



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN PSICOLOGIA
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

APRENDIZAJE Y PLASTICIDAD EN REDES NEURONALES: AFASIA
DE BROCA EN LA LENGUA ESPAÑOLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

DOCTOR EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A

EDUARDO HERNANDEZ PADILLA

JURADO DE EXAMEN DE GRADO
DIRECTORA: DRA. FEGGY OSTROSKY SOLIS
COMITÉ: DR. JOSE MARCOS ORTEGA
DRA. ELDA ALICIA ALVA CANTO
DRA. DOLORES RODRÍGUEZ
DR. GERMAN PALAFOX PALAFOX
DR. SERGIO EDUARDO BOGARD SIERRA
DR. PEDRO MARTIN BUTRAGUEÑO

MEXICO D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A todos los miembros del comité por sus observaciones y apoyo en la realización de este trabajo: Dra. Feggy Ostrosky Solis; Dr. José Marcos Ortega; Dra. Elda Alicia Alva Canto; Dra. Dolores Rodríguez; Dr. Germán Palafox Palafox; Dr. Sergio Eduardo Bogard Sierra, y Dr. Pedro Martín Butragueño.

De manera particular, a los integrantes del Laboratorio de Psicofisiología por sus valiosos comentarios.

Dedicatoria

A mi familia.

INDICE

<i>RESUMEN</i>	<i>1</i>
<i>INTRODUCCION</i>	<i>3</i>
<i>Capítulo I. AFASIA</i>	<i>8</i>
<i>Capítulo II. PLASTICIDAD</i>	<i>25</i>
<i>Capítulo III. MODELOS CONEXIONISTAS</i>	<i>37</i>
<i>Capítulo IV. SIMULACIÓN DE LA AFASIA DE BROCA Y PLASTICIDAD EN MODELOS CONEXIONISTAS</i>	<i>56</i>
<i>MÉTODO</i>	<i>65</i>
<i>RESULTADOS</i>	<i>81</i>
<i>DISCUSION</i>	<i>119</i>
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>129</i>
<i>REFERENCIAS</i>	<i>130</i>

Resumen

Diversos estudios han demostrado que no es posible una caracterización apropiada de la Afasia de Broca en la lengua española basándose en los hallazgos obtenidos en otras lenguas, como el inglés. Marcos y Ostrosky a lo largo de distintos trabajos (Marcos, Ostrosky & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos, Ardila, Rosselli & Palacios, 1999; Ostrosky, Marcos, Palacios, Chávez & Leiva, 1996; Ostrosky, Rigalt & Marcos, 1996) han reportado que el orden de los constituyentes, la preposición *a* y el nivel de determinación son las marcas o características relevantes en la comprensión del lenguaje de los hispanohablantes.

En el presente trabajo se empleó la propuesta de los modelos conexionistas para simular un trastorno tipo afasia de Broca en la lengua española y la posible recuperación de las funciones perdidas (plasticidad). Esta simulación replicó una tarea de identificación de papeles temáticos en oraciones activas simples; en dicha tarea se consideraron los factores influyentes reportados en los estudios realizados en español arriba citados. Los resultados de estos estudios permitieron comparar el desempeño de del modelo en la simulación de la afasia de Broca en una tarea análoga.

Se diseñó una red neuronal de anteroalimentación (*feedforward*) compuesta de 189 nodos organizados en tres capas: la primera constituida por 98 nodos de registro; la segunda, de procesamiento interno con 49 nodos; y finalmente, en el nivel de producción, otros 49 nodos conforman la tercera capa.

Se establecieron tres condiciones para la red: a) normal, sin alteraciones; b) lesión por retiro de nodos (limitación del 60% de la capacidad de procesamiento de los nodos internos); y c) lesión por restricción de conexiones (limitación del 60% en el traslado de la información de nodos de registro a nodos internos). En cada condición la red fue confrontada ante dos corpus análogos de oraciones activas simples (de entrenamiento y de evaluación), en las cuales cada sustantivo podía asumir ambos papeles temáticos, los cuales poseían igual o diferente nivel de determinación.

Los resultados obtenidos en la presente simulación coinciden con los hallazgos obtenidos por Marcos y Ostrosky (Marcos, Ostrosky & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos, Ardila, Rosselli & Palacios, 1999; Ostrosky, Marcos, Palacios, Chávez & Leiva, 1996; Ostrosky, Rigalt & Marcos, 1996): la preposición *a* es el elemento de la oración que se empleó de manera más constante y confiable en la solución de la tarea; por su parte, el orden de los constituyentes tuvo una importancia relativa y menor.

Concretamente, el modelo usado en este trabajo consistentemente empleó algunas de las regularidades contenidas en las oraciones para la identificación de los papeles temáticos, siendo la preposición el elemento más usado. Asimismo, se observaron diferencias significativas en las estrategias empleadas para la identificación de los papeles temáticos que pueden ser atribuibles al tipo de daño ocasionado al modelo. En su mayor parte, estas estrategias implementadas por el modelo prevalecieron cuando el mismo fue sometido a un conjunto semejante de oraciones activas simples.

Las estrategias empleadas por el modelo en las distintas condiciones de lesión, sugieren que en un modelo conexionista el trastorno tipo Afasia de Broca representa una interrupción del proceso en la toma de decisiones, debido a la limitada capacidad en el procesamiento individual de los componentes de la oración en la condición de lesión mediante retiro de nodos. El comportamiento de este modelo replicó de manera más próxima los resultados obtenidos en hispanohablantes en una tarea análoga: el empleo

recurrente de la preposición *a* para la identificación de los papeles temáticos en oraciones activas simples y la importancia secundaria del orden de los constituyentes de la oración (Sujeto, Verbo y Objeto) y del nivel de determinación de los artículos.

Asimismo, el modelo de lesión por retiro de nodos mostró desempeño más consistente con nuevas oraciones; ante este nuevo corpus de estímulos, el modelo empleó con mayor frecuencia la preposición *a* en la solución de la tarea. Por su parte, en la lesión por restricción internodal el desempeño en la tarea fue menos eficiente y no fue posible identificar una estrategia clara en la identificación de los papeles temáticos.

El modelo conexionista que simuló una tarea de identificación de los papeles temáticos, en oraciones simples activas, registró de manera individual y simultánea cada uno de los constituyentes de aquéllas. El comportamiento mostrado por la misma simula al exhibido por pacientes con afasia de Broca en una tarea análoga.

Cabe señalar que las variaciones en el comportamiento de los modelos ante los conjuntos inicial y el posterior de oraciones pueden ser debidas a la presentación de estos estímulos. Los modelos de lesionados fueron evaluados en su primera instancia con el conjunto de oraciones con el cual tuvieron el aprendizaje previo al daño, por lo que su desempeño aunque atribuible al uso de las regularidades de las oraciones también sea debido al conocimiento de las mismas. Por su parte, en la segunda evaluación del desempeño ninguno de los modelos, tanto el normal como los lesionados, se habían enfrentado ante el nuevo conjunto de oraciones. La consecuencia de esta falta de experiencia podría explicar la menor precisión en la identificación de los papeles temáticos y en el uso de las regularidades.

En ambos casos, pese a la posible interferencia en la evaluación inicial del conocimiento de las oraciones, el mayor y más constante uso de la preposición en el modelo lesionado por retiro de nodos aun apoyaría los hallazgos aquí indicados.

INTRODUCCION

El trastorno tipo afasia consiste en la pérdida o deterioro de las funciones lingüísticas provocado por un daño cerebral, el cual ocurre en la corteza y/o en las estructuras cerebrales asociadas con el lenguaje siendo consecuencia de traumatismos, infartos, infecciones, etc. Las variaciones en las alteraciones del lenguaje y en las zonas cerebrales donde ocurrió el daño determinan la existencia de distintos tipos de afasia (Benson & Ardila, 1996).

De manera particular, la afasia tipo Broca se caracteriza por presentar a) alteraciones del habla en el ámbito fonético, que se reflejan en la omisión o sustitución de fonemas; b) errores en la nominación y en la escritura; y c) principalmente, un habla rica en palabras contenido (como los sustantivos, los verbos, etc.) pero carente de elementos funcionales (p. ej., los adverbios, la conjunciones, etc.); lo que se ha denominado agramatismo. Asimismo, existen deficiencias en la comprensión lingüística las cuales dependen de la complejidad sintáctica de las oraciones a las que se enfrentan los pacientes afásicos (Caramazza & Zurif, 1976).

El método empleado en el trabajo de Caramazza y Zurif (1976) ha significado una importante contribución al estudio de la comprensión en la afasia de Broca. Dicho método consiste en la identificación de los papeles temáticos en una tarea de elección forzada, donde los sujetos deben elegir la imagen que mejor represente el sentido de diversas oraciones con distintas estructuras lingüísticas, entre varias opciones de imágenes posibles.

El estudio de la identificación de los papeles temáticos por los hablantes de una lengua reviste una gran importancia en la caracterización de los procesos cognoscitivos; diversos trabajos en la lengua inglesa han demostrado la importancia que tiene el orden

de los constituyentes de las oraciones (el Sujeto, el Verbo y el Objeto) en la comprensión del lenguaje. No obstante, en la lengua española es necesario considerar que, al igual que en la lengua inglesa, son las características particulares las que guían la interpretación e identificación de los papeles temáticos.

Los trabajos de Marcos y Ostrosky (Marcos, Ostrosky & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos & Ardila, 2003; Ostrosky, Marcos, Ardila, Rosselli & Palacios, 1999; Ostrosky, Marcos, Palacios, Chávez & Leiva, 1996; Ostrosky, Rigalt & Marcos, 1996) han demostrado que las estrategias empleadas por hispanohablantes normales y afásicos al identificar los papeles temáticos difieren de las encontradas en lenguas como el italiano, danés y especialmente el inglés. Estas estrategias son empleadas jerárquicamente, donde la elección basada en el conocimiento del orden canónico Sujeto-Verbo-Objeto de los constituyentes de la oración es menos empleada y menos confiable que la basada en el conocimiento de las funciones de la preposición *a*.

La recuperación de las funciones cerebrales, generales y lingüísticas, que fueron perdidas como consecuencia de los traumatismos, infartos, infecciones, etc. (Ziemann, Hallet & Cohen, 1998, Kolb & Wishaw, 1998 y Castro-Viejo, 1996), es la recuperación de las funciones lingüísticas perdidas, ha sido denominada plasticidad cerebral, misma que es considerada una característica común de todos los cerebros humanos (Zohary, Celebrini, Britten & Newsome, 1994).

La plasticidad puede presentarse en diversas formas depende de las estructuras cerebrales que participan en la recuperación (Grafman, 2000). Al presente, se han reportado diversos mecanismos de plasticidad cerebral, tales como el desenmascaramiento de vías (Heiss, Kessler, Thiel, Ghaemi & Karbe, 1999), la adaptación de regiones homólogas (Giraud, Price, Graham & Frackowiak, 2001), la activación de áreas aledañas (Warburton, Price, Swinburn & Wise, 1999); y

recientemente, la neurogénesis - la cual consiste en la regeneración de algunas estructuras cerebrales mediante la producción de células madre en el hipocampo, las cuales emigran a cierta áreas cerebrales donde adquieren las propiedades de las neuronas ahí contenidas (Kempermann & Gage, 1998).

