifican solidariamente las hipótesis de ambos campos. A diferencia de lo que sucede en los procedimientos anteriores, en la modelización por estructuras paralelas no se impone la lógica de una teoría lingüística sobre aquella de una teoría neurológica, ni viceversa; lo que se hace en este procedimiento es advertir similitudes preliminares entre los constructos de una teoría lingüística y una neurológica, para luego explorar hasta qué punto dichas correlaciones aparentes son en efecto plausibles.

El neurólogo estadounidense Norman Geschwind, quien revivió el conexionismo en la década del sesenta, ofrece un claro ejemplo de este proceder. Geschwind (1964; 1965) señala, por un lado, que la habilidad lingüística de nombrar objetos entraña la confluencia de representaciones semánticas de varias modalidades. A su vez, observa que el lóbulo parietal inferior posee propiedades exclusivas a la especie humana, entre ellas la de permitir la convergencia de flujos electroquímicos provenientes de las áreas de asociación que procesan *input* visual, táctil y auditivo. Su conclusión, basada en análisis comparativos de estructuras y funciones tanto neurales como lingüísticas, es que el asiento de la habilidad de nombrar objetos se halla en el lóbulo parietal inferior. Como se verá en el inciso siguiente, la TRR no sólo encarna otro interesante ejemplo de este tipo de modelización, sino que también pone de manifiesto su potencial en tanto procedimiento de construcción de teorías neurolingüísticas plausibles y realistas.

3. La TRR, un caso de modelización por estructuras paralelas

La TRR fue creada y desarrollada por el lingüista estadounidense Sydney M. Lamb². Según refiere Lamb (2004 [1998]) en un ensayo autobiográfico, la génesis de la TRR se remonta a su tesis doctoral, escrita en 1957³. Sin embargo, la primera formulación completa de la teoría no saldría a la luz sino hasta la publicación de *Outline of Stratificational Grammar* (Lamb, 1966). Originalmente, la TRR se presentó como un modelo abstracto (i.e., sin pretensiones de plausibilidad neurológica) y estático (i.e., carente de precisiones respecto del procesamiento *online* del lenguaje). Recién en la década del setenta Lamb comenzó a explorar la plausibilidad cognitiva de la TRR, al estudiar y demostrar cómo las redes relacionales permitían caracterizar los procesos de producción, comprensión y adquisición del lenguaje en tiempo real. Por su parte, la exploración de la plausibilidad neurológica de la teoría se debe a investigaciones realizadas principalmente en los noventa. De hecho, la discusión más abarcativa de la base neurológica de la TRR se halla en *Pathways of the Brain* (Lamb, 1999), aunque el primer intento por buscar correlatos neurológicos de la teoría data de fines de los 70 (cf. Schnitzer, 1978).

Lamb (1999: 321) señala que su teoría neurocognitiva puede verse como un ejercicio de *top-down modeling*. No obstante, términos de la taxonomía de procedimientos de modelización expuesta anteriormente, parecería más correcto ubicarla dentro del grupo de teorías construidas por estructuras paralelas. De hecho, la búsqueda de la convalidación neurológica de la TRR comienza al advertirse el isomorfismo estructural y las similitudes operativas que hay entre los nodos propuestos en el modelo y las neuronas⁴ (Lamb, 2004 [1998]: 42), por no mencionar la

² Ciertamente es que otros lingüistas, como Lockwood (1972), han realizado contribuciones de peso a la teoría; sin embargo, los principales avances se deben a los esfuerzos investigativos del propio Lamb (p. ej., 1980, 2004 [1974], 2004 [2001], 2004 [2002]).

³ En este trabajo, Lamb propone una de las ideas seminales de la Gramática Estratificacional, al observar que para caracterizar propiamente la estructura de ciertas lenguas es necesario reconocer dos niveles intermedios entre el morfológico y el fonológico, en vez de sólo uno (a saber, el alofónico).

⁴ No obstante, la hipótesis inicial de que los nodos del modelo podrían implementarse neurológicamente como neuronas individuales ha sido convincentemente rechazada por el propio Lamb (1999: 323-324). Por

crucial correspondencia que hay entre la concepción eminentemente relacional de la teoría y la naturaleza eminentemente relacional del tejido neural humano (v. 3.1, 3.2, 3.3.2).

De modo general, la TRR se ha construido, y se continúa refinando, siguiendo este derrotero: en primer término, se propone una caracterización abstracta (incorpórea) de la estructura y organización de los sistemas lingüísticos; luego se detallan los constructos de una determinada teoría neurológica (en el caso de Lamb se opta por una visión localizacionista del cerebro, en la tradición Wernicke-Geschwind); a continuación se explora la convalidación neural del modelo lingüístico enfatizando las correspondencias entre sus aspectos estructurales y funcionales y aquellos de la teoría neurológica escogida; y, en última instancia, se procede a refinar los constructos del modelo lingüístico en base a los datos firmes que arrojan las neurociencias. El modelo resultante admite revisiones periódicas, a medida que surgen nuevas precisiones sobre la naturaleza y el funcionamiento de los sistemas lingüísticos y/o de los tejidos neurales.

Dicho proceso constante de refinamiento interdisciplinar en ambas direcciones, anclado en isomorfismos estructurales y correspondencias funcionales, ubica claramente a la TRR dentro del grupo de modelos de estructuras paralelas. En este sentido, mención aparte merece la genuina interdisciplinariedad que promueve la teoría. Algunas de las hipótesis confirmadas de la TRR surgieron como postulados de base lingüística/cognitiva y luego fueron confirmados con evidencia neurológica. Por ejemplo, los fenómenos de prototypicalidad tan estudiados desde los trabajos pioneros de Rosch (1977; 1981) fueron incorporados a la teoría y confirmados con postulados neurocientíficos de amplia aceptación –p. ej., el hecho de que las conexiones interneuronales pueden tener distintos niveles de fuerza (cf. Kandel, 1991) (v. 3.3.4). Otras hipótesis confirmadas surgieron de apreciaciones neurológicas que la teoría luego adoptó para caracterizar aspectos precisos del funcionamiento del sistema lingüístico. Entre estas últimas podemos mencionar la incorporación de dos tipos de conexiones inhibitorias en el sistema de notación fina, determinadas por la existencia sendos tipos de

ejemplo, en tanto que una única nexión puede poseer tanto conexiones excitatorias como inhibitorias, una única neurona sólo puede poseer un tipo de conexión. La hipótesis propuesta como alternativa, enraizada en el concepto de 'minicolumna cortical', se aborda en la sección 3.1.

conexiones inhibitorias a nivel neural (v. 3.3.5). En los apartados siguientes se presentarán los principios fundamentales de la TRR y se sintetizará la evidencia neurocientífica que confirma sus hipótesis principales.

3.1. La nexión como unidad básica de procesamiento

La TRR se deriva de una idea propuesta originalmente por Louis Hjelmslev, de suerte que puede considerársela una extensión de la Glosemática. Fue el gran lingüista danés quien apuntó que

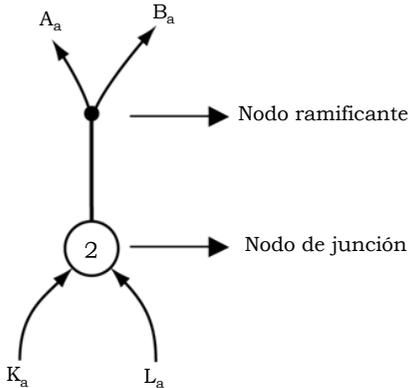
[r]econocer [...] que una totalidad no consiste de cosas sino de relaciones, y que la existencia científica no es atribuible a sustancia alguna, sino que reside en sus relaciones internas y externas [...] puede resultar novedoso en la ciencia lingüística. Al postularse que los objetos difieren de los términos de las relaciones se establece no sólo un axioma superfluo, sino que también una hipótesis metafísica de la que la ciencia lingüística ha de liberarse (Hjelmslev, 1961 [1943]: 61. Trad. mía).

Lamb llevó esta noción hasta las últimas consecuencias en su teoría, postulando que un sistema lingüístico, a diferencia de sus producciones, consta exclusivamente de relaciones. Los objetos o símbolos con que se caracteriza analíticamente la conducta verbal de los hablantes sólo existen como tales fuera del sistema. El sistema propiamente dicho es, en esencia, relacional y no-simbólico, si bien sus estructuras de conectividad le confieren la capacidad de producir e interpretar símbolos externos.

Los sistemas de notación que se han diseñado en el marco de la TRR intentan ser explícitos en la representación gráfica de estos postulados y de las hipótesis más precisas que abordaremos a continuación. (Aquí nos referiremos exclusivamente a la llamada *notación fina*, o *narrow notation*, pues es la más explícita en tanto sistema de caracterización gráfica de estructuras neurológicas⁵.) Considérese la Figura 1.

⁵ El otro sistema de notación del que se sirve la teoría, llamado notación compacta o abstracta (*compact* o *abstract notation*), resulta más sencillo de emplear, pero ampara operaciones que no son directamente conmensurables con la evidencia neurológica. Por ejemplo, los nodos usados en este sistema de notación son bidireccionales, aun cuando se sabe que las neuronas no son en sí bidireccionales.

FIGURA 1
Una nexión en notación fina



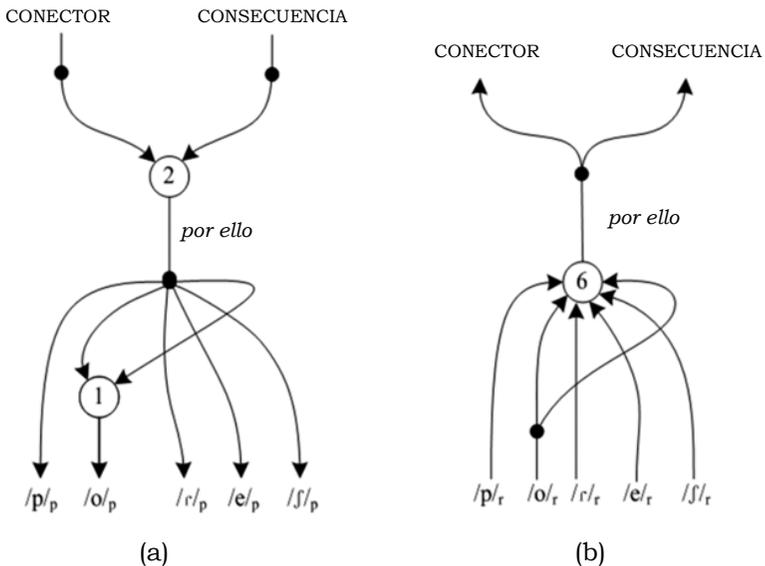
Las relaciones se representan mediante líneas y nodos. Las líneas proveen vínculos entre los nodos al permitir el flujo de activación saliente y entrante. Se distinguen, además, dos tipos de nodos⁶: por un lado, los *nodos de unión* (representados por un círculo amplio con un número adentro, llamado *umbral*) se activan si las líneas entrantes satisfacen su umbral –esto es, si la cantidad de líneas activas es igual o mayor que la cifra especificada dentro del nodo; por otro lado, los *nodos ramificantes* (representados por un círculo sólido negro) distribuyen la activación entrante hacia otros nodos en simultáneo. Ahora, la unidad básica de procesamiento en la TRR es la *nexión*, término técnico que se define como el módulo básico de procesamiento en la red cognitiva y que se visualiza notacionalmente como la conjunción de dos nodos cualesquiera mediante una única línea interna. Una nexión, cabe aclarar, es su propio procesador, de modo que no requiere de estructuras adicionales que interpreten su actividad. Una nexión es capaz de evocar por sí sola, en la mente de cada sujeto, la representación que le está dado procesar gracias a la confluencia de la activación proveniente de los demás nodos con que se conecta. De este modo, la teoría cristaliza el postulado clave de que la información está en la conectividad. Efectuadas estas precisiones, podemos decir que

⁶ Quedan excluidos del presente artículo los llamados *nodos umbral*, de los cuales todos los demás nodos pueden considerarse subtipos. Ver Lamb (1999) para una descripción de su funcionamiento.

lo que se grafica en la Figura 1 es una nexión compuesta por un nodo de junción y un nodo ramificante, en sentido ascendente –esto significa que la información procesada por esta nexión avanza desde un determinado nivel del sistema lingüístico hacia otro jerárquicamente superior (p. ej.: desde el estrato fonológico al morfológico).

A título de ejemplo, en la Figura 2 se presentan dos redes sencillas (de hecho, muy simplificadas) que capturan las representaciones involucradas en el procesamiento del lexema *por ello* en la perspectiva de la producción y de la comprensión, respectivamente. Adviértase que las etiquetas simbólicas presentes en el gráfico, como CONECTOR, *por ello*, y /p/_p, no forman parte de la estructura del sistema. Por el contrario, éstas se ubican por fuera de las redes relacionales con el único propósito de que el lector sepa en qué porción de la red lingüística total se encuentra. Además, ha de aclararse que, en el marco de la TRR, los rótulos en versales indican representaciones semológicas (p. ej., CONSECUENCIA), los rótulos en *itálicas* indican representaciones lexicogramaticales (p. ej., *por ello*), y los rótulos presentados entre barras inclinadas indican representaciones fonológicas,

FIGURA 2
Dos sencillas redes a modo de ejemplo



ya sea aquellas involucradas en la producción fonológica (p. ej., /e/p) o en el reconocimiento fonológico (p. ej., /e/ᵣ)⁷.

Al analizarse una red relacional, debe distinguirse entre las nociones de representación cognitiva y etiqueta simbólica. Como ya se ha dicho, los símbolos que se ubican al costado de las redes no forman parte de la red en sí; pero esto no significa que las *representaciones cognitivas* (fonológicas, lexicogramaticales y semológicas) que procesa el sistema sean epifenómenos de la red. La evocación de dichas representaciones sí se efectúa dentro de la mente del sujeto al activarse una nexión determinada mediante la confluencia de varios flujos de activación que en ella convergen. Las redes relacionales ponen de manifiesto que la información que procesamos internamente se reduce únicamente a patrones de conectividad fugaces y cambiantes a lo largo del tiempo.

Lo que sí es epifenoménico para la TRR son los *símbolos* con que se caracterizan analíticamente dichas representaciones, postulado que se apoya en dos tesis principales: por un lado, un símbolo no puede interpretarse a sí mismo, sino que requiere de algún mecanismo autónomo capaz de interpretarlo. Así, una palabra escrita en una pared es un símbolo que puede ser interpretado por una persona, y una secuencia de caracteres que se ingresan a una computadora son símbolos reconocidos por una unidad central de procesamiento (CPU); pero el sistema neurocognitivo de una persona no funciona de este modo. Postular la existencia de símbolos en el sistema cognitivo nos obligaría a imaginar alguna estructura o entidad (distinta de la red en sí) que se ocupara de interpretar los símbolos internos,

⁷ La «r» en subíndice que aparece al lado de determinadas representaciones fonológicas indica «reconocimiento». Se sigue que las representaciones fonológicas involucradas en el reconocimiento fonológico son distintas de aquellas que entran en juego en la producción fonológica (señaladas mediante una «p» en subíndice). La independencia neurofuncional y la individualidad topológica de cada conjunto de representaciones son hechos indiscutidos dentro de la afasiología. El asiento del reconocimiento fonológico, *grosso modo*, se asocia con el Área de Wernicke, ubicada aproximadamente en las áreas de Brodmann (AB) 42, 22 y parte de las 21 (i.e., la parte posterior de la circunvolución temporal superior); mientras que la base de la producción fonológica corresponde, en gran medida, al Área de Broca, que abarca las AB 44 y 45, así como porciones de la 6, 47, 46, 43, 8 y 9 (Amunts, 2008). Cabe aclarar que las áreas mencionadas son regiones especializadas para el procesamiento de las funciones con que se vinculan, pero no son indispensables ni suficientes para ellas.

pero en la mente de un individuo no hay ni un homúnculo ni un CPU ni nada que se le parezca.

Por otro lado, un símbolo es una unidad estática e invariable, mientras que las representaciones que evocamos en nuestras mentes son dinámicas y variables. En este sentido, la postura de la TRR es consistente con los principios de la cognición corpórea (p. ej., Varela y otros, 1991) y la cognición situada (p. ej., Clark, 1997). Tales enfoques sostienen que la actividad mental (semológica y lingüística) no es un conjunto de procesos sobre unidades simbólicas invariables que entran y salen del cerebro, sino que las representaciones mentales *emergen*, de modo no totalmente predecible, a partir de la activación concertada de determinadas porciones del sistema y en virtud de los estímulos presentes en el exterior y de la reactivación interna de otras representaciones. En referencia a la Figura 2, podríamos apuntar que las *representaciones* que simbólicamente ciframos como CONECTOR, CONSECUENCIA, *por ello*, $/p/p$ y demás no son externas a la red, sino que se evocan de forma más o menos fugaz al activarse las líneas que alimentan sus nexiones correspondiente. Lo que sí es externo o epifenoménico al sistema son los símbolos analíticos propiamente dichos, que meramente nos sirven para identificar qué representaciones procesan las nexiones graficadas en una red determinada.

3.2. Correlatos neurológicos del constructo ‘nexión’

La hipótesis básica de correspondencia neurológica en la TRR es que una nexión se implementa como una minicolumna cortical. Una minicolumna puede definirse como un grupo de entre 75 y 110 neuronas que se alinean verticalmente a lo largo de las seis capas de la materia gris y que operan en tanto unidad funcional (cf. Mountcastle, 1998; Burnod, 1990; Arbib y otros, 1998). Cada minicolumna tiene una longitud de entre 2 y 4 mm y un diámetro de entre 30 y 40 μm (micrones). Alrededor del 70% de las neuronas en la minicolumna típica son piramidales, es decir, células con conexiones excitatorias. El 30% restante consta principalmente de neuronas con conexiones inhibitorias. Así, toda minicolumna tiene la capacidad de enviar señales excitatorias y/o inhibitorias a otras minicolumnas. Este dato es importante porque una única nexión tiene la capacidad de enviar tanto señales excitatorias como inhibitorias (v. 3.3.5).