Tocante a la afasia diversos estudios han reportado consistentemente la aparición de dos tipos de plasticidad, sin que exista evidencia concluyente apoyando alguno de ellos. Por un lado, se ha reportado que la recuperación de algunas de las funciones perdidas se debe al incremento en la actividad de áreas homólogas en el hemisferio opuesto (e.g., Cappa, Perani, Grassi, Bressi, Alberoni, Franceschi et al., 1997); y por otra parte, al incremento de la actividad en las zonas aledañas a donde ocurrió el daño (e.g., Pizzamaglio, Galato & Comiteri, 2001; Thomas, Altenmüller, Marckmann, Kahrs & Dichgans, 1997). Esta divergencia en los resultados ha planteado un debate sobre los niveles de recuperación que se obtienen por uno y otro tipo de plasticidad, así como los beneficios funcionales que cada una de ellos brinda. Una propuesta ofrecida por Pizzamaglio y cols. (2001) considera que la activación de áreas homólogas es un efecto disruptivo de la lesión como consecuencia del daño en algunas estructuras del hemisferio izquierdo más que un efecto de reorganización cortical. Bajo este esquema las fallas en la recuperación del hemisferio derecho serían el resultado de un mal proceso adaptativo que provoca la persistencia del déficit.

La falta de control en factores que han demostrado ser relevantes e influyentes en la recuperación de funciones como el sexo, la edad, la educación, la experiencia, etc., ha representado una de las mayores dificultades en el estudio de la plasticidad cerebral, por lo que es necesaria la consideración de otras alternativas que permitan algún tipo de aproximación plausible y confiable. Una de ellas son los modelos conexionistas, simulaciones de redes neuronales que operan bajo los principios computacionales del

cerebro (McLeod, Plunkett & Rolls, 1998). Los modelos conexionistas, los cuales han sido exitosos en la simulación de procesos cognoscitivos superiores del ser humano (Westermann & Mareschal, 2005 y Elman, Bates, Johnson, Karmiloff-Smith, Parisi, & Plunkett, 1996) brindan una oportunidad para comprender el proceso de la plasticidad.

Pese a la amplia difusión y utilidad que ha mostrado el empleo de los modelos conexionistas en la simulación de trastornos del lenguaje, estos se han centrado en la dislexia (Plaut, 1999, 1996; Reggia, Ruppin & Sloan-Berndt, 1997), dejando de lado otros trastornos lingüísticos importantes como el afasia de Broca.

Un modelo conexionista que replique los hallazgos obtenidos en hispanohablantes mexicanos por Marcos y Ostrosky debería representar las limitaciones en la capacidad del procesamiento de la información (Lukatela, Shankweiler, & Crain, 1995) por el reducido número de unidades de procesamiento o nodos. El restablecimiento, total o parcial, de la actividad previa al daño por parte del modelo debería ser mejor lograda cuando las funciones perdidas sean recuperadas por los nodos vecinos a la zona dañada, más que por las conexiones existentes pero no utilizadas previamente (Kilbor & Friederici, 1994 y Friederici & Kilborn, 1989).

El presente trabajo, fundamentado en los estudios que se han realizado sobre la afasia de Broca en México, se organizó en siete capítulos de la siguiente forma:

En el capítulo uno se aborda la definición de Afasia y se indican algunos de los diversos tipos en los que se clasifica, haciendo énfasis en la Afasia de Broca, así como sus características; de esta última se citan diversos estudios en los que evalúan sus efectos en la comprensión de la lengua española. El capítulo dos presenta la recuperación de las funciones perdidas, la plasticidad, a su vez mostrando los diversos tipos de recuperación que pueden ocurrir, revisándose aquéllos comunes en la Afasia.

La propuesta de los modelos conexionistas se presenta en el capítulo tres, en él se describen los principales fundamentos y propuestas del conexionismo, enfatizando la importancia y valor que tienen las simulaciones en el estudio de un fenómeno cualquiera de interés.

La pregunta de investigación, su justificación, sus objetivos, así como las hipótesis derivadas se describen en el capítulo cuatro.

El método empleado en el presente trabajo se muestra en el capítulo cinco, el cual describe la propuesta del diseño del modelo conexionista, el tipo de información estudiada y su representación en la tarea a realizar por el modelo. De igual forma, se describen las lesiones causadas a dicho modelo, las cuales son alteraciones a los procesos mediante modificaciones en la arquitectura o las conexiones, así como las características de cada una de ellas.

Los resultados de las simulaciones y sus análisis estadísticos se presentan en el capítulo seis. Finalmente, se realiza una breve discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo en el capítulo siete.

Afasia

Después de una lesión cerebral, particularmente de un traumatismo, uno de los deterioros cognoscitivos que ocurren con más frecuencia es el lingüístico, siendo conocido como afasia. Dicho trastorno se caracteriza por presentar dificultad en la producción, la comprensión, denominación y/o repetición del lenguaje (Benson & Ardila, 1996). Sin embargo, la etiología de la afasia no se limita a los traumatismos, además se incluyen causas múltiples como los trastornos vasculares (embolias, trombosis y hemorragias), neoplasmas, infecciones (cisticercosis y encefalitis simple por herpes), y alteraciones generales del funcionamiento cerebral como las epilepsias.

Existen diferentes tipos de afasia como consecuencia de las diferentes alteraciones lingüísticas que, a su vez, son producto de las regiones cerebrales donde ocurrió el daño. Debido a la falta de cohesión de los síndromes, es decir, a la carencia de un conjunto único y específico de síntomas, y al gran número de etiquetas empleadas, se han utilizado diversos esquemas de clasificación basados en la ubicación anatómica del daño, o en el deterioro ocurrido en el lenguaje, siendo válidos ambos criterios pero poseedores de limitaciones (Benson & Ardila, 1996). De igual manera, un mismo tipo de afasia puede recibir distintos nombres y etiquetas, que son justificados por los esquemas de clasificación, demostrando que pese a la atención que ha merecido existe poco consenso.

Las afasias han sido tradicionalmente clasificadas en dicotomías. La clasificación original de Wernicke (Benson & Ardila, 1996), que dividía la afasia en sensorial y motora, tenía fundamentos neuroanatómicos, ubicaba el deterioro de las actividades sensoriales y motoras en las áreas corticales anteriores y posteriores del hemisferio izquierdo. La clasificación de afasia fluente y no-fluente también se basa en

la ubicación del daño en la corteza cerebral sin considerar las características del deterioro lingüístico. Otra dicotomía de clasificación, aunque con bases lingüísticas, es la división entre afasia expresiva y receptiva (Weisenburg & McBride, 1935, cit. en Palacios, 1998), la cual muestra que el deterioro de algunas de las funciones de comprensión y producción no es exclusivo en el padecimiento de una persona. Otras clasificaciones dicotómicas se basan en aspectos estrictamente lingüísticos (e.g. paradigmática y sintagmática, codificación y no codificación). Cabe señalar que de acuerdo a los estudios realizados en pacientes afásicos, no es viable una definición de afasia basada exclusivamente en los aspectos localizacionistas o funcionalistas debido a que ninguna categoría cumple puntualmente la sintomatología de cada daño (Zurif, 1998).

Las mejoras en las técnicas no-invasivas de imaginería cerebral han permitido una mayor precisión en la localización anatómica del daño, gracias a la cual se han identificado varios subtipos de afasia. Dicha identificación se basa en la ubicación anatómica de las lesiones, así como en las funciones deterioradas de las áreas dañadas en cuestión. Evidencia de esta clasificación basada en ambos tipos de alteración es el trabajo de Zurif (1998), que muestra evidencia de que una clasificación entre las afasias de Broca y Wernicke no sólo presenta diferencias en la localización cortical, sino también en las funciones y los procesamientos lingüísticos alterados.

Como consecuencia de los diversos esquemas de clasificación y la falta de consenso en los criterios, Benson y Ardila (1996) propusieron un esquema de categorización que integrara tanto la ubicación neuroanatómica del daño así como las funciones lingüísticas perdidas en el mismo.

En la distinción basada en la anatomía cerebral, los autores dividen las afasias en dos grupos respecto a su ubicación cortical: primero, por su posición respecto a la

cisura de Rolando, las pertenecientes a las áreas anteriores y posteriores a la misma; la segunda referencia anatómica, la cisura de Silvio, está asociada con los aspectos funcionales del lenguaje donde las regiones circundantes a la misma (*perisilvianas*) se relacionan con aspectos lingüísticos, mientras que las más alejadas a dicha cisura se relacionan con aspectos cognoscitivos más generales. La combinación de estos dos puntos resulta en cuatro distintos grupos de afasias, donde en cada grupo los criterios funcionales permiten subdivisiones extras (ver Tabla 1).

Tabla 1. Esquema de clasificación de las afasias propuesto por Benson y Ardila (1996). Los subtipos de un mismo síndrome se deben a las estructuras biológicas dañadas y al nivel del deterioro lingüístico.

	<i>Área Prerrolándica</i>	<i>Área Posrrolándica</i>
<i>Perisilviana</i>	<p>Afasia de Broca Tipo I (Síndrome Triangular)</p> <p>Afasia de Broca Tipo II (Síndrome Triangular-Opercular-Insular)</p>	<p>Afasia de Conducción (Síndrome Parietal Insular)</p> <p>Afasia de Wernicke Tipo I (Síndrome del Istmo Posterior-Insular-Temporal)</p> <p>Afasia de Wernicke Tipo II (Síndrome del Giro Temporal Medio y Superior)</p>
<i>Extrasilviana</i>	<p>Afasia Motora Extrasilviana Tipo I (Síndrome Prefrontal Dorsolateral Izquierdo)</p> <p>Afasia Motora Extrasilviana Tipo II (Síndrome del Área Motora Suplementaria)</p>	<p>Afasia Sensorial Extrasilviana Tipo I (Síndrome Temporooccipital)</p> <p>Afasia Sensorial Extrasilviana Tipo II (Síndrome Angular y Parieto Occipital)</p>

En la zona del lenguaje previa a la cisura de Rolando (*prerrolándica*) y próxima a la de Silvio (*perisilviana*) se hallan las afasias de Broca tipo I (síndrome triangular) y tipo II (síndrome triangular-opercular-insular). En la misma zona *prerrolándica*, pero distante de la cisura de Silvio (*extrasilviana*), se encuentran las afasias motora *extrasilviana* tipo I (síndrome prefrontal dorsolateral izquierdo) y tipo II (síndrome suplementario del área motora).

Área prerrolándica y perisilviana

La afasia de Broca tipo I muestra la preservación de una sintaxis simplificada, aunque incorrecta, por lo que no se observa un agramatismo total; por su parte, la disprosodia, los problemas en la articulación, las parafasias fonémicas y la repetición muestran una rápida mejoría posterior a la lesión. Finalmente, la comprensión del lenguaje es buena excepto en estructuras sintácticas difíciles.