La evidencia sobre la estructura y el funcionamiento de las minicolumnas proviene principalmente de estudios realizados en gatos y monos. Hubel y Wiesel (1962; 1977) demostraron que los nodos de la corteza visual en tales especies se implementan como columnas corticales organizadas jerárquicamente, de suerte que cada capa sucesiva integra rasgos procesados por el nivel inmediatamente inferior para luego enviar activación a las capas superiores. Por lo tanto, a mayor nivel jerárquico en la estructura cortical, mayor nivel de abstracción en la representación. Por su parte, Mountcastle (1998: 165-203) llegó a conclusiones similares al examinar las cortezas somatosensorial y auditiva primarias de las mismas especies animales. En opinión de este autor, “todo estudio celular de la corteza auditiva en gatos y monos ofrece evidencia directa de su organización en columnas” (Mountcastle, 1998: 181. Trad. mía).

Como las cortezas de los gatos y los monos son en extremo parecidas a las de las personas, los neurocientíficos se permiten extrapolar hallazgos como los anteriores a sus descripciones del cerebro humano. Son tantas las coincidencias topológicas y celulares entre nuestras cortezas y las de dichas especies que buena parte de la neurociencia actual avanza sobre el supuesto de que los sistemas lingüísticos, perceptivos y conceptuales de las personas también se organizan mediante redes jerárquicas de minicolumnas corticales. Podría creerse que esta extrapolación es demasiado arriesgada habida cuenta de la especificidad que requerirían las representaciones lingüísticas; no obstante, se ha demostrado que, así como en la corteza de los gatos y las ratas hay columnas corticales con representaciones tan específicas que responden ante la estimulación de un único dedo, la corteza humana posee no sólo minicolumnas, sino incluso *neuronas individuales* que se activan sólo ante determinados estímulos visuales. Así lo han demostrado Quian Quiroga y otros (2005), cuyos estudios experimentales con pacientes epilépticos arrojaron la sorprendente conclusión de que una única neurona puede responder selectivamente a estímulos tan precisos como fotografías de la actriz estadounidense Jennifer Aniston, o de la estrella del baloncesto Michael Jordan, o de la Torre de Pisa. Ante tales datos, la extrapolación que incurre la TRR no es para nada implausible.

Esta correspondencia central que propone la TRR ancla su plausibilidad en el hecho de que la minicolumna es el módulo mínimo de procesamiento de información de la neocorteza

(Mountcastle, 1998), en tanto que la nexión es el módulo mínimo de procesamiento de información en el modelo abstracto. La hipótesis es que *todas* las nexiones del sistema (más allá del estrato en que se ubiquen, de la modalidad a la que pertenezcan y de la complejidad de la representación que procesen) se implementan como minicolumnas corticales. Tal postura echa por tierra el llamado *Problema de la Inconmensurabilidad Ontológica* (*Ontological Incommensurability Problem*). Poeppel y Embick (2005: 104. Trad. mía) definen este problema arguyendo que “las unidades de computación lingüística y las unidades de computación neurológica son inconmensurables”, de modo que las primeras no podrían reducirse a, o solaparse con, las segundas. Según añaden los autores en la misma página, éste es uno de los escollos que “impide la formulación de hipótesis de correspondencia con motivación teórica, fundamentos biológicos y explicitud computacional, capaces de vincular a la neurociencia con la lingüística”. La Tabla 1, extraída del artículo citado, pretende demostrar que no pueden establecerse correspondencias directas entre los respectivos niveles jerárquicos de clases naturales de la lingüística, por un lado, y de la neurociencia, por el otro.

TABLA 1
Ejemplos de inconmensurabilidad ontológica
(Poeppel y Embick, 2005: 105)

Lingüística	Neurociencia
Elementos fundamentales de representación (en determinado nivel analítico)	
rasgo distintivo	dendritas, espinas
sílaba	neurona
morfema	ensamble de células
sintagma nominal	población
cláusula	columna cortical

Sin embargo, en términos de la TRR, el Problema de la Inconmensurabilidad Ontológica constituye un pseudoproblema. No hay ningún motivo para creer que cuanto más compleja o extensa sea una unidad lingüística analítica, más complejo o extenso deba ser su sustrato neural. Hace ya varios años, Freud

(1953 [1891]) observó que cualquier neurona responsable de la unión de un sonido y las propiedades asociativas multimodales de una palabra debe ser, en sí misma, el sustrato preciso de la representación unificada resultante. Así, incluso determinadas neuronas individuales, como las que se ubican en las cortezas de asociación heteromodal, servirían de asiento a funciones o representaciones complejas (*cf.* Quian Quiroga y otros, 2005). La TRR reconoce que el problema al que aluden Poeppel y Embick surge de una apreciación infundada, y postula que una nexión puede procesar representaciones de los más variados niveles, modalidades y extensiones (p. ej., perceptos, conceptos, representaciones sintácticas, léxicas, morfológicas, silábicas, fonológico-segmentales, etc.).

Como veremos a continuación, la TRR, en virtud del constructo relacional *nexión*, no sólo encuentra un principio de implementación neural directo y evita el (pseudo)Problema de la Inconmensurabilidad Ontológica, sino que también halla confirmadas numerosas hipótesis precisas respecto de los principios operativos y estructurales del modelo propuesto.

3.3. Las principales hipótesis de la TRR respaldadas por la neurociencia

Sobre la base de la correspondencia entre *nexión* y minicolumna cortical, la TRR encuentra evidencia en favor de las hipótesis que se consignan en la Tabla 2 (entre otras).

A continuación se sintetizará parte de la evidencia neurocientífica disponible que apoya las hipótesis recién enumeradas. Algunas de ellas, dada su íntima relación, se tratan de modo conjunto.

3.3.1. ¿Símbolos en el cerebro?

En primer lugar, la TRR propone que el sistema lingüístico y, más precisamente, su base neural, no posee símbolos ni objetos sintácticos de ningún tipo. Resulta que tales constructos parecen ser irreconciliables con datos neurológicos básicos. El cerebro contiene neuronas, que, como todas las células, poseen un citoplasma con su respectivo núcleo y varios orgánulos. Las neuronas, a su vez, contienen, emiten y reciben neurotransmisores en virtud de sus cuerpos celulares, sus axones y sus

TABLA 2
Las principales hipótesis confirmadas de la TRR

(i) El sistema lingüístico no contiene símbolos ni objetos sintácticos.
(ii) El sistema lingüístico del individuo es una red de relaciones.
(iii) Las nexiones (y sus nodos individuales) pueden integrar señales entrantes provenientes de otros nodos y distribuir sus señales salientes hacia otros nodos.
(iv) El sistema es bidireccional.
(v) Las relaciones tienen distintos niveles de fuerza.
(vi) Las conexiones se fortalecen gracias a su uso exitoso.
(vii) Los nodos poseen umbrales variables.
(viii) Las conexiones pueden ser de dos tipos: excitatorias o inhibitorias.
(ix) El sistema debe poseer millones y millones de nexiones disponibles (Hipótesis de la Abundancia).

dendritas, amén de la transmisión de señales eléctricas que tiene lugar entre las fibras neurales. No hay evidencia neurológica alguna de que existan símbolos a nivel cerebral, y la mayoría de los hallazgos en las neurociencias sugieren convincentemente que dicho postulado constituye una imposibilidad (*cf.* Lamb, 1999; 2004 [2001]).

Incluso varios investigadores que conciben el lenguaje como un medio de comunicación simbólico terminan por reconocer que los símbolos no revisten realidad neurológica de ningún tipo. Por ejemplo, Deacon (1997) adopta una perspectiva semiótica peirceana y propone que lo que separa a los humanos de las demás especies es la habilidad de comunicarse simbólicamente. Deacon arguye que la comunicación animal se basa exclusivamente en la referencia icónica e indexical, mientras que el lenguaje humano se distingue por abarcar también la referencia simbólica (*cf.* Peirce, 1955 [1897 y 1903]). Con todo, al preguntarse sobre cuáles son los sustratos concretos de las unidades simbólicas en el cerebro, Deacon (1997: 300. Trad. mía) concluye que “[l]a respuesta parece ser que los símbolos lingüísticos individuales no se localizan en ningún lugar exacto, o, más bien, que las estructuras necesarias para su análisis parecen distribuirse a lo largo de varias áreas”.

Efectivamente, en el curso de su evolución, el cerebro ha desarrollado estructuras capaces de *analizar* símbolos, los cuales sólo existen como tales fuera del cerebro, ya sea como sonidos, letras, dibujos, grabados, etc. Como se apuntó anteriormente, lo que el cerebro humano posee son neuronas, que a nivel de la neocorteza se organizan como columnas corticales. Estos módulos mínimos de procesamiento jamás podrían almacenar símbolos. La función de las minicolumnas radica en procesar información lingüística y de otra índole mediante el envío y la recepción de flujos electroquímicos provenientes de otros circuitos neuronales. Dichos flujos de activación no presentan ninguna de las propiedades necesarias para codificar establemente los rasgos formales, semánticos y fonológicos que comprenden los símbolos de una teoría analítica (p. ej., formantes y primitivos), condición que se revela indispensable para que una teoría de base simbólica pueda adjudicarse plausibilidad neurológica. Dicho de otro modo, que el sistema lingüístico sea capaz de interpretar símbolos no entraña que deba contener esos símbolos. Tómese por caso el habla humana: la actividad cerebral propicia la producción de sonidos del habla y otras vocalizaciones al regular la operación de los órganos de fonación; no obstante, esto no implica que nuestros cerebros contengan “pequeños sonidos flotantes”. En términos de la TRR, el mismo razonamiento es aplicable a los símbolos⁸.

3.3.2. Estructura y funcionamiento de la red

Otra hipótesis central es que el sistema lingüístico del individuo es una red de relaciones. Esta afirmación, si bien parece indiscutible, no está explícitamente incorporada a muchos modelos lingüísticos de amplia difusión. La gramática generativa, por ejemplo, no adhiere a una perspectiva relacional, sino que propone una caracterización modular y algorítmica del procesamiento (viz., del conocimiento) lingüístico. Por el contrario, la TRR parte del supuesto de que en el sistema lingüístico no hay sino relaciones entre múltiples nexiones y sus nodos. Esta hipótesis se acomoda elegante y fructíferamente a lo que sabemos

⁸ Adviértase que el rechazo de la existencia de símbolos no es un atributo de todo modelo conexionista. Hay modelos conexionistas, como el de Rumelhart y McClelland (1986), que si bien caracterizan el funcionamiento de la red mediante flujos de activación entre nodos, postulan que el sistema incluye unidades simbólicas. En este sentido, la TRR es un modelo *puramente* conexionista.

sobre el tejido neural, pues el hecho es que “[l]a corteza cerebral humana es una red de más de diez mil millones de neuronas” (Pulvermüller, 2002: 20. Trad. mía).

A su vez, varias propiedades más específicas de la red neuronal son compatibles con los principios estructurales y funcionales de la TRR. Por ejemplo, tanto el cerebro como las redes relacionales operan mediante procesamiento distribuido paralelo (*parallel distributed processing*): la información en ambos sistemas se procesa en flujos que avanzan en diferentes direcciones y en simultáneo (*cf.* Damasio, 1994). Ésta es una de las propiedades que permite que las redes relacionales, así como las redes neuronales, realicen tareas de producción lingüística al mismo tiempo que se llevan a cabo tareas de comprensión o percepción, o que diferentes representaciones semológicas se activen a la vez ante determinado estímulo externo. En este sentido, Gil y García (en prensa) demostraron cómo las redes relacionales, en consonancia con los principios del procesamiento distribuido paralelo, pueden dar cuenta de fenómenos naturales del habla cotidiana, como los juegos de palabra no intencionales y los actos fallidos. Un sistema que no de procesamiento no paralelo (i.e., un sistema serial) enfrenta problemas a veces insalvables a la hora de describir y explicar tales fenómenos de la conducta lingüística.

Otra hipótesis vinculada con la estructura de la red sostiene que las nexiones (y sus nodos individuales) pueden integrar señales entrantes provenientes de diversos nodos y distribuir sus señales salientes hacia otros nodos. Como pudo apreciarse en las figuras 1 y 2, todos los nodos de la TRR cumplen dos funciones básicas: (i) integración de señales entrantes y (ii) distribución de señales salientes. He aquí otro punto en que la teoría halla un correlato directo con la evidencia neurocientífica. En base a varios estudios microscópicos, Kandel (1991: 25. Trad. mía), llega a la conclusión de que “[l]a divergencia y la convergencia de conexiones neuronales ilustran un principio clave en la organización del cerebro”. En efecto, como apunta Pulvermüller (2002: 21. Trad. mía), los vínculos neuronales “se caracterizan por tener gran divergencia: Cada neurona se conecta con otras miles de neuronas [...] También se caracterizan por manifestar gran convergencia; es decir, cada neurona recibe *inputs* desde varias otras neuronas”.

En el marco de la TRR, se establece además que una nexión sólo puede conectarse directamente con un número

restringido de nexiones. No hay conectividad directa total en la gran red relacional. Dicha restricción también es consistente con la evidencia neurocientífica, pues ni todas las neuronas ni todas las minicolumnas pueden conectarse *directamente* con todas las demás. Se estima que el cerebro humano contiene más de 100 mil millones de neuronas, mientras que el número de sinapsis por neurona oscila entre los 10.000 y los 40.000 (cf. Abeles, 1991: 58). Por lo tanto, una neurona sólo puede conectarse directamente con un máximo 40.000 neuronas, en tanto que una minicolumna compuesta por 100 neuronas sólo podría conectarse directamente con un máximo de 4.000.000 de minicolumnas. Matemáticamente, pues, no habría posibilidad de conectividad directa total entre todas las células corticales.

Pero la TRR va más allá y propone que las nexiones semológicas se conectan con nexiones fonológicas sólo por intermedio de otras varias nexiones léxicogramaticales; es decir que una nexión semológica nunca puede conectarse directamente con una nexión fonológica. Esta hipótesis no queda convalidada en virtud de los datos presentados en el párrafo anterior, ya que los mismos no demuestran que los circuitos neuronales que participan en el procesamiento semológico nunca establezcan conexiones directas con los que procesan representaciones fonológicas. Bien podría ser que algunas de las 4.000.000 de minicolumnas con que puede conectarse una minicolumna del sistema semológico sea una minicolumna del sistema fonológico. Uno de los desafíos a futuro de la TRR radica en la obtención de evidencia empírica que permita contrastar esta hipótesis.

Hemos dicho que la búsqueda de la convalidación neurológica de la TRR comienza al advertirse ciertos isomorfismos estructurales entre sus redes y el tejido neural humano. Sin embargo, no toda propiedad notacional de la teoría puede interpretarse isomórficamente. Consideremos, por ejemplo, la longitud de las líneas que vinculan los nodos y las nexiones. Las líneas de las redes, ya sea en notación fina o en notación compacta, no intentan reflejar de modo alguno la longitud de las dendritas y/o axones que las implementarían en el cerebro. La extensión de las líneas en las redes relacionales responde meramente a una conveniencia de diseño gráfico.

Sin embargo, sí debe reconocerse que ciertas nexiones estarán más alejadas entre sí que otras. Ésta no es una observación menor, ya que el funcionamiento correcto de ciertas redes relacionales

requiere que ciertos flujos de activación provenientes de distintos puntos del sistema arriben a una nexión receptora al mismo tiempo o con un intervalo temporal ínfimo. Por ejemplo, la red de la Figura 2 requiere que los flujos provenientes de los nodos semológicos CONECTOR y CONSECUENCIA lleguen al nodo umbral de la nexión *por ello* más o menos al mismo tiempo; pero es muy posible que dichos nodos semológicos se ubiquen a distancias diferentes de la nexión en cuestión. Para que la red relacional propuesta resulte plausible en términos neurológicos, debería haber distintas neuronas capaces de transmitir sus señales a diferentes rangos de velocidad, de modo que una determinada minicolumna receptora pueda recibir señales al mismo tiempo tanto de neuronas cercanas como de otras distantes.

Esta hipótesis de la TRR también se ve confirmada. Los axones de las neuronas que se ubican en las capas V y VI de la corteza están cubiertos de mielina, un aislante de color blanco cuya función principal radica en mejorar la conducción de señales entre neuronas remotas. Se sabe que cuanto más grueso es un axón, mayor es su velocidad de conducción, pero el principal factor en las diferencias de velocidad está dado por la presencia o ausencia de mielina. Mientras que un axón no mielinado trasmite su señal a un promedio de 1 milímetro por milisegundo, un axón mielinado puede alcanzar los 100 milímetros (i.e., 10 centímetros) por milisegundo. La mielina, además, se concentra en los axones que establecen conexiones de larga distancia. Así, una misma neurona o minicolumna puede recibir impulsos provenientes de una región remota al mismo tiempo o casi al mismo tiempo que de una región cercana.

3.3.3. Bidireccionalidad

La teoría también halla confirmada la hipótesis de que el sistema es bidireccional. Por bidireccionalidad se entiende la capacidad del sistema de conectar distintas áreas (cercanas y remotas) mediante flujos de activación que viajan en ambos sentidos desde la una hacia la otra. La bidireccionalidad es una condición ineludible para un modelo que pretende dar cuenta tanto de la producción como de la comprensión lingüísticas (obsérvese que otros modelos hegemónicos, como la gramática generativa, no distinguen entre sistemas o rutas de producción y de comprensión, ni tampoco caracterizan el procesamiento de información lingüística en tiempo real).

Efectivamente, el cerebro es un procesador bidireccional. Como explica Pulvermüller (2002: 21. Trad. mía), una de las “propiedades neuroanatómicas y neurofisiológicas universales de la corteza [...] [es que] las conexiones entre distintas áreas tienden a ser recíprocas”. La corteza (más precisamente, la neocorteza) es una lámina de aproximadamente entre 2 y 4 mm de espesor que recubre los hemisferios cerebrales. En cada hemisferio, la corteza comprende seis capas. Se llama conexiones ascendentes (*ascending o forward*) a aquellas que se originan en las capas I, II y III de la neocorteza y que terminan en la capa IV. Por el contrario, las conexiones descendentes (*descending o backward*) tienen distintos orígenes (corticales y subcorticales) y terminan en las capas I, II y III (Tucker y otros, 2008). Los neuroanatomistas están de acuerdo en que el procesamiento de una determinada función supone la transmisión conjunta de flujos en ambas direcciones (*cf.* Friston, 2002). Además, la bidireccionalidad también se da a nivel córtico-cortical, es decir, mediante conexiones de larga distancia que vinculan áreas distantes de la corteza. Entre los múltiples tractos de larga distancia que procesan señales de manera bidireccional, mencionaremos, a modo de ejemplo, el que conecta la porción media de la circunvolución temporal superior y la circunvolución temporal media con el área de Brodmann 45/47, por medio de la cápsula extrema (*cf.* Friederici, 2009) –ésta sería una de las estructuras que posibilitan la repetición lingüística, en tanto función cognitiva de alto nivel.