La afasia de Broca II se caracteriza por una producción verbal no fluente, con abundancia palabras contenido o semánticamente significativas (sustantivos, verbos, adjetivos, etc.) pero con carencia de estructuras sintácticas y palabras función (conjunciones, adverbios, artículos, etc.), fenómeno al que se ha denominado agramatismo. Asimismo, se observan alteraciones en el ritmo, la flexión, la melodía (disprosodia). Por otro lado, la comprensión del lenguaje hablado aunque es mejor que la producción, se encuentra por debajo de un nivel normal, en particular ante estructuras gramaticalmente complejas.

Área prerrolándica y extrasilviana

El afasia motora extrasilviana (transcortical) tipo I, se caracteriza por mostrar una producción verbal alienada no fluente, donde la producción espontánea muestra un notable decremento, aunque existe una buena comprensión y repetición del lenguaje hablado. Del mismo modo, se observa ecolalia (el empleo reiterativo de palabras y estructuras gramaticales escuchadas en la emisión verbal previa), respuestas perseverativas y el reducido manejo de estructuras lingüísticas complejas en el lenguaje hablado. La nominación muestra principalmente tres tipos de errores: perseveración, fragmentación y parafasias extravagantes.

El afasia motora extrasilvana (transcortical) tipo II, la producción verbal no es fluida y está alterada la claridad del habla (hopofonia primaria). No obstante, la comprensión, la repetición del lenguaje y la nominación se encuentran intactas. La escritura muestra ocasionalmente paragrafías, además de ser muy lenta y elaborada.

En la zona posterior a la cisura de Rolando (posrrolándica) se encuentran la afasia de conducción (síndrome parietal-insular), y las afasias de Wernicke tipo I (síndrome del istmo posterior insular-temporal) y tipo II (síndrome del giro superior y medio temporal). Finalmente, en la zona extrasilvana se halla la afasia sensorial extrasilvana tipo I (síndrome tempooccipital) y la tipo II (síndrome parietooccipital y angular).

Área posrrolándica y perisilvana

En el afasia de conducción existen anomalías en la repetición, el habla conversacional es parafásica fluente con gran número de parafasias literales, y la comprensión lingüística es casi normal. Asimismo, se presentan cinco alteraciones secundarias que no son observables en todos los pacientes con este trastorno: a) en la nominación, b) en la comprensión lectora, c) en la escritura, d) apraxia ideomotora, y e) anomalía neurológica elemental.

El afasia de Wernicke tipo I muestra una mayor dificultad en la comprensión del lenguaje hablado que del escrito, debida a que la “sordera” de la palabra (*word-deafness*, la incapacidad para discriminar sonidos del lenguaje pese a que las habilidades auditivas para distinguir entre sonidos no vinculados al lenguaje se hallan intactas) es mayor que la “ceguera” de la palabra (*word-blindness*). Dicha incapacidad

para discriminar sonidos del lenguaje afecta severamente la escritura de un dictado y la repetición de palabras.

En el afasia de Wernicke tipo II la comprensión y la repetición del lenguaje se encuentran bien preservadas. Por su parte, la producción verbal, con o sin la presencia de logorrea, es bien articulada mostrando una prosodia adecuada aunque con paragramatismo (un exceso de morfemas gramaticales). El desempeño en la repetición depende del tamaño de las secuencias de elementos, siendo buena en series cortas como palabras aisladas, y deficiente en frases u oraciones. La comprensión, la escritura y la lectura muestran niveles de deterioro similares que la producción verbal.

Área posrolándica y extrasilvana

En el afasia sensorial extrasilvana (transcortical) tipo I, la producción verbal es fluida aunque con parafasias frecuentes y la omisión de palabras con contenido (principalmente, nombres propios). Por su parte, la comprensión y la nominación se encuentran severamente alteradas; asimismo, la lectura y escritura presentan deterioro en grado variable.

El afasia sensorial extrasilvana (transcortical) tipo II, se caracteriza por una producción verbal fluida con algunas parafasias semánticas, aunque desprovista de palabras semánticamente significativas y con empleo abundante de circunloquios como consecuencia de un léxico muy limitado. La escritura como la lectura se encuentran seriamente alteradas, mientras que el estado de la comprensión lingüística es variable, y la repetición no muestra alteraciones.

En el afasia mixta extrasilvana (transcortical) la habilidad para repetir está relativamente intacta aunque hay alteraciones en otras áreas del lenguaje como en la

producción verbal, la cual consiste básicamente en ecolalia. La comprensión también se encuentra alterada, al igual que la lectura y la escritura.

En el esquema de Benson y Ardila (1996), el afasia de Broca y el de Wernicke comparte dos características: están circunscritas a la misma zona de la corteza cerebral (la cisura de Silvio del hemisferio dominante) y muestran dificultad en la repetición del lenguaje hablado. Pese a estas semejanzas, la afasia de Broca se caracteriza principalmente por el agramatismo en el habla, la cual es de pobre calidad sintáctica por la ausencia de funtores, aunque rica en significados por su alto contenido de verbos y sustantivos. El habla de los afásicos de Broca no posee fluidez y tiene alteraciones en el ritmo de la misma (disprosodia).

La clasificación de la afasia de Broca en los tipos I y II de los autores es debida a las diferencias de los síntomas, al curso de los mismos y a la recuperación ocurrida posteriormente. En la afasia de Broca Tipo I, cuyo daño cerebral se halla en las estructuras corticales y subcorticales inmediatas y es menor que en el Tipo II, muestra alteraciones en la prosodia, en el reconocimiento de palabras y en la articulación, mientras que la extensión de las oraciones producidas es generalmente corta. El agramatismo, característico de los afásicos de Broca, es reducido por lo que la comprensión del lenguaje no muestra deterioro, excepto cuando el hablante dependa en gran medida de la sintaxis.

La afasia de Broca Tipo II, provocada por un daño más extenso en el cerebro que comprende la opércula, el giro precentral, la ínsula anterior, la materia blanca periventricular y/o la materia blanca profunda al córtex inferior posterior, exhibe mutismo post-lesión y lentitud en el habla, así como habilidad gramatical restringida y déficit léxico.

Si bien las áreas de Broca y Wernicke han sido reconocidas como los centros del lenguaje, no son exclusivamente el sustrato fisiológico del mismo. Varios estudios han mostrado que aspectos circunscritos al lenguaje dependen de regiones o rutas diferentes a las arriba relatadas. Tales investigaciones han sido realizadas en la comparación del habla no propositiva versus propositiva, donde también se emplearon regiones posteriores-inferiores parietales, anterolaterales medial temporal y medial prefrontal (Blank et al., 2002). Así, en la recuperación semántica y léxica, donde los resultados con PET (por las siglas en inglés de la tomografía por emisión de positrones) muestran que algunos aspectos del habla (como la nominación) no implican necesariamente las zonas de Wernicke y Broca (Etard et al., 2000).

Afasia de Broca

La afasia de Broca, nombrada *afemia* por el mismo Broca (Pinker, 2000), es también conocida como afasia eferente, motor cinética, expresiva o sintáctica. Este trastorno se caracteriza por la ausencia de palabras funcionales y morfemas gramaticales libres en el habla, la cual aunque es rica en contenidos posee un carácter “telegráfico” (Bastiaanse et al., 2003); la repetición, la nominación y las habilidades de lectoescritura presentan dificultades (Benson & Ardila, 1996); también existe una inadecuada flexión verbal (Friedmann & Shapiro, 2003).

A partir del surgimiento de la gramática generativa transformacional (Chomsky, 1957), la afasia de Broca recibió mucha atención en el estudio de los trastornos del lenguaje. Particularmente, el agramatismo de la producción verbal fue uno de los signos que recibió más atención durante mucho tiempo.

Sin embargo, fueron Caramazza y Zurif (1976) quienes cuestionaron el estado aparentemente inalterado de la gramática en la comprensión. Los autores sugirieron que si aquella se encontraba perturbada en la producción también debería de observarse algún daño en la comprensión del lenguaje. En su trabajo, los autores emplearon un método que ha sido recurrentemente utilizado en los estudios sobre comprensión en afasia. Dicho método consiste en una tarea de elección forzada donde el sujeto debe identificar los papeles temáticos de oraciones con diferentes estructuras sintácticas (el agente o ejecutor de la acción, la acción misma y el paciente o receptor de aquella), las cuales eran representadas gráficamente.¹

En dicho estudio los autores reportaron una fuerte asociación entre la producción y la comprensión de los afásicos de Broca, donde el deterioro ocurre en los procesos de

¹ La información léxica de una palabra contiene a su vez su información temática, donde cada argumento de un predicado asume un papel temático en particular. Las funciones o papeles temáticos que los argumentos pueden asumir conforman un conjunto restringido, finito y universal. En dicho conjunto, los papeles temáticos comúnmente sugeridos son *Tema* o *Paciente*, *Agente* o *Actor*, *Experimentador*, *Benefactor*, *Instrumento*, *Locación*, *Meta* u *Objetivo* y *Fuente*. Al parecer, existen un conjunto de principios (universales y particulares de la lengua) los cuales correlacionan con las funciones temáticas de los argumentos con su función gramatical (Radford, 1988).

tipo sintáctico. A saber de Caramazza y Zurif, los pacientes se confrontaban ante la tarea empleando una estrategia basada en la regularidad del orden sustantivo-verbo como un indicio de la relación actor-acción (dando por lo tanto el valor de sujeto de la oración al sustantivo que aparece antes del verbo).

Pese a la aparente simplicidad en la tarea de los estudios que emplean el método originalmente propuesto por Caramazza y Zurif, la identificación de los papeles temáticos en una oración, tienen un papel muy importante en la caracterización del lenguaje desde la posición psicolingüística y neurolingüística (Marcos, Ostrosky y Ardila, 2003).

Este tipo de caracterización ha demostrado que los hablantes conocen la existencia de un orden de los constituyentes de la oración (el Sujeto, el Verbo y el Objeto, o SVO) con una elevada frecuencia de empleo en algunas lenguas, el cual es conocido como orden canónico (Ostrosky, Marcos et al., 1999)². Dicho conocimiento permite que los sujetos con afasia de Broca empleen el orden como una estrategia en la identificación de los papeles temáticos, siendo un recurso confiable a lo largo de distintas lenguas, como lo muestran los diversos estudios que se citan a continuación.

En la lengua holandesa, Bastiaanse y cols. (2003) encontraron que individuos con afasia tipo Broca mostraron dificultades en la identificación de los papeles temáticos en oraciones que no pertenecían al orden canónico (que en dicha lengua es SOV). Asimismo, los autores reportaron que la identificación de la estructura de la oración, la cual permitiría reconocer los nuevos elementos de la misma, no fue

² De acuerdo a la combinatoria de los tres constituyentes de la oración hay seis posibilidades lógicas de disposición: (a) SOV, (b) SVO, (c) VSO, (d) VOS, (e) OVS y (f) OSV. Los tipos a, b y c se ajustan al universal establecido y la inmensa mayoría de las lenguas pertenecen a alguno de estos tres tipos. El tipo d tiene pocos representantes, e menos aún y f, al parecer aunque posible, no ha sido demostrada su existencia. Sin embargo, también es posible que las lenguas no tengan necesariamente un orden básico de constituyentes. La distribución de estos tipos entre las lenguas del mundo se inclina hacia los tres primeros, particularmente hacia los dos primeros; los testimonios sobre los cinco primeros órdenes básicos de las palabras ya se han encontrado, quedando aún pendiente las pruebas de lenguas con orden OSV. Existen lenguas que suelen describirse como de orden de palabras libre, es decir no existe un orden básico. Sin embargo, aún en este tipo de lenguas alguna orientación de las palabras es más frecuente que el resto de los posibles (Comrie, 1989).

empleada como una estrategia para resolver la comprensión de las oraciones. Por su parte, Friedmann y Shapiro (2003) observaron que pacientes afásicos de lengua hebrea mostraron dificultades en la comprensión de oraciones con estructuras OSV y OVS en comparación con el desempeño exhibido ante el orden canónico SVO en dicha lengua.