Recientemente, Aravena y otros (2010) demostraron que también existen conexiones bidireccionales entre circuitos lingüísticos y motores. En un estudio basado en potenciales evocados (*ERPs*), se les pidió a los participantes que escucharan oraciones que describían acciones que se ejecutaban (i) con la mano abierta, (ii) con la mano cerrada y (iii) sin usar la mano. Los participantes debían presionar un botón para indicar su comprensión de la oración. Un grupo debía presionarlo con la mano abierta y otro, con la mano cerrada. Las mediciones arrojaron tiempo de respuesta más veloces en las condiciones compatibles (*p. ej.*, presionar el botón con la mano abierta al escuchar oraciones con acción de mano abierta), las cuales se correlacionaron con potenciales motores y potenciales reaférentes generados por el movimiento manual del participante. Se comprobó así que, en las condiciones compatibles, la acción manual codificada por la oración produce un efecto *priming* del

movimiento físico pertinente y que, al mismo tiempo, la ejecución física de la acción afecta la comprensión de la oración⁹. La hipótesis de la bidireccionalidad de la TRR, por tanto, no sólo es consistente con datos neurológicos sino que permite concebir el procesamiento del lenguaje desde una visión situada, corpórea y sensible al contexto.

3.3.4. Cambios en la fuerza de las conexiones y en los umbrales de los nodos

En otro orden de intereses teóricos, y para dar cuenta de distintos procesos cognitivos, como la prototypicalidad, la TRR propone la hipótesis de que las relaciones tienen distintos grados de fuerza. La Figura 3, adaptada de Lamb (1999: 208), representa distintos perceptos involucrados en la activación del concepto TAZA. El grosor de las líneas indica la fuerza de la relación, en tanto que el pequeño círculo blanco en la línea para HECHA DE VIDRIO representa una conexión inhibitoria (v. 3.3.5). Así, esta red implica que los perceptos CHICA y TIENE ASA están más fuertemente asociados al concepto TAZA que el perceptor FONDO MÁS PEQUEÑO QUE LA PARTE DE ARRIBA. Además, se presume que el perceptor HECHA DE VIDRIO resta activación al concepto TAZA (o sea que, dada la presencia de un recipiente de bebidas hecho de vidrio, al sujeto en cuestión le resultaría más difícil aceptarlo como ejemplar de la categoría TAZA).

Esta propuesta teórica también es consistente con datos neurocientíficos. Se ha establecido que diversos cambios bioquímicos y aun estructurales en las neuronas modifican la fuerza de las conexiones sinápticas (Kandel, 1991). Tal modificación puede ser provocada por distintos fenómenos, entre ellos, el crecimiento de las prolongaciones terminales de las dendritas, llamadas espinas dendríticas (Braitenberg y Schüz, 1998). La hipótesis en cuestión va de la mano de la siguiente, que postula que las conexiones se fortalecen gracias a su uso exitoso. La Figura 4 presenta cuatro momentos distintos en la construcción de las principales conexiones que vinculan al lexema *anillo* con las representaciones que componen su realización fonológica (en dirección descendente, para la producción).

⁹ Ver Pulvermüller y Fadiga (2010) para una discusión de diversos estudios sobre la relación entre representaciones motoras y perceptivas en el procesamiento fonológico, semántico y sintáctico.

FIGURA 3
Relaciones con distintos grados de fuerza vinculadas al concepto taza (adaptada de Lamb, 1999: 208)

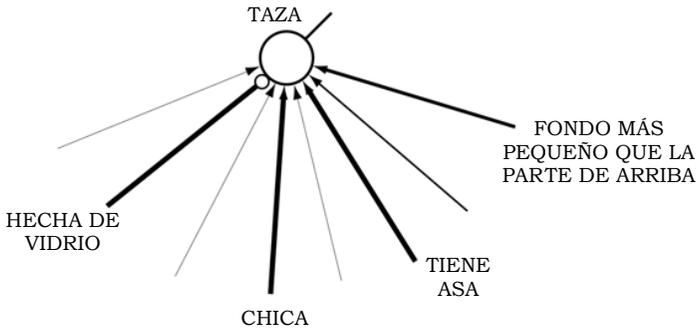
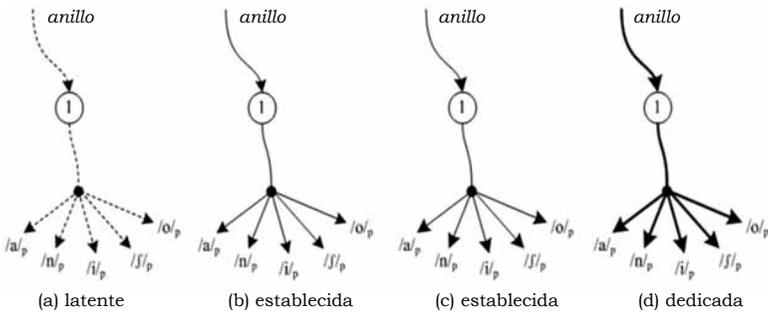


FIGURA 4
Fortalecimiento de conexiones por uso exitoso



En la TRR se reconocen tres estadios principales en el proceso de construcción (viz., de establecimiento) de conexiones. En su estadio inicial, todas las conexiones son *latentes*, es decir que están estructuralmente presentes en el sistema, pero aún no han sido reclutadas para procesar ninguna representación en particular. Una vez que se recluta una conexión para procesar determinada representación, sus conexiones quedan *establecidas* (o sea, activas dentro del sistema). Con el tiempo, y a medida que se itera el flujo de activación a través de dichas conexiones, la conexión queda *dedicada*, de modo que ya no podrá ser reclutada para procesar ninguna otra representación. En términos de la TRR, diríamos que cuanto más se activa una

nexión, mayor será la fuerza de las conexiones que participan de su activación, y más fácil será activarla en el futuro¹⁰. Hay numerosas investigaciones que confirman indirectamente la hipótesis en cuestión. Por ejemplo, en un estudio con medidas magnetoencefalográficas, Zhang y otros (2005) demostraron que la activación cerebral de los adultos es más rápida y focalizada (es decir, más eficiente) cuando se los expone a secuencias fonéticas de su lengua materna que cuando perciben una lengua extranjera. Sin embargo, un estudio posterior comprobó que la eficiencia neural de los adultos para procesar estímulos fonéticos de una lengua extranjera aumenta con el entrenamiento y la exposición (Zhang y otros, 2009).

Otra hipótesis confirmada y cabalmente vinculada a las dos anteriores es que los nodos poseen umbrales variables. La teoría propone que los umbrales de los nodos de unión (representados gráficamente mediante un número en el centro del nodo) no son estáticos, sino que varían con el tiempo. A medida que un sujeto adquiere más información vinculada a cierta categoría o representación, el nodo responsable de su procesamiento requerirá una cantidad menor de activación entrante para satisfacer su umbral. Se trata del mismo proceso que provoca que cuanto más se active una representación, más fácil sea activarla en el futuro.

He aquí otro punto en que la teoría se nutre de la modelización por estructuras paralela. En la jerga neurocientífica se emplea la noción de *umbral* para referirse al requisito de activación mínimo de toda neurona para dispararse. Específicamente, se sabe que las neuronas, de hecho, tienen valores de umbral variables. Como explica Pulvermüller (2002: 18-19), cuando se transmite una señal a través de la sinapsis que lleva a una dendrita, la misma se propaga hacia el cuerpo (o soma) de la neurona receptora. Dicha señal recibe el nombre de 'potencial postsináptico'. En el montículo del axón (una de las estructuras que conforman el cuerpo celular de la neurona) se llevan a cabo computaciones de flujos electroquímicos. Si la señal excitatoria total alcanza o supera el valor de umbral de la neurona receptora, ésta enviará una señal saliente, llamada 'potencial de acción'. Los

¹⁰ En base a este constructo de la TRR García (2011) propone una lectura neurocognitiva de las diferencias procesuales entre la traducción interlingüística directa (de lengua extranjera a lengua materna) e inversa (de lengua materna a lengua extranjera).

potenciales de acción son señales que no varían en intensidad: o se generan o no se generan y, de hacerlo, se propagan sin atenuarse desde el soma hasta los varios colaterales del axón.

Ahora, la intensidad total del potencial postsináptico que debe llegar a una neurona para generar un potencial de acción cambia con el tiempo. Se ha demostrado que la activación repetida de una neurona o un circuito neuronal disminuye su umbral de activación, de modo que, con el pasar del tiempo, dicha neurona requerirá señales entrantes cada vez menos intensas para lograr dispararse. Siguiendo el mismo principio, cuando una neurona para mucho tiempo sin dispararse, sus requisitos de activación aumentan progresivamente (Braitenberg, 1978a). Así, el constructo de umbral que propone la teoría se ve convalidado por evidencia neurocientífica.