De la misma forma, estudios realizados en diversas lenguas han encontrado diferencias en los órdenes canónicos de las mismas: en italiano, Bates y cols. (1987a y b) reportaron la existencia de una disposición SVO, mientras que en lengua japonesa Hagiwara y Caplan (1990) encontraron que el orden canónico era SOV. Sin embargo, pese a la constancia en el empleo del orden de los constituyentes de la oración como estrategia en la identificación de los papeles temáticos, la validez y generalización de la misma puede ser puesta en entredicho.

En lengua inglesa, Beeke y cols. (2003) observaron el desempeño de un paciente afásico tipo Broca en situaciones naturales de conversación y estructuradas de evaluación. Dicho desempeño fue estimado a través del uso de las oraciones del tipo SVO (Sujeto-Verbo-Objeto). Los autores reportaron un mayor empleo de las oraciones del tipo SVO bajo condiciones estructuradas que en situaciones de conversación, lo que sugiere que cada situación valora aspectos distintos y complementarios del lenguaje limitando su generalización entre diversas situaciones de evaluación.

Es importante cuestionar si los resultados encontrados en lenguas distintas al español son aplicables a éste. Debe considerarse que las particularidades de una lengua la hacen única y, por lo tanto, esto restringe la generalización de resultados de otras lenguas hacia ella.

Las características específicas de una lengua predisponen a un hablante experimentado a notar la presencia de ciertas marcas o tipo de información en diversos tipos de oraciones. Así, para los angloparlantes el orden canónico de las oraciones

activas simples (SVO), con un arreglo sintáctico rígido, es una pista confiable y segura para la identificación de los papeles temáticos. En oposición, el español depende menos del orden de los constituyentes ya que permite un gran desplazamiento de los mismos dentro de la oración sin afectar el sentido. De igual manera, el sistema morfológico del español posee marcas, como la flexión verbal y morfemas funcionales libres como los artículos y las preposiciones, que pueden ser empleadas para disminuir la ambigüedad de la oración (Ostrosky, Marcos et al., 1999).

La necesidad de realizar estudios en español obedece tanto a la falta de equilibrio entre su importancia y los pocos estudios que, con un enfoque psicolingüístico y neurolingüístico, han abordado la comprensión en el mismo; así como a las diferencias específicas entre las lenguas (Marcos, Ostrosky y Ardila, 2003). La carencia de estos estudios pese a la importancia que tiene la lengua española, por la cantidad de hispanohablantes que existen (Ostrosky, Marcos et al., 1999), debe motivar al emprendimiento de dichas diversas investigaciones que evalúen las características relevantes de la lengua.

Los estudios realizados con hispanohablantes neurológicamente intactos han demostrado que aquéllos siguen tres estrategias en la identificación de los papeles temáticos. La primera y más importante se refiere al conocimiento gramatical de la preposición *a* como marca del objeto directo; la segunda, a la interpretación de las oraciones mediante el empleo del “conocimiento del mundo”; y, finalmente, la tercera es una estrategia basada en el discernimiento de un orden canónico del tipo SVO (Marcos, Ostrosky y Ardila, 2003).

La tabla 2 muestra algunos de los estudios sobre la comprensión lingüística en hispanoblabntes realizados en México. En esta tabla se muestran los principales trabajos realizados en México que han estudiado diversas marcas en la identificación de los

papeles temáticos en personas neurológicamente intactas o con afasia de Broca; asimismo, se presentan las principales variables manipuladas y los resultados obtenidos entre los que se establece una jerarquía de las variables por su importancia.

Tabla 2. Estudios realizados en México con personas con afasia tipo Broca en una tarea de elección forzada en la identificación de papeles temáticos. La columna *Variables* identifica los elementos controlados por los autores en las oraciones presentadas; la columna *Resultados* establece la importancia que dichos elementos tuvieron en la identificación de los papeles temáticos.

AUTORES	VARIABLES	RESULTADOS
Marcos y Ostrosky (1995)	Preposición <i>a</i>	1. Preposición <i>a</i>
	Orden	2. Orden
Díaz (1995)	Preposición <i>a</i>	1. Preposición <i>a</i>
	Orden	2. Pragmática
	Pragmática	3. Orden
	Determinación	4. Determinación
Palacios (1998)	Preposición <i>a</i>	1. Preposición <i>a</i>
	Orden	2. Orden
Ostrosky, Marcos, Ardila, Rosselli y Palacios (1999)	Preposición <i>a</i>	1. Preposición <i>a</i>
	Orden	2. Determinación
	Determinación	3. Orden
González (2000)	Preposición <i>a</i>	1. Preposición <i>a</i>
	Orden	2. Pragmática
	Pragmática	3. Orden
Solorio (2003)	Preposición <i>a</i>	1. Orden
	Orden	2. Preposición <i>a</i>

De acuerdo a los resultados mostrador en la tabla 2 puede apreciarse que el conocimiento acerca del uso de los morfemas libres, el cual fue evaluado en los diferentes estudios citados por la preposición *a* y el nivel de determinación en los artículos; siendo este conocimiento de mayor valor para el hispanohablante que el orden de los constituyentes.

En un estudio realizado en 1995, Marcos y Ostrosky evaluaron tres grupos de hispanohablantes mexicanos (pacientes con afasia anterior, y posterior y un grupo de sujetos neurológicamente intactos que fungió como control), en una tarea de

identificación de papeles temáticos. Los autores emplearon tres distintos tipos de estructuras lingüísticas (activa, pasiva y pseudohendida) y los seis ordenamientos lógicamente posibles de los constituyentes (SVO, SOV, OVS, OSV, VSO y VOS). De igual forma, los autores manipularon la presencia o ausencia de la preposición *a* en algunas oraciones.

Los hallazgos de dicho estudio muestran que la comprensión sintáctica permaneció intacta en el grupo de control, pero que sufrió alteraciones asociadas a la localización de la lesión, en los pacientes afásicos con lesiones en regiones anteriores emplearon las marcas morfosintácticas como una estrategia para identificar los papeles temáticos con mayor frecuencia que el orden de los constituyentes. Por su parte, los pacientes con lesiones en zonas posteriores emplearon estrategias semejantes a las de sujetos normales, aunque menos eficaces: a saber, el uso de la preposición *a* para identificar el objeto de la oración, y en consecuencia el sujeto de la misma.

En un estudio semejante, Ostrosky, Marcos y cols. (1999), encontraron que en sujetos normales el orden canónico (SVO) tiene importancia relativa para la identificación de los papeles temáticos, los cuales fueron correctamente identificados en aquellas oraciones que contenía la preposición *a*. Ante la ausencia de la preposición, los autores encontraron que la determinación del artículo que antecede al sustantivo es empleada como una marca confiable en la identificación de los papeles (el determinante *el* identifica, de acuerdo a las preferencias de los pacientes, el sujeto de la oración).

Por otra parte, los pacientes con afasia de Broca no emplearon el orden como una estrategia en la identificación de los papeles temáticos en oraciones activas simples (e.g., *Juan ama a María*); asimismo, tampoco utilizaron marcas superficiales como los determinantes. Sin embargo, para este grupo de pacientes el uso de la preposición fue

decisivo en la confrontación de la tarea, lo cual evidencia la importancia de la misma en la lengua española.

Estas alteraciones en la comprensión y empleo de los elementos sintácticos del lenguaje, han llevado a algunos autores a proponer algunas posibles explicaciones sobre los procesos lingüísticos que han sido perturbados como consecuencia del daño cerebral.

Zurif (1998) sugirió que los afásicos de Broca no han perdido la competencia sintáctica o el conocimiento de la lengua, pero el proceso por el cual pueden implementar dicha competencia en la comprensión y en la producción, se encuentra limitado impidiendo el procesamiento de algunos aspectos sintácticos. En la tarea de identificación de los papeles temáticos, el procesamiento limitado promueve el uso de diversas estrategias que cuales son dependientes de las características de la lengua.

En una propuesta semejante, Grodzinsky (2000, 1995) reconoce que el área de Broca es el sustrato biológico de la sintaxis del lenguaje, aunque se limita al procesamiento de lo relacionado con las transformaciones gramaticales, el desplazamiento lineal debido a una modificación en la gramática de los constituyentes de la oración. De acuerdo a este planteamiento, en la comprensión de las personas con afasia de Broca habría una supresión de gran parte las marcas que dejan los constituyentes al desplazarse, por lo que no existiría información de su ubicación y rol inicial. Asimismo, y como consecuencia de la ausencia de información, se implementaría una estrategia compensatoria, de naturaleza cognoscitiva no lingüística, basada en el empleo de la primera frase nominal, del orden lineal de la oración para la identificación del sujeto de la misma (es decir una estrategia de orden canónico que comúnmente sería del tipo SVO).

En el español, el valor de esta estrategia sería menor debido a la variabilidad entre las marcas y a que la preposición, la concordancia, la semántica y la pragmática son las regularidades más importantes en la identificación de los papeles temáticos en la lengua española. Esta discrepancia sobre los elementos útiles de la oración para generar una estrategia compensatoria en la afasia justifica la necesidad de describir el español desde la perspectiva psicológica y neurolingüística, considerando sus particularidades y jerarquizándolas por su importancia y uso en la identificación de los papeles temáticos.

Hasta el momento, el déficit lingüístico en la afasia tipo Broca ha sido explicado desde dos distintas perspectivas: la primera de ellas sugiere que en dicho trastorno hay limitaciones y fallas en el procesamiento lingüístico; por su parte, la segunda sugiere una pérdida de la información gramatical la cual limita la interpretación de la misma (Lukatela et al., 1995).

Ambos planteamientos han sido analizados en diversos estudios, mediante el empleo de distintas tareas. En uno de dichos estudios, Lukatela y cols. (1995) compararon el desempeño de pacientes afásicos y sujetos neurológicamente intactos en la detección de errores gramaticales en una tarea de detección de errores gramaticales de oraciones en lengua inglesa. Ambos grupos mostraron similitudes en los patrones de error y las diferencias entre ellos eran cuantitativas más que cualitativas, lo que condujo a los autores a concluir que el déficit lingüístico en la afasia tipo Broca es debido a dificultades en el procesamiento de la información gramatical y no a una pérdida de este tipo de información.

Acorde con esta conclusión Ostrosky, Marcos y Ardila (2003) señalan que la capacidad de procesamiento sintáctico en afásicos es menos eficiente que en sujetos neurológicamente intactos, en donde esta limitación se hace extensiva al procesamiento morfológico.

De igual forma, el trabajo de Friederici y Kilborn (1989) apoya la hipótesis de alteración en el procesamiento de la información. En su trabajo, los autores compararon la latencia de respuesta de pacientes afásicos de Broca y sujetos sin lesión en una tarea de juicio sintáctico. Los resultados muestran que el desempeño de ambos grupos fue cualitativamente semejante aunque hubo diferencias a nivel cuantitativo. De acuerdo a los autores, los resultados demuestran que en la afasia tipo Broca no hay una pérdida del conocimiento sintáctico sino una dificultad en su procesamiento.

En un estudio semejante, Kilborn y Friederici (1994) compararon el desempeño de personas con afasia de Broca y el de sujetos neurológicamente intactos en una tarea de igualación entre estímulos visuales y segmentos de oraciones, donde la latencia en las respuestas fue considerada como el índice de la automaticidad del juicio sintáctico. En el grupo de pacientes con afasia la latencia fue mayor que en los sujetos normales, indicando que la automaticidad del procesamiento sintáctico no es influida por alguna estrategia en los sujetos sin daño cerebral; mientras que en los afásicos, la implementación de alguna táctica demuestra la pérdida de automaticidad con la consecuente alteración en el procesamiento de la información.

Por otro lado, los trabajos realizados por Ter Keurs y cols. (Ter Keurs, Brown & Hagoort, 2002 y Ter Keurs, Brown, Hagoort & Stegeman, 1999) apoyan la hipótesis de pérdida de la información lingüística. En dichos estudios, los autores compararon la actividad eléctrica (PRE, potenciales relacionados a eventos), de afásicos tipo Broca y de sujetos neurológicamente intactos en la lectura de dos tipos de palabras. Los resultados indican que los sujetos neurológicamente intactos mostraron diferencias en la actividad eléctrica estaban asociadas al tipo de palabra, los pacientes con afasia no exhibieron tales cambios, por lo que, a decir de los autores, estos sujetos no poseen toda la información lingüística necesaria.

Plasticidad

Cuando ocurre la pérdida de alguna función cognoscitiva después de un daño en forma de lesión, infección o infarto, comúnmente se observa una recuperación parcial o completa de esta función asociada a una reorganización del sistema nervioso (Ziemann et al., 1998, Kolb & Whishaw, 1998, Castro-Viejo, 1996).

El principio de esta reordenamiento es semejante al acontecido durante la organización cerebral en el desarrollo del ser humano: ambos cambios ocurren como una reacción del organismo ante las exigencias del entorno y al tipo de información al que se confronta y resultando en una reorganización cerebral. Por ello, esta reorganización cerebral, la plasticidad, debe ser vista como una propiedad reactiva del cerebro más que activa (Stiles, 2000).

Esta capacidad de reorganización es una característica común del cerebro humano (Zohary et al., 1994), aunque el grado de recuperación y reorganización de los patrones y las conexiones en el mismo variarán como consecuencia de algunos factores, como la edad, el cerebro joven muestra una mayor capacidad para la recuperación de una función alterada.

El cambio sináptico conductual, conformado por la arborización dendrítica y la reorganización de las conexiones, es considerado como el principal responsable de la plasticidad (Kolb, 1999, Kolb & Whishaw, 1998). De esta forma, una buena recuperación de las funciones se encontrará asociada a un incremento en la conectividad neuronal, mientras que una pobre recuperación siempre se vincula a una ausencia en dicha conectividad. Ya sea que ocurra una alta o baja conectividad, la misma influirá sobre los requerimientos metabólicos ligados a las modificaciones ocurridas en dichas conexiones (Kolb & Whishaw, 1998).

De esta manera, puede identificarse que los mecanismos generales encargados del cambio conductual en procesos normales, es decir las reorganizaciones en la corteza cerebral, también son útiles para otro tipo de cambio conductual inesperado como lo es la recuperación de algún daño. En ambos casos estas reorganizaciones encuentran su sustrato biológico en la sinapsis neuronal mediante la arborización dendrítica incrementada y/o una mayor densidad espinal (Kolb, 1999).

Tipos de plasticidad. La recuperación de las funciones perdidas no obedece a un único proceso de reorganización, sino que pueden encontrarse distintos tipos, incluso de manera simultánea en un mismo trastorno, debido a que no hay una correspondencia entre este último y su subsiguiente recuperación (Grafman, 2000).

Al menos tres tipos de expresiones de plasticidad han sido reportados en diversos estudios (Grafman, 2000):

- i) flexibilidad de los mapas corticales locales, la cual permite el procesamiento de nueva o vieja información (desenmascaramiento de vías)
- ii) adaptación de regiones homólogas del área dañada, en el hemisferio opuesto las cuales asumen las funciones asociadas al sitio donde ocurrió la lesión
- iii) reorganización compensatoria, las áreas aledañas a la zona dañada muestran actividades asociadas a las funciones alteradas

La tabla 3 muestra algunos de los estudios que han obtenido los hallazgos anteriormente mencionados.

Tabla 3. Algunos estudios sobre plasticidad cerebral, en esta tabla se muestra la lesión cerebral ocurrida y la ulterior variante en la recuperación de funciones.

AUTORES	MÉTODO	LESIÓN	RESULTADO
Giraud y cols. (2001) <i>Brain</i>	PET	Sordera Bilateral	Compensación
Cramer y cols. (1997) <i>Stroke</i>	fMRI	Motricidad	Compensación y áreas homólogas
Warburton y cols. (1999) <i>Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry</i>	PET	Afasia	Áreas Aledañas
Heiss y cols. (1999) <i>Stroke</i>	PET	Motricidad	Áreas homólogas

En un estudio realizado por Kempermann y Gage (1998) se muestra un proceso de regeneración de algunas estructuras cerebrales a través de la neurogénesis, es decir, la producción de células madre que emigran a ciertas áreas del cerebro adquiriendo las propiedades de las neuronas que existen en dichas áreas. Inicialmente, la existencia de estas nuevas neuronas sólo se comprobó en mamíferos pequeños (no primates) y especies inferiores, lo que cuestionó su ocurrencia en primates mayores. En estas últimas especies en lugar de ocurrir una producción de nuevas neuronas en la región del hipocampo se presenta estabilidad en la arquitectura y conexiones de algunas funciones mentales superiores (Kempermann & Gage, 1998).

Sin embargo, en su trabajo Gould, Reeves y cols. (1999) demostraron el nacimiento y supervivencia de nuevas neuronas en el cerebro de un primate adulto (macaco), donde su estadía fue un resultado de su empleo en nuevas tareas, mientras que aquellas neuronas que no participaron en la exposición del organismo a un ambiente complejo y enriquecido murieron.

La preservación y consolidación de estas nuevas neuronas se llevará a cabo sólo si el organismo se enfrenta a un ambiente enriquecido y complejo el cual fomente el aprendizaje en el que participen dichas neuronas (Gould & Gross, 2002 y Gould, Beylin et al., 1999). Concretamente dichas neuronas colaboran en la formación de nuevos

recuerdos y en el funcionamiento de la memoria de trabajo (Shors et al., 2001). Estos resultados también han sido reportados por Gould, Beylin y cols. (1999), quienes afirman que el destino de las neuronas producidas en la edad adulta pudiera estar relacionado con el aprendizaje en el que participa ampliamente el hipocampo, y que su supervivencia y consolidación son dependientes de experiencias en ambientes complejos. Asimismo, los autores encontraron que el aprendizaje que no era dependiente del hipocampo no incrementaba el número de nuevas neuronas.

La influencia del ambiente también puede manifestarse en una dirección opuesta donde la exposición ante situaciones estresantes guarda una relación negativa con la supervivencia de las neuronas, impidiendo su desarrollo y supervivencia (Kempermann & Cage, 1998).

Factores Influyentes. Ante la multiplicidad de formas en las que puede presentarse la plasticidad y la simultaneidad con la que pueden ocurrir en un mismo trastorno, es necesario preguntarse si hay factores influyentes que favorezcan la aparición y el curso de un cierto tipo de variante en la recuperación de funciones.

Una amplia diversidad de condiciones individuales y externas intervienen en la recuperación de funciones así como en las consecuencias posteriores. Una primera condicionante es la magnitud de la lesión, donde un mayor daño de las estructuras significa menos recursos biológicos para la recuperación funcional. De igual forma, la edad en la que ocurrió el daño juega un papel determinante en la capacidad cerebral de recuperación (Stiles, 2000). El origen de las diferencias entre los organismos en desarrollo y los que han alcanzado madurez (niños y adultos, respectivamente) no puede ser establecido en los primeros puesto que los cambios y adaptaciones resultantes de la plasticidad serían consecuencia de la falta de especialización de las redes neuronales, o

de a los cambios sustractivos que ocurren durante el desarrollo y modulan patrones locales para hacerlos eficientes y estables, o bien a la paulatina modularización o reorganización adaptativa en el desarrollo (Stiles, 2000) - debido a la falta de especialización las funciones perdidas pueden ser asumidas por otras estructuras, distintas a las “predestinadas” (Moses & Stiles, 2002).

Asimismo, el entorno juega un papel determinante directa o indirectamente en la plasticidad. La experiencia del organismo en el medio en el que se desenvuelve, en especial con los estímulos vinculados a las funciones dañadas, juega un papel importante en la supervivencia de neuronas existentes o nuevas en una región cerebral. La reconexión y reorganización de la corteza en patrones exitosos de recuperación funcional dependen de las interacciones del organismo con el entorno, aunque su resultado estará condicionado por la maduración de este último (la privación del registro de los estímulos externos a un sistema sensorial o cognoscitivo durante ciertos periodos críticos de tiempo es el resultado de una falta adecuada de desarrollo de dicha función).

De igual manera, tanto la exposición de un organismo con daño cerebral ante la información que procesaba el área dañada en situaciones normales, así como la inclusión de nuevas conductas en el repertorio de dicho organismo, son otros factores que afectan positivamente la plasticidad (Kolb & Whishaw, 1998). Los efectos positivos que tienen en la plasticidad los cambios conductuales y la constante interacción del organismo con un entorno demandante no agotan la diversidad de los factores influyentes, ni permiten realizar predicciones precisas con los factores ya conocidos.

Además de los factores enunciados existen otros cuya influencia ha sido comprobada a través de distintos estudios. El sexo ha demostrado ser un factor influyente en la especialización hemisférica de las funciones y en la recuperación de las mismas. Por ejemplo, en el restablecimiento de las funciones lingüísticas de niños y

niñas posteriores a una hemisferectomía muestran asimetría en procesos fonológicos tempranos (antecedentes directos de la alfabetización de los niños). En dichos estudios, los niños con daño en el hemisferio izquierdo presentaron el más pobre desempeño, seguidos por aquellos que presentaron lesión en el hemisferio derecho y ambos grupos de niñas, quienes no mostraron diferencias en asociadas a la ubicación del daño (Hertz-Pannier et al. 2002).

Asimismo, existe una asociación significativa entre la arborización dendrítica en las zonas del lenguaje y el sexo, siendo las mujeres quienes poseen la mayor densidad y amplitud de conexiones (Stiles, 2000). Asimismo, consta evidencia de que las hormonas sexuales influyen en la conexión dendrítica puesto que establecen la sensibilidad del organismo a cierto tipo de experiencias – por ejemplo, más amplias y extensas conexiones para procesar información visual se encuentran en hombres que en mujeres (Kolb & Wishaw, 1998).