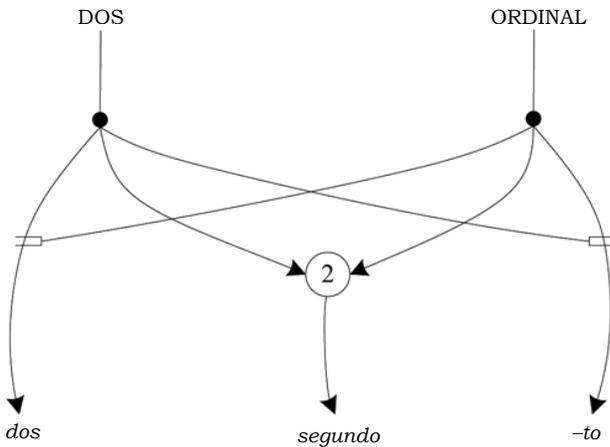
3.3.5. Tipos de conexiones: larga y corta distancia, excitación e inhibición

Las redes relacionales ponen en juego distintos tipos de conexiones. Por un lado, se distingue entre conexiones locales y de larga distancia. Las primeras son las que se establecen dentro de un mismo subsistema (p. ej., dentro del sistema de producción fonológica) y las segundas vinculan representaciones ubicadas en subsistemas diferentes (p. ej., el semológico y el léxicogramatical). Esta distinción se ve convalidada por diversos estudios neurológicos. Por ejemplo, Braitenberg (1978b) descubrió que el árbol dendrítico de las neuronas piramidales posee ramas laterales llamadas dendritas basales, y a menudo una extensa rama ascendente llamada dendrita apical. Las neuronas que se ubican cerca entre sí se vinculan principalmente mediante sinapsis en sus dendritas basales; en cambio, las células que se ubican en regiones remotas entre sí, de conectarse, lo hacen a través de las sinapsis de sus dendritas apicales. Braitenberg (1978b) incluso propuso que el sistema que conforman las conexiones basales (el *sistema-B*) y el que conforman las conexiones apicales (el *sistema-A*) tendrían distintos atributos funcionales en el procesamiento cognitivo (Braitenberg y Schüz, 1998).

Por otro lado, las redes relacionales, en notación fina, contemplan la existencia de conexiones excitatorias e inhibitorias. Las primeras están transmiten señales positivas (de modo que suman activación a un nodo receptor) y pueden ser locales o de larga distancia. Por el contrario, las conexiones inhibitorias

transmiten señales negativas (o sea que restan activación al nodo receptor) y sólo pueden ser locales. A su vez, se distinguen dos tipos de conexiones inhibitorias: las que se establecen sobre una línea y bloquean el flujo de activación de la misma, y las que se establecen directamente sobre un nodo de junción, a fin de restar activación en la sumatoria total que efectúa su umbral. En la Figura 5 se ofrece un ejemplo del primer tipo.

FIGURA 5
Conexiones inhibitorias que actúan directamente sobre una línea



Un nodo ramificante, al activarse, envía activación a través de todas sus líneas de salida. Cuando un sujeto quiere producir la palabra *segundo*, por ejemplo, debe activar al mismo tiempo las representaciones semológicas *DOS* y *ORDINAL*. Ahora, al activarse la representación semológica *DOS*, en sentido descendente (para la producción), se envía activación hacia las representaciones léxicogramaticales *dos* y *segundo*, en simultáneo (y hacia todas las demás que estén asociadas al nodo *DOS*). No obstante, una o más de estas líneas se verán bloqueadas para evitar la activación simultánea de dos representaciones antagonistas, lo cual vendría en la producción de alguna forma anómala como *dos-to*, o *dos-segundo-to*. Un proceso similar se da en base al nodo *ORDINAL*, que envía activación tanto a *segundo* como a *-to* (es decir, una de las representaciones sufijales del español, que participa, por ejemplo, en la activación de *cuarto* y *quinto*);

pero la línea que lleva a *-to* también se ve bloqueada por una conexión inhibitoria. Cabe aclarar que habría, también, idénticas conexiones inhibitorias que bloquean todas las demás representaciones ordinales posibles, aunque éstas no se grafican para evitar atestar la figura de líneas. En definitiva, gracias a la operación conjunta de conexiones excitatorias e inhibitorias, esta red procesa exclusivamente la producción de *segundo*.

El segundo tipo de conexión inhibitoria se ejemplifica en la Figura 6, donde puede verse un nodo con umbral '2' que recibe dos conexiones excitatorias y una inhibitoria (representada por un pequeño círculo blanco). La sumatoria total de las señales entrantes, por ende, arroja un total de '1', de modo que el umbral no se satisface, el nodo no se activa, y la activación no logra avanzar a través de su línea de salida.

FIGURA 6

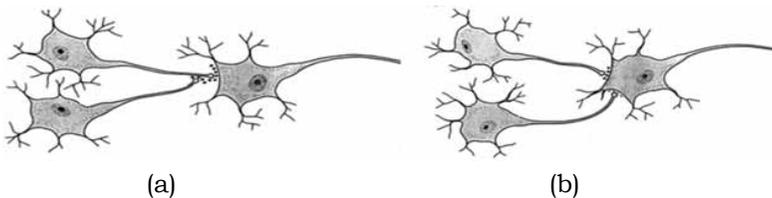
Conexión inhibitoria establecida directamente sobre un nodo

El caso de los distintos tipos de conexiones demuestra claramente cómo ciertos hechos neurocientíficos pueden incorporarse a un modelo abstracto del sistema lingüístico, lo cual constituye otra de las virtudes del procedimiento de modelización por estructuras paralelas. Una vez trazada la diferencia entre las conexiones excitatorias e inhibitorias, la TRR introdujo la distinción entre las dos variedades de las últimas porque las neurociencias comprobaron que existen, precisamente, dos tipos de conexión inhibitorias a nivel neural.

Como demuestra Abeles (1991), la corteza posee varios tipos de neuronas, cada uno dotado de distintos tipos de conexiones. Por ejemplo, las neuronas piramidales y las estrelladas espinosas (*pyramidal* y *spiny stellate cells*, respectivamente) poseen

conexiones excitatorias, mientras que otras, con nombres tan sugerentes como *large basket*, *double-bouquet* y *chandelier*, poseen conexiones inhibitorias. Las conexiones excitatorias pueden ser locales o distantes. El axón de las neuronas piramidales, por ejemplo, se extiende hasta la materia blanca y alcanza regiones corticales remotas, si bien muchas de sus ramificaciones se conectan con células vecinas. Por su parte, las inhibitorias son siempre locales, y vienen en dos variedades. Se llama *conexión inhibitoria axosomática* a aquella que se conecta con el cuerpo de una célula vecina, mientras que las que se establecen en el segmento inicial de un axón vecino reciben el nombre de *conexiones inhibitorias axoaxónicas*. Las primeras constituyen la implementación neural de las conexiones inhibitorias detalladas en la Figura 5, mientras que las segundas son la base física de la conexión inhibitoria presentada en la Figura 6. En la Figura 7 se ofrece una esquematización de ambos tipos de conexión celular.

FIGURA 7

Conexiones inhibitorias axoaxónicas (a) y axosomáticas (b)

Lamb (1999) sostiene que las redes relacionales se implementan a nivel de la neocorteza; y si bien es cierto que la mayoría de las neuronas inhibitorias se ubican dentro de la capa IV de la neocorteza, la operación de todo mecanismo inhibitorio también pone en juego estructuras subcorticales. Wickens (1993) describe en detalle uno de los mecanismos en cuestión. Se trata de un bucle (*loop*) formado por proyecciones que van desde la corteza hacia el neostriado (caudado y putamen), luego hacia el paleostriado, luego hacia el tálamo, y de ahí de regreso a la neocorteza. Las conexiones que vinculan al neostriado con el paleostriado y a éste con el tálamo son inhibitorias. En particular, las neuronas del neostriado pueden inhibir a otras neuronas neostriatales, tanto vecinas como distantes, de modo que la competencia entre circuitos rivales (p. ej., los que procesan las

representaciones *dos*, *segundo* y *-to* en la Figura 5) tendría lugar a nivel subcortical, antes de que el tálamo sincronice la señal resultante con otras señales entrantes y las envíe a la neocorteza. Aunque no hay datos concluyentes al respecto, el estudio del papel que desempeñan las estructuras subcorticales en los procesos inhibitorios (y otros, como los procesos de memoria) podría contribuir sensiblemente al desarrollo de la TRR.

3.3.6. La Hipótesis de la Abundancia

Por último, consideraremos lo que, en el marco de la TRR, se conoce como la *Hipótesis de la Abundancia*. Dado que cada una de las representaciones del sistema cognitivo (sean éstas fonológicas, lexicogramaticales, perceptuales o conceptuales) se supone procesada por una única nexión dedicada, el sistema debe poseer miles de millones de nexiones disponibles. Según los datos presentados por Lamb (1999: 341-342), el cuerpo de una neurona típica suele tener un diámetro de no menos de 10 y no más de 50 micrones. Por su parte, las ramificaciones del axón van desde 0,1 a 1 mm dentro de la materia gris y pueden alcanzar extensiones de hasta 10 cm, a través de la materia blanca. En todos los casos, los axones tienen un grosor de entre 0,5 y 1 micrón. Ahora, ya que la corteza humana tiene un espesor de entre 2 y 4 mm y que su superficie total oscila alrededor de los 1.400 mm², el número total de neuronas corticales se halla en el orden de los 14 mil millones.