Los factores arriba mencionados tienen una presencia constante, sin embargo ¿son posibles los cambios en la organización de la corteza cerebral cuando las experiencias o los cambios conductuales son breves? Algunos autores afirman que es posible dicha reorganización, muestra de ello son los trabajos realizados con monos rhesus por Dorris y cols. (2000) y con seres humanos por Classen y cols. (1998).

En ambos trabajos los autores estudiaron los cambios neuronales que ocurrían como consecuencia de la implementación de una conducta motora, como son los movimientos de los dedos pulgares y los oculares, la cual según Dorris y cols. (2000) tenía la finalidad de adaptar al organismo a un entorno dinámico. En oposición a los supuestos comúnmente mantenidos sobre la reorganización neuronal como producto del cambio conductual (la necesidad de mucho entrenamiento y tiempo para su implementación) ambos estudios demostraron que dicha reorganización puede ocurrir

en breves periodos donde la exposición a la situación así como el tiempo necesario para la realización de un cambio conductual no requieren ser muy prolongados.

Ante la multiplicidad de factores influyentes en la plasticidad, resulta difícil establecer una relación entre el tipo y ubicación de la lesión y la posterior recuperación de las funciones perdidas. Sin embargo, en lo que respecta a la plasticidad ocurrida en el trastorno afasia diversos estudios establecen un patrón de recuperación funcional, concretamente se aprecia que el restablecimiento de las funciones ocurre a través de la activación de áreas homólogas y/o de las aledañas.

Plasticidad en Afasia

La organización cerebral en el adulto muestra una alta especialización donde cada una de las funciones cognitivas se encuentra asociada a alguna estructura cerebral claramente identificable. Las funciones del lenguaje han sido asociadas a diversos centros biológicos: los procesos de producción del habla incluidos los aspectos sintácticos tienen lugar en el área de Broca, la región prefrontal de la corteza; por su parte, el área de Wernicke se encuentra ubicada en la unión de los lóbulos temporal, parietal y occipital, y es encargada del acceso de la información semántica vía oral (O'Reilly & Munakata, 2000).

Recientes estudios que han empleado técnicas de imagen cerebral no invasiva (PET, fMRI, PRE, etc.) han confirmado las áreas y regiones cerebrales propuestas como encargadas del lenguaje (Grodzinsky, 2000, 1995). Sin embargo, también han evidenciado que estos centros del lenguaje no son centros biológicos bien definidos sino que consisten de pequeños microcentros lingüísticos.

Análogamente, existen diversas áreas cerebrales aunque no forman parte de los centros ya señalados sí participan en las actividades lingüísticas. Tales áreas pueden ser mejor descritas en los términos lingüísticos (sintaxis, semántica y pragmática) que en los términos de actividades o conductas - hablar, repetición, etc. (Neville & Bavelier, 1998). Aunque esta organización es relativa (como cuando se comparan las zonas del lenguaje que se activan entre hablantes monolingües y bilingües).

Cuando estas zonas cerebrales sufren un daño éste se manifiesta en un déficit de las funciones lingüísticas cuya variedad es dependiente de las zonas que sufrieron el daño. La afasia, uno de los trastornos consecuentes más comunes a una lesión cerebral, por lo que ha recibido mucha atención por parte de los investigadores (Benson & Ardila, 1996). Aunque los pacientes afásicos pueden llegar a mostrar una significativa

recuperación funcional, las variables influyentes y los tipos de plasticidad resultantes no han sido plenamente identificados.

La plasticidad ocurrida en la afasia, al igual que en otro tipo de perturbaciones, es influida por diversos factores. El primero de ellos es el nivel de maduración (la organización cerebral) y de desarrollo lingüístico de la persona logrados antes del daño; no obstante, no se ha establecido una edad específica como límite de una recuperación exitosa de las funciones perdidas. Mientras que algunos autores sugieren doce años como el límite después del cual un daño significaría una recuperación parcial, otros sugieren edades más tempranas como los cinco años, incluso tan precoces como el primer año de vida (Stiles, 2000).

La posibilidad de tener un desarrollo lingüístico normal pese a una lesión, puede atribuirse a una falta de organización cerebral definitiva, como la de un adulto. Esta falta de especialización permitiría que ante el daño de alguna estructura cerebral, una segunda estructura o patrón de conexiones asumiera las funciones de la anterior, debido a que desde el inicio del desarrollo pueden existir sistemas neuronales múltiples encargados del lenguaje o conexiones hemisféricas bilaterales (Hertz-Pannier et al., 2002) – conocido por noción de redundancia funcional (Pizzamaglio et al., 2001 y Stiles, 2000).

No obstante, esta modalidad de recuperación funcional, activación de áreas homólogas en el hemisferio opuesto, no es el único tipo de plasticidad observado en la afasia. Diversos estudios han mostrado que en este trastorno ocurren dos pautas de recuperación, la ya mencionada compensación por actividad del hemisferio opuesto, que demuestra una limitada capacidad de procesamiento lingüístico (Thomas et al., 1997), y la activación de áreas aledañas a la zona dañada. La aparición de alguna de las formas

de recuperación obedece a diversos agentes, entre ellos el tipo de afasia, la ubicación y la magnitud del daño.

Mientras que algunos autores han brindado información favorable a la compensación por activación de áreas homólogas, otros han indicado que la activación de áreas aledañas favorece a una mejor recuperación (para una lectura del debate véase. Pizzamaglio et al., 2001). Estos resultados disímiles han llevado a indagar sobre los niveles de recuperación logrados por uno y otro tipo de plasticidad, así como los beneficios funcionales que cada uno de ellos brinda.

Al parecer varias de las interrogantes sobre dicho debate comienzan a ser despejadas. Los estudios han comenzado a perfilar la relación entre el tipo de daño, la plasticidad resultante y el grado de recuperación que muestra la misma. Thomas y cols. (1997), sugieren que en la afasia de Broca hay una propensión a que en la recuperación de las habilidades perdidas se activen las áreas contiguas al daño; por su parte, en la afasia tipo Wernicke, se trata de una activación de las regiones homólogas contralaterales. Sin embargo, las relaciones de uno-a-uno entre los tipos de afasia y los de plasticidad parecen estar sujetos a ciertas condiciones, como el tamaño de la lesión.

Cuando las estructuras del lenguaje, en el hemisferio cerebral han sufrido un daño ligero izquierdo, durante la recuperación de las funciones hay un incremento en el metabolismo en las estructuras mencionadas. Por su parte, cuando dichas estructuras presentan un daño mayor, el metabolismo que aumenta es el de las áreas homólogas del hemisferio derecho (Pizzamaglio et al., 2001), aunque algunos autores han observado dicho incremento metabólico incluso cuando el daño es moderado (Thomas et al., 1997; Papanicolau et al., 1986). Dicho hallazgo fue confirmado en el trabajo realizado por Cappa y cols., (1997), quienes realizaron registros con PET para evaluar distintos aspectos de la conducta verbal (repetición, imitación, etc.) de pacientes afásicos y

sujetos normales. Los resultados muestran que en la plasticidad hubo recuperación metabólica en el hemisferio opuesto al que sufrió el daño (el hemisferio izquierdo), siendo atribuible a una asimetría metabólica producto de la pronta normalización de las regiones contralaterales.

Sin embargo, los tipos de afasia no sólo difieren en las zonas empleadas en la recuperación sino también en el grado de restablecimiento de las habilidades lingüísticas, donde se observa con más frecuencia una recuperación completa en las afasias de Broca y anómica en comparación con la de tipo Wernicke (Pizzamaglio et al., 2001; Kolb & Wishaw, 1998).

El nivel de recuperación también depende de las zonas cerebrales que participan en el rescate de las funciones perdidas. Incluso, posterior a la recuperación, las zonas cerebrales que muestran actividad durante las funciones perdidas van del hemisferio derecho (situación postrauma) al hemisferio izquierdo (post intervención clínica) (Thomas et al., 1997).

Pizzamaglio y cols. (2001) han considerado que la activación de áreas homólogas es un efecto disruptivo de la lesión, como consecuencia del daño en algunas estructuras del hemisferio izquierdo, más que un resultado de la reorganización cortical. Por ello, en la recuperación de funciones donde participa el hemisferio derecho, las fallas resultantes son debidas a un mal proceso adaptativo que provoca la persistencia de déficit residuales.

Como consecuencia a la evidencia insuficiente sobre la relación entre los tipos de afasia y las distintas formas de recuperación el tipo de plasticidad y de afasia, el debate aún se encuentra abierto. Particularmente, el papel que tienen los diversos factores influyentes cobra relevancia en dicho debate, la dificultad para su control

obliga a considerar fuentes adicionales de información como es el caso de nuevas propuestas de investigación.

Modelos Conexionistas

Uno de los principales objetivos de la psicología ha sido el estudio del desarrollo y del cambio conductual en el ser humano. A saber de algunos autores (cf. Bates & Elman, 1993), una de las propuestas más interesantes que aborda este problema sugiere que la interacción entre el ambiente y las estructuras biológicas es la responsable de las formas emergentes de la conducta. Dentro de dicha postura el trabajo de Piaget (1971) merece particular atención, dada su trascendencia y plausibilidad para explicar el surgimiento de nuevas estructuras mentales como resultado de la interacción del organismo con su entorno. No obstante, sus estimaciones sobre las capacidades “innatas” del ser humano resultaron ser subvalorizaciones de las mismas por lo que, en parte, su propuesta dejó de ser considerada (Bates & Elman, 1993).

Propuestas ulteriores que aún consideraban la interacción organismo/entorno como responsable del cambio conductual, tendían a inclinarse hacia uno u otro lado del debate apoyando propuestas sobre las capacidades innatas o bien sobre el papel moldeador del entorno.

Con el advenimiento de las computadoras la comparación entre el funcionamiento del cerebro y de las computadoras surgió como una explicación plausible de la conducta. Sin embargo, el énfasis teórico en esta primera analogía mente-computadora generó una pérdida en el interés del desarrollo como objeto de estudio (Bates & Elman, 1993).

En esta primera equivalencia computadora-mente, conocida como de procesamiento serial, se sugirió que los estímulos y las respuestas eran identificados mediante símbolos que eran representaciones discretas de la información relevante de dichos estímulos como la ausencia o presencia de atributos o características en los

estímulos. Este tipo de representaciones tuvo como principal inconveniente la incapacidad para generar o reproducir conductas degradadas, la manifestación parcial o incompleta de la información relevante. Como respuesta a este problema se sugirió que la presencia de esta información parcial en los organismos era debida a las diferencias entre la capacidad conductual (competencia) y la realización de las conductas (actuación).

La diversidad y ordenamiento de las diferentes operaciones eran establecidos de acuerdo a una jerarquía no natural; las operaciones que actuaban sobre los símbolos que representaban la información, se basaban en una serie de algoritmos almacenados que en conjunto formaban el programa que se aplicaba en orden serial (Bates & Elman, 1993). Dada la naturaleza discreta de los símbolos, el tipo de operaciones que podían ejecutarse eran absolutas y su aplicación dependía de la presencia o ausencia de alguna característica del estímulo.

Por otro lado, en esta primera analogía el aprendizaje se constituyó como una programación innata que requería una separación necesaria entre las operaciones que determinaban el aprendizaje (software) y el soporte físico o estructura cerebral (hardware).

Al igual que en las operaciones arriba mencionadas, esta analogía mostraba diversas limitaciones cuando intentaba mostrar algunas características de la inteligencia humana como son la degradación sutil de la función, la representación holística de los datos, la generalización espontánea, la apreciación del contexto, etc.

Por otro lado, la segunda analogía mente-computadora la propuesta conexionista superó el procesamiento serial debido en gran parte a que trabaja con información cuya representación es distribuida a lo largo de una gran número de diferentes unidades de procesamiento (alfanuméricas). Este tipo de representación permite la jerarquización de

los estímulos por la cantidad de información que poseen. Dichas representaciones pueden asumir otras funciones debido a que participan en diversos patrones de activación (información variable). Por otra parte, las reglas y operaciones que actúan sobre la información son graduadas e incluidas en los modelos se manifiestan a través de los cambios en las fuerzas de dichas conexiones. Como resultado, el aprendizaje en un modelo conexionista debe ser visto como un esquema de activación de los estados de las conexiones y el desarrollo como un proceso gradual de especialización de este esquema.

A diferencia de la primera metáfora, en esta segunda equivalencia la distinción entre software y hardware desaparece debido a que el conocimiento y el aprendizaje no son determinados por programas externos al modelo, sino por la estructura del mismo. Como una consecuencia de esto, en los modelos conexionistas los fenómenos simulados no necesitan ser lineales y pueden dar paso a formas (conductas o patrones) emergentes inesperadas o no previstas (Elman et al., 1996).

Pese a complejidad de las conductas simuladas a partir de estructuras simples sin el apoyo de reglas, así como su inspiración biológica, los modelos son considerados poco plausibles, lo que disminuye credibilidad a sus resultados.

De igual manera, otros argumentos en contra de los modelos, consideran que la propuesta subyacente es un simple asociacionismo. Aún cuando ambas propuestas establecen relaciones lineales, en el asociacionismo no existen representaciones internas de los estímulos, mientras que en el conexionismo estas representaciones asumen la forma de activación-cambio de las fuerzas de las conexiones entre las unidades de procesamiento y la distribución de las representaciones de la información.

De la misma forma, la propuesta conexionista es considerada un reduccionismo biológico mal establecido por la insuficiencia y simpleza de los elementos estructurales

de los modelos. Sin embargo, el reduccionismo no hace referencia a los elementos estructurales sino a los procesos realizados por los modelos, que se creen son los principios computacionales con los que opera el cerebro (McLeod et al., 1998).

Otra crítica contra los modelos conexionistas es la intervención directa del diseñador del modelo las conexiones entre unidades, lo que se considera como un control excesivo cuyo resultado son respuestas construidas y sesgadas. En esta función, quien emplea los modelos establece tanto la dirección y fuerza de las conexiones basándose en los supuestos teóricos de los que parte, resaltando el valor que tienen como instrumentos de evaluación de teorías. Sin embargo, cuando el establecimiento de dicha fuerza entre conexiones es remitida al aprendizaje de la red, se obtiene a través de diversos algoritmos de aprendizaje, los cuales pueden dar paso a resultados emergentes inesperados. Finalmente, se considera al conexionismo como una postura antinativista, aunque el empleo de arquitecturas que determinan el aprendizaje en los modelos sugiere la presencia de estructuras predeterminadas y bien establecidas antes de la exposición a estímulos.

Las ventajas que poseen los modelos conexionistas, por encima de los sistemas de procesamiento de información de la primera analogía (Bates et al., 1994), han permitido simular procesos mentales de una forma más “natural” semejantes a como los ejecuta la mente humana. Dichas ventajas, según McLeod y cols. (1998) son:

- a) habilidad para procesar información de manera simultánea,
- b) caracterización como un sistema dinámico en el que su estado actual depende del previo, además de que condiciona el estado sucesor (condicionamiento en la activación o inhibición de la actividad de las unidades de procesamiento),

- c) sensibilidad a las restricciones implícitas de algunos de los eventos ocurrientes en el mundo exterior que no son formados aleatoriamente ni carecen de estructura (predicción y regularidad),
- d) requieren que las relaciones propuestas entre los elementos que conforman una teoría sean muy detalladas y explícitas,
- e) disponibilidad de potenciales variaciones en la simulación de un mismo proceso.

Estas características señaladas son producto de los elementos que conforman los modelos conexionistas. Estos elementos son comentados a continuación:

Componentes y Arquitectura. Los modelos conexionistas están basados en sistemas dinámicos no lineales que les permiten aprender relaciones complejas, aunque la construcción y estructura de los mismos modelos sea simple. Los componentes con los que son construidos los modelos son básicos y sencillos, como las unidades de procesamiento (*nodos*) y sus conexiones entre ellas, que asumen diversas magnitudes o fuerza (Elman et al., 1996). En el uso de la información los nodos replican, en cierta medida, la actuación de las neuronas cerebrales: reciben información de otros nodos, la integran, la procesan y la envían a su vez a otros.

En los modelos conexionistas el análisis de la información tiene lugar en tres distintos niveles topográficos, donde los nodos que integran cada nivel cumplen funciones diferentes.

El primer nivel de procesamiento está conformado por los nodos *input* o de registro, es responsable de la recepción de los estímulos así como del registro de la información sobresaliente que contienen los mismos. La siguiente capa la constituyen las unidades ocultas de representación interna, las cuales reciben la información

procesada de los nodos de registro, dirigiéndola a su vez hacia el último nivel, donde están los nodos *output* o de producción que generan la conducta o el resultado de la tarea entrenada.

Los nodos de procesamiento así como los distintos niveles en que están organizados se hallan conectados entre sí a través de diversas formas y magnitudes. Un nodo puede recibir información de uno o de muchos otros nodos dependiendo de cómo se establezcan las conexiones entre ellas. Las conexiones entre nodos pueden ser entre capas de niveles diferentes, como en las conexiones que van de los nodos de registro hacia los ocultos o de representación interna; o bien conexiones entre el grupo de unidades de una misma capa o de una unidad consigo misma, conocida como conexión intracapa e intranodal, respectivamente.

Asimismo, las conexiones entre nodos definen la dirección en la que se procesa la información; la transmisión de esta última de una capa de nodos a la siguiente, sin conexiones con capas anteriores se denomina *feedforward* o de anteroalimentación.

Por otro lado, las conexiones que permiten la transmisión de la información entre capas en 2 sentidos son denominadas conexiones bidireccionales. Finalmente, las conexiones que van de una capa hacia la del nivel anterior se denominan de retroalimentación o *feedback*.

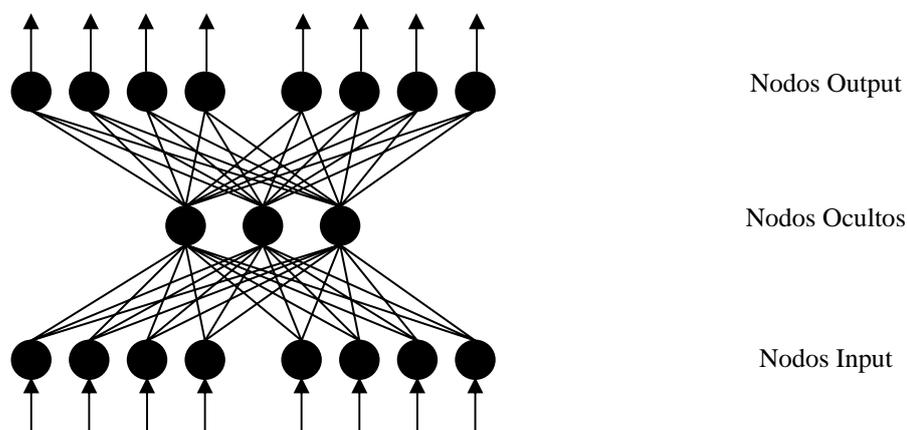


Figura 1. Arquitectura de una red neuronal de tres capas y con flujo de información hacia adelante (*feedforward*).

La organización y arreglo de las conexiones y nodos conforman, en su conjunto la arquitectura del modelo conexionista. Esta arquitectura está definida por el número de unidades que se encuentra en cada capa de nodos, el arreglo y fuerza de la conectividad internodal y la dirección del flujo de la información.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de una red neuronal con tres capas de nodos del tipo *feedforward*, en donde los nodos ocultos procesan la información que reciben de todos los nodos de la capa anterior.

El diseño de la arquitectura representa el punto central en las simulaciones. En este diseño el investigador debe hacer explícita su propuesta teórica, describiendo claramente las relaciones de los factores que la integran. Usualmente, el esbozo inicial de las arquitecturas del modelo se fundamenta en estudios previos que simulan procesos normales así como del deterioro de dichas funciones (ver tabla 4).

Tabla 4. Tipos de arquitecturas empleadas en algunos estudios.

AUTORES	PROCESO	ARQUITECTURA
Elman (1990)	Sintaxis	Red neuronal recurrente
Rumelhart y McClelland (1987)	Morfología flexiva	Red <i>feedforward</i> de dos capas de nodos
Plunkett y Marchman (1993; 1996)	Morfología flexiva	Red <i>feedforward</i> con una capa de nodos ocultos
Plaut, McClelland, Seidenberg y Paterson (1996)	Lectura (representación ortográfica a fonológica)	Red de tres capas con mecanismo <i>attractor</i> en nodos outputs
Plunkett, Sinha, Müller y Strandsby (1992)	Adquisición de Léxico	Red <i>feedforward</i> con dos capas de nodos ocultos
Mareschal, Plunkett y Harris (1995)	Permanencia de objetos	Red <i>feedforward</i> con tres capas de nodos ocultos

Generalmente, el trabajo previo empleando modelos conexionistas es útil para quienes realizan nuevas simulaciones con una temática parecida o dentro de un campo vecino. De hecho, el basarse en simulaciones previas sirve no sólo al experimentador en su elección de la arquitectura de la red sino en los avances consecuentes, al haber un replanteamiento del problema y una reconsideración teórica y práctica de la simulación previa. El caso más representativo de esta situación es el trabajo de Rumelhart y McClelland (1987) y de Plunkett y Marchman (1996, 1993), sobre la flexión verbal en tiempo pretérito en inglés.

Ya sea fundamentándose en simulaciones previas o diseñando una arquitectura nueva, en ambos casos, el diseño debe reflejar las suposiciones o las relaciones existentes entre las variables de interés de acuerdo a la teoría en la que se basa dicho modelo. Asimismo, es necesario hacer explícitas las relaciones entre variables, por lo que el empleo de los modelos demanda que en la simulación a realizarse las tareas sean simplificadas. No obstante, algunos fenómenos han carecido de la atención de los investigadores hasta la fecha actual, por lo que la información previa la cual pueda emplearse como antecedente directo en el cual fundar un nuevo modelo, es escasa o nula.