La pregunta, entonces, es: ¿Alcanzan estas neuronas para servir de asiento a todas las nexiones que podrían reclutarse en el sistema cognitivo de un individuo real? Lamb hace depender la Hipótesis de la Abundancia de una prueba extrema, y razona que una persona con capacidades superhumanas de aprendizaje, que reclutara una nueva nexión cada 15 segundos durante 15 horas diarias sin descanso, al cabo de un siglo de vida reclutaría 131.490.000 nexiones. Lo sorprendente es que, aun ante estas condiciones por demás exageradas, las neuronas corticales serían suficientes. Ya que una nexión se implementa como una minicolumna cortical, que en promedio posee 110 neuronas, nuestro superhombre reclutaría unos 13 mil millones de neuronas; y se recordará que los estimados conservadores sobre el número de neuronas en la corteza oscilan alrededor de los 14 mil millones. Así, pues, esta última hipótesis también se ve respaldada por la evidencia neurológica.

4. Conclusión y breve discusión

Como hemos visto, la TRR encarna un valioso ejemplo de modelización por estructuras paralelas. Sus hipótesis surgen y se rectifican en base a la evidencia complementaria proveniente de una teoría lingüística, por un lado, y de las diferentes disciplinas neurocientíficas, por el otro. Gracias a este procedimiento de modelización, la teoría brinda un sistema de constructos y un aparato de notación neurológicamente explícitos.

Además, al postularse que toda nexión, más allá del tipo y la complejidad de la representación que procese, se implementa como una minicolumna cortical, la TRR se deshace del (pseudo) Problema de la Inconmensurabilidad Ontológica. Este planteo sólo constituye un problema para aquellas teorías que intentan imponer la lógica de un modelo analítico sobre las estructuras microscópicas y macroscópicas del cerebro. La TRR rodea estos inconvenientes de manera razonable y elegante, configurando un enfoque realista del sistema lingüístico del individuo.

Por supuesto, tal vez la minicolumna no sea el sustrato que procesa físicamente las diversas representaciones que propone la teoría. Acaso se trate de estructuras más amplias, como las redes funcionales propuestas por Pulvermüller (2002). De todas formas, este aserto específico de la TRR es valioso de todas formas, por el hecho de constituir una hipótesis contrastable. Si los avances de las neurociencias demuestran que la minicolumna no es capaz de procesar todas las representaciones que la TRR le adscribe, la teoría no tendrá más que revisar sus hipótesis más precisas de convalidación neural, sin que esto entrañe la necesidad de abandonar inmediatamente las propuestas del modelo relacional abstracto. Todo investigador que adhiera al empirismo sabrá apreciar el valor de este punto, en especial al advertirse que algunos de los postulados de las teorías más difundidas en neurolingüística se reconocen apriorísticas y no contrastables, como la distinción entre la facultad del lenguaje en sentido amplio y en sentido estrecho (Fitch y otros, 2005).

En el estado actual de la cuestión, la TRR despliega un número de hipótesis muy precisas respecto de la estructura y naturaleza del sistema, las propiedades de sus conexiones internas, las modificaciones diacrónicas a las que está sujeto, e incluso la capacidad total del mismo. Entre las múltiples conclusiones que pueden derivarse de esta teoría enumeraremos las siguientes:

- (a) El conocimiento lingüístico es eminentemente asociativo. En el sistema no hay más que relaciones entre distintos puntos (también relacionales) del sistema.
- (b) Ciertos puntos del sistema (nexiones en el modelo abstracto, o columnas corticales en términos físicos) *procesan* representaciones lingüísticas definidas (p. ej., lo que en lingüística analítica llamamos fonemas, morfemas, etc.), pero no poseen objetos simbólicos unificados de modo alguno conmensurables con los constructos postulados por una teoría analítica.
- (c) Puesto que las relaciones tienen distintos niveles de fuerza, ha de concluirse que los niveles de conocimiento lingüístico constituyen un continuo gradual. En otras palabras, el conocimiento lingüístico no puede caracterizarse adecuadamente en términos de oposiciones dicotómicas entre representaciones conocidas y desconocidas, o activas e inactivas. Una representación puede conocerse, o estar establecida en el sistema, en diferentes grados (y dicho grado está sujeto a cambios diacrónicos dentro del sistema de cada individuo).
- (d) Dado que el grado de fuerza de una representación está determinado por su uso exitoso, la iteración de procesamiento constituye un principio básico del aprendizaje lingüístico a lo largo de toda la vida del individuo. Esto significa que cuantas más veces se active (o se use) una representación (p. e.j., las conexiones que procesan un lexema), más fácil será procesarla, o acceder a ella, en el futuro.
- (e) Las estructuras y representaciones involucradas en la producción lingüística son ontológica y topológicamente diferentes de las que entran en juego en la comprensión lingüística. Por lo tanto, la bidireccionalidad del sistema no debe malinterpretarse como bidireccionalidad del sustrato individual de cada representación.
- (f) De la combinación de los puntos (d) y (e) se sigue que el aprendizaje de una representación en un subsistema de comprensión es independiente del aprendizaje de su representación correspondiente en un subsistema de producción. Así, el fortalecimiento de las conexiones de una representación perceptiva como $/v/_{r}$ en el sistema de reconocimiento fonológico no entraña el fortalecimiento de $/v/_{p}$ en el sistema de producción fonológica. Hallamos aquí una explicación de (i) por qué los niños de dos o tres

años pueden comprender más de lo que pueden producir, y (ii) por qué los estudiantes de lenguas extranjeras, por lo general, hablan con un acento marcado aun cuando son capaces de reconocer perfectamente las secuencias fonológicas de los enunciados de un hablante nativo.

- (g) Puesto que el sistema es por demás vasto en términos de su potencial de reclutamiento y procesamiento de representaciones (*cf.* La Hipótesis de la Abundancia), el conocimiento lingüístico de un individuo normal difícilmente logre jamás saturar la capacidad del sistema.

Todas estas hipótesis, como hemos visto, se ven motivadas y/o respaldadas por datos de la lingüística y las neurociencias. La plausibilidad neurológica de la TRR pone de manifiesto el potencial de la modelización por estructuras paralelas. Sin embargo, no todo modelo lingüístico puede buscar su convalidación neurológica mediante este procedimiento. El requisito indispensable es que por lo menos algunos constructos del modelo lingüístico sean arquitectónica o funcionalmente similares a determinados constructos neurocientíficos. Sería difícil, si no imposible, emprender un ejercicio de modelización por estructuras paralelas utilizando un modelo lingüístico que no incluya nociones como ‘redes’, ‘nodos’, ‘líneas’, ‘activación’, ‘umbrales’ y otros por el estilo.

A pesar de sus méritos, la TRR presenta varias limitaciones. Las redes relacionales no toman en cuenta las diferencias funcionales de los diferentes tipos de neurotransmisores, ni consideran la función de los flujos sanguíneos a nivel cortical. Además, como ya se ha apuntado, pasan por alto el papel de las estructuras subcorticales en el procesamiento lingüístico. También hay carencias en la descripción formal de estructuras y patrones lingüísticos de lenguas distintas del inglés. Lamb (p. ej., 1966, 1980, 1999) ofrece descripciones detalladas del inglés y Lockwood (1972) propone una caracterización general del checo, pero hasta la fecha no se han construido gramáticas relacionales exhaustivas de ninguna otra lengua particular. Éste es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta la teoría de cara al futuro.

Para finalizar, y desde una perspectiva epistemológica, cabe preguntarse hasta qué punto una teoría de este tipo nos permite vislumbrar la posibilidad de un reduccionismo total –es decir, en qué medida resultaría viable llegar a construir una teoría del

lenguaje (y, en sentido más amplio, de la cognición humana) formulada enteramente en términos neurobiológicos o físicos. De manera conservadora, y junto a Caplan (1987), puede decirse que si bien la reducción total de la lingüística y la psicología a las neurociencias no es una posibilidad descartable, tampoco es la única compatible con observaciones empíricas respecto de las correlaciones entre lenguaje y cerebro. Sea cual sea la respuesta definitiva, podemos confiar en que si alguna vez hemos de dar con ella, las contribuciones de teorías construidas mediante la modelización por estructuras paralelas serán inestimables. En ese sentido, la TRR detenta un gran valor teórico y epistemológico para aproximarnos a una concepción realista y empíricamente sólida de la base neurológica del lenguaje humano.

5. Bibliografía citada

- ABELES, Moshe 1991: *Corticomics: Neural Circuits of the Cerebral Cortex*, Cambridge: Cambridge University Press.
- AGLIOTI, Salvatore y Franco FABBRO, 1993: "Paradoxical selective recovery in a bilingual aphasic following subcortical lesions", *NeuroReport* 4, 1359-1362.
- AMUNTS, Katrin, 2008: "Architectonic language research" en Brigitte STEMMER y Harry A. WHITAKER (eds.): *Handbook of the Neuroscience of Language*, Londres: Elsevier, 33-43.
- ARAVENA, Pia, Esteban HURTADO, Rodrigo RIVEROS, Juan Felipe CARDONA, Facundo MANES y Agustín IBÁÑEZ, 2010: "Applauding with closed hands: Neural signature of action-sentence compatibility effects", *PLoS ONE* 5(7), 1-14.
- ARBIB, Michael, Peter ÉRDI y János SZENTÁGOTAI, 1998: *Neural Organization: Structure, Function, and Dynamics*, Cambridge y Londres: MIT Press.
- BORNKESSEL, Ina y Matthias SCHLESEWSKY, 2006: "The extended argument dependency model: A neurocognitive approach to sentence comprehension across languages", *Psychological Review* 113, 787-821.
- BRAITENBERG, Valentino, 1978a: "Cell assemblies in the cerebral cortex" en Roland HEIM y Gunther PALM (eds.): *Theoretical Approaches to Complex Systems*, Berlín: Springer, 171-188.
- , 1978b: "Cortical architectonics: General and areal" en Mary BRAZIER y Hellmuth PETSCHÉ (eds.): *Architectonics of the Cerebral Cortex*, Nueva York: Raven Press, 443-465.
- y Almut SCHÜZ, 1998: *Cortex: Statistics and Geometry of Neuronal Connectivity*, segunda edición, Berlín: Springer.
- BROCA, Paul, 1861: "Remarques sur le siège de la faculté de la parole articulée, suivies d'une observation d'aphémie (perte de parole)", *Bulletin de la Société d'Anatomie* 36, 330-357.

- BURNOD, Yves, 1990: *An Adaptive Neural Network: The Cerebral Cortex*, Londres: Prentice Hall.
- CAPLAN, David, 1987: *Neurolinguistics and Linguistic Aphasiology: An Introduction*, Nueva York: Cambridge University Press.
- CLARK, Andy, 1997: *Being There. Putting Brain, Body, and World Together Again*, Cambridge: MIT Press.
- DAMASIO, Antonio, 1994: *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, Londres: Penguin.
- DAMASIO, Hanna, 1991: "Neuroanatomical correlates of the aphasia" en Martha TAYLOR SARNO (ed.): *Acquired Aphasia*, segunda edición, San Diego: Academic Press, 45-71.
- DEACON, Terrence, 1997: *The Symbolic Species*, Nueva York: Norton.
- FITCH, W. Tecumseh, Marc D. HAUSER y Noam CHOMSKY, 2005: "The evolution of the language faculty: Clarifications and implications", *Cognition* 97, 179-210.
- FREUD, Sigmund, 1953 [1891]: *On Aphasia*, Nueva York: International Universities Press.
- FRIEDERICI, Angela, 2009: "Pathways to language: Fiber tracts in the human brain", *Trends in Cognitive Science* 13(4), 175-81.
- FRISTON, Karl, 2002: "Functional integration and inference in the brain", *Progress in Neurobiology* 68(2), 113-143.
- GARCÍA, Adolfo M., 2010: "Methodological tenets, plausibility and reality in Chomskyan biolinguistics", *Linguistics and the Human Sciences* 3(3), 303-324.
- , 2011: "Cómo la neurolingüística puede contribuir al saber traductológico: De la afasiología a la noción de equivalencia" en José María GIL y Gastón Julián GIL (eds.): *Análisis Epistemológico II*, Mar del Plata: Editorial Martín, 127-136.
- GESCHWIND, Norman, 1964: "The development of the brain and the evolution of language", *Georgetown Round Table on Languages and Linguistics* 17, 155-169.
- , 1965: "Disconnection syndromes in animals and man", *Brain* 88, 237-294.
- GIL, José María, 2009: "Neurología y lingüística: La «Teoría de Redes Relacionales» como una alternativa ante Chomsky", *Revista de Investigación Lingüística* 12, 343-374.
- y Adolfo M. GARCÍA, en prensa: "The limitations of Gricean pragmatics in the study of verbal interaction" en Patricia SUTCLIFF, William J. SULLIVAN y Arle LOMMEL (eds.): *LACUS Forum 36: Mechanisms of Linguistic Behavior*, Houston, Texas: LACUS.
- HAGIWARA, Hiroko, 2006: "The neural basis of syntactic processing in Japanese" en Mineharu NAKAYAMA, Reiko MAZUKA y Yasuhiro SHIRAI (eds.): *The Handbook of East Asian Psycholinguistics. Volume II: Japanese*, Cambridge: Cambridge University Press, 298-306.
- HJELMSLEV, Louis, 1961 [1943]: *Prolegomena to a Theory of Language*, traducción de Francis J. Whitfield, segunda edición, Madison: University of Wisconsin Press.

- HUBEL, David y Torsten N. WIESEL, 1962: "Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex", *Journal of Physiology* 160, 106-154.
- , 1977: "Functional architecture of macaque monkey visual cortex", *Proceedings of the Royal Society of London, B: Biological Sciences* 198, 1-59.
- JACKSON, John Hughlings, 1874: "On the nature of the duality of the brain", *Medical Press and Circular* 1, 19-41.
- KANDEL, Eric, 1991: "Nerve cells and behavior" en Eric KANDEL, James SCHWARTZ y Thomas JESSELL (eds.): *Principles of Neural Science*, tercera edición, Nueva York: Elsevier, 18-34.
- LAMB, Sydney, 1966: *Outline of Stratificational Grammar*, Washington, D.C.: Georgetown University Press.
- , 1980: "A new look at phonotactics" en James COPELAND y Philip DAVIS (eds.): *Papers in Cognitive-Stratificational Linguistics*, *Rice University Studies* 66(2), Houston: Rice, 1-18.
- , 1999: *Pathways of the Brain: The Neurocognitive Basis of Language*, Ámsterdam: John Benjamins.
- , 2004 [1974]: "Language as a network of relationships" en Jonathan WEBSTER (ed.): *Language and Reality. Selected Writings of Sydney Lamb*, Londres: Continuum, 133-75.
- , 2004 [1998]: "Linguistics to the beat of a different drummer" en Jonathan WEBSTER (ed.): *Language and Reality. Selected Writings of Sydney Lamb*, Londres: Continuum, 12-44.
- , 2004 [2001]: "Questions of evidence in neurocognitive linguistics" en Jonathan WEBSTER (ed.): *Language and Reality. Selected Writings of Sydney Lamb*, Londres: Continuum, 254-276.
- , 2004 [2002]: "Learning syntax: A neurocognitive approach" en Jonathan WEBSTER (ed.): *Language and Reality. Selected Writings of Sydney Lamb*, Londres: Continuum, 298-317.
- LOCKWOOD, David, 1972: *Introduction to Stratificational Linguistics*, Nueva York: Harcourt Brace Jovanovich.
- MOUNTCASTLE, Vernon, 1998: *Perceptual Neuroscience: The Cerebral Cortex*, Cambridge: Harvard University Press.
- OBLER, Loraine K. y Kris GJERLOW, 1999: *Language and the Brain*, Cambridge: Cambridge University Press.
- PARADIS, Michel, 1989: "Bilingual and polyglot aphasia" en François BOLLER y Jordan GRAFMAN (eds.): *Handbook of Neuropsychology* Vol. 2, Ámsterdam: Elsevier, 117-140.
- , 1994: "Neurolinguistic aspects of implicit and explicit memory: Implications for bilingualism" en Nick C. ELLIS (ed.): *Implicit and explicit learning of Second Languages*, Londres: Academic Press, 393-419.
- PEIRCE, Charles Sanders, 1955 [1897 y 1903]: "Logic as semiotic: The theory of signs" en Justus BUCHLER (ed.): *The Philosophical Writings of Peirce*, Nueva York: Dover Books, 98-119.

- POEPEL, David y David EMBICK, 2005: "Defining the relation between linguistics and neuroscience" en Anne CUTLER (ed.): *Twenty-First Century Psycholinguistics: Four Cornerstones*, Mahwah, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum, 103-118.
- PULVERMÜLLER, Friedemann, 2002: *The Neuroscience of Language*, Cambridge: Cambridge University Press.
- y Luciano FADIGA, 2010: "Active perception: Sensorimotor circuits as a cortical basis for language", *Nature Reviews Neuroscience* 11, 351-360.
- QUIAN QUIROGA, Rodrigo, Leila REDDY, Gabriel KREIMAN, Christof KOCH e Itzhak FRIED, 2005: "Invariant visual representation by single neurons in the human brain", *Nature* 435: 1102-1107.
- ROSCH, Eleanor, 1977: "Human categorization" en Neil WARREN (ed.): *Studies in Cross-Cultural Psychology*, Vol. I, San Diego: Academic Press, 1-72.
- , 1981: "Categorization of natural objects", *Annual Review of Psychology* 32, 89-115.
- RUMELHART, David E. y James L. McCLELLAND, 1986: *Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition*, Cambridge: MIT Press.
- SCHNITZER, Marc, 1978: "Towards a neurolinguistic theory of language", *Brain and Language* 6(3), 342-361.
- TUCKER, Don M., Gwen FRISHKOFF y Phan LUU, 2008: "Microgenesis of language: Vertical integration of linguistic mechanisms across the neuraxis" en Brigitte STEMMER y Harry A. WHITAKER (eds.): *Handbook of the Neuroscience of Language*, Londres: Elsevier, 45-55.
- VARELA, Francisco J., Evan THOMPSON y Eleanor ROSCH, 1991: *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge: MIT Press.
- WICKENS, Jeffery R., 1993: *A Theory of the Striatum*, Oxford: Pergamon Press.
- ZHANG, Yang, Patricia KUHL, Toshiaki IMADA, Makoto KOTANI y Yoh'ichi TOHKURA, 2005: "Effects of language experience: Neural commitment to language-specific auditory patterns", *Neuroimage* 26, 703-720.
- , Patricia KUHL, Toshiaki IMADA, Paul IVERSON, John PRUITT, Erica B. STEVENS, Masaki KAWAKATSU, Yoh'ichi TOHKURA e Iku NEMOTO, 2009: "Neural signatures of phonetic learning in adulthood: A magnetoencephalography study", *Neuroimage* 46, 226-240.