Debe señalarse que recientemente se han empleado en diversas simulaciones los denominados modelos conexionistas constructivistas, los cuales están basados en lo que se ha denominado el constructivismo neuronal en que el desarrollo es visto como un incremento progresivo en las estructuras subyacentes a la complejidad representacional, el cual es dependiente de la interacción del organismo con un ambiente estructurado. Este tipo de constructivismo posee una forma de aprendizaje donde la edificación del circuito neuronal es ambientalmente guiada, lo que resulta en una poderosa y única respuesta a las presiones que por aprender confronta el organismo que se desarrolla.

Durante este aprendizaje, el problema principal que enfrenta el organismo es lograr las representaciones apropiadas a cada uno de los dominios de la información que encara. La propuesta constructivista sugiere que esto es logrado por medio de las restricciones generales de la(s) arquitectura(s) neuronal(es) y las ya mencionadas presiones del entorno; como resultado, las preespecificaciones determinadas de cada dominio cognoscitivo son innecesarias y la “carga” innata de la cognición es reducida al mínimo (Quartz & Sejnowski, 1997).

A diferencia de los modelos conexionistas previamente citados, los constructivistas poseen una inspiración biológica más directa y por lo tanto intentan reflejar algunas de las peculiaridades de las redes neuronales del cerebro humano; no se trata de un reduccionismo de procesos con operaciones inspiradas en las funciones cerebrales. Esta similitud biológica se establece por la vinculación inmediata que existe entre el desarrollo cognoscitivo y el estructural de la corteza cerebral, donde un incremento en la complejidad esta última conduce a un aumento en las capacidades cognoscitivas¹. Los modelos constructivistas sugieren que la modificación que sufre una estructura neuronal, como consecuencia del aprendizaje de un organismo, no sólo altera el desempeño sino que guía de una manera completamente distinta la instrucción de ese sistema, evitando muchos de los problemas que se encuentran asociados a los sistemas de arquitectura fija.

Bajo esta premisa, cualquier modelo cuyo objetivo sea el capturar las propiedades esenciales del desarrollo cognitivo humano debe considerar lo mencionado con anterioridad; por lo tanto, los modelos cognoscitivos deberían emplear las

¹ Los resultados de diversos estudios indican que el desarrollo neuronal procede de manera constructivista, donde la organización neuronal del cerebro es modificada a través de eventos regresivos y constructivistas por medio de complejas interacciones entre la predisposición genética y los estímulos ambientales. Como consecuencia, la corteza cerebral estará constituida de varias regiones o estructuras que traslaparán entre sí y cada una de ellas será responsable de alguna suboperación cognoscitiva de un dominio particular. A fin de producir las funciones finales de un dominio, por ejemplo del lenguaje, es necesario el coordinar y combinar los resultados de las regiones apropiadas. Por ello, algunos autores conciben el cerebro como un grupo de especialistas que no pueden tratar con un problema de manera individual sino que deben cooperar entre ellos para lograrlo (Garfield, Elshaw & Wernter, 2001).

arquitecturas neuronales que adapten su estructura en una manera específica a la tarea de aprendizaje (Westermann, 1997). En las simulaciones, los experimentadores diseñan arquitecturas simples de tres capas de nodos: registro, producción y ocultos; estos últimos son empleados en números muy reducidos, uno ó dos. Conforme al progreso en el aprendizaje de la tarea, el experimentador modificará la estructura de la red mediante la incorporación de nuevos nodos ocultos conectados a aquellos que previamente hayan mostrado mayor actividad. De esta manera, la edificación del circuito neuronal es guiada por el aprendizaje en la tarea, las presiones del ambiente que son reflejadas en la actividad de los nodos ocultos.

Este tipo de modelos han significado un cambio a las contribuciones ya realizadas por los modelos conexionistas de arquitectura fija. Por ejemplo, los resultados obtenidos por el trabajo de Westermann (1997) muestran que en la adquisición del tiempo pasado del inglés, un modelo constructivista mostró un mejor desempeño en la derivación del tiempo pasado de algunos verbos de lo que lo hizo el modelo de arquitectura fija. Incluso el modelo constructivista exhibió conductas psicológicamente plausibles como la curva de aprendizaje en los verbos irregulares, replicando los hallazgos realizados con los seres humanos. La modificación estructural logrado por el modelo constructivista obedeció a las demandas de la tarea teniendo como consecuencia una mayor adaptabilidad al aprendizaje de las relaciones que subyacen a la tarea solicitada, así como a la consecuente reorganización interna de las representaciones (las cuales condujeron al aprendizaje en forma de *U*).

Tareas y Representaciones. La simplicidad en las tareas y en las arquitecturas de los modelos conexionistas han sido consistentemente blanco de críticas. Acerca de esta simplicidad existen dos puntos a considerar (Elman et al., 1996). El primero de ellos se

refiere al estado poco avanzado de la tecnología, la cual impone limitaciones al modelo restringiendo su rango de aplicabilidad y haciendo inaccesibles a la simulación tareas más complejas. Incluso en las condiciones actuales de los modelos, la plausibilidad de uno de sus principales fundamentos, las propiedades biológicas del funcionamiento cerebral (McLeod et al., 1998), estará sujeta a la constante comprobación empírica. En consecuencia, las simulaciones realizadas por los modelos deberán ser reanalizadas en sus planteamientos y diseño. Segundo, parte del objetivo de una simulación es la eliminación innecesaria de complejidades (e.g., sistemas redundantes de reglas), con la finalidad de estudiar y abstraer la implicación esencial de la conducta observada.

En conjunto, ambos puntos reducen el espectro de fenómenos que pueden ser simulados, por lo que algunos investigadores han ideado diversos procedimientos a través de los cuales abordar las simulaciones de tareas más complejas, e.g., a través de la adición de unidades y conexiones a una red para la reducción del error (cf. Elman et al., 1996).

Las tareas simuladas en los modelos conexionistas consisten en el apareamiento entre un estímulo (un conjunto específico de información) y una respuesta (la manifestación de un estado o la emisión de un producto). Lo más relevante en una simulación no es que el modelo exhiba una respuesta apropiada ante un estímulo particular, la cual ha sido predeterminada como parte del diseño establecido por el experimentador, sino las representaciones internas de la información o conceptos regulares expuestos en los estímulos y el cómo son empleados éstos en la solución de la tarea.

Establecida y definida la tarea a realizar por el modelo conexionista, en la siguiente fase debe seleccionarse una representación adecuada de la información contenida en los estímulos en un lenguaje comprensible al modelo.

Las representaciones de los conceptos o de la información pueden aparecer en dos formatos. Por un lado, la *representación localista* sugiere que para cada concepto o parte de la información se emplean discretamente una o diversas unidades. Este tipo de representación se emplea cuando el investigador tiene conocimiento previo del problema en cuestión (p. ej., de las reglas y los conceptos que se observan en la tarea tratada), asimismo el empleo de este tipo de representación es una manera simple a través de la cual puede analizarse el desempeño de la red. Por otro lado, la *representación distribuida* simboliza un concepto como un patrón de activación característico a lo largo de un grupo de nodos. Los distintos patrones de activación representarán los diferentes valores que de un concepto. Este tipo de representación posee dos ventajas ausentes en la de tipo localista: posee una mayor similitud con la representación que ocurre al nivel cerebral, y en segundo lugar, muestra una mayor flexibilidad en su construcción por lo que puede representar una gama más amplia de conceptos (Elman et al., 1996).

La información debe ser presentada al modelo en un formato y lenguaje que le sea comprensible. A este respecto deben ser considerados dos puntos. El primero hace referencia a los símbolos que habrán de representar los conceptos y el segundo al número total de los mismos que puedan ocuparse.

La representación de la información en los estímulos constituye uno de los puntos centrales en la simulación en los modelos, la finalidad que debe cubrir el experimentador es la relevancia y veracidad de la información. El tipo de representación que sea elegido debe serlo considerando que el aprendizaje del modelo sólo será posible si la información de los estímulos es suficiente y acorde a la tarea propuesta. No obstante, cuando la información y la representación de la misma son irrelevantes (sin

patrones predecibles - o redundantes, el modelo puede ignorarlas y emplear solamente la información útil (Plunkett & Elman, 1997).

Otro elemento importante de la representación de la información es la traducción de los estímulos en códigos comprensibles al procesamiento que realizan los modelos. Generalmente, los estímulos son traducidos a códigos numéricos que pueden ser números enteros o códigos binarios.

La representación a través de números enteros permite que un concepto sea simbolizado en diversas magnitudes y proporciones (ver Fig. 2). Este tipo de representación parece poseer una mayor validez ecológica: mucha de la información de los estímulos ante los que se confronta un ser vivo se presenta con valores de distinta magnitud (y no sólo como la presencia o ausencia de una característica).



Figura 2. Ejemplo de una representación de estímulos empleando números enteros. Los dos estímulos son representados por un reducido número de nodos (3) y tan sólo se diferencian en la magnitud de activación de cada nodo. El primer nodo representa si la función del mismo es laboral; el segundo, si la construcción es empleada en todo momento; finalmente el tercer nodo posee información sobre el tamaño del inmueble. Puede apreciarse el estímulo casa intrínsecamente tiene una baja probabilidad de que sea empleada como lugar de trabajo, en donde las actividades de desarrollan constantemente y cuyo tamaño es menor al de un edificio. Los montos de cada atributo son arbitrarios.

Por su parte, una representación binaria emplea valores discretos en la traducción de los estímulos, generalmente los dígitos 0 y 1. Esta representación al emplear códigos binarios asume valores discretos y es de tipo cualitativa, donde las características en los estímulos son representadas como presentes o ausentes (ver Fig. 3).



Figura 3. Ejemplo de representación binaria de estímulos. Se representan en los dos primeros nodos la función de las construcciones (habitacional o laboral), los dos siguientes representan si la construcción se emplea en todo momento o sólo algún tiempo, finalmente el último nodo representa el tamaño de la construcción (pequeño o grande). En el estímulo edificio la propiedad de su funcionalidad como lugar de trabajo se representa por la activación de los dos nodos, la activación de sólo un nodo en los dos siguientes informa su menor posibilidad de que sea empleado constantemente; finalmente, el último nodo activo señala que es una construcción más grande que la casa.

La representación binaria puede plantear ciertas dificultades en las simulaciones debido que el código para representar los estímulos requiere ser veraz y exhaustivo. Las principales dificultades en la representación binaria radica en que por un lado la exhaustividad en la representación de los valores de los estímulos empleados, en su redundancia y su economía (el número de dígitos empleados o de nodos no debe ser tan grande o tan pequeño, a fin de evitar que el modelo aprenda regularidades y relaciones que no son objeto de interés en la simulación.

La insuficiencia y/o redundancia en los dígitos empleados son problemas comunes durante la representación de los estímulos. No obstante, es posible afirmar que una redundancia o un mayor número de dígitos empleados en la representación binaria no intervienen, necesariamente, sobre el resultado de una simulación (MacLeod & Plunkett, 1999).

Diversos trabajos que han empleado una cantidad excesiva de dígitos en su representación han simulado exitosamente diversos procesos en los que sólo las regularidades significativas para la solución de la tarea fueron empleadas. Aparentemente, quienes diseñan las simulaciones consideran dos elementos que son excluyentes en la representación de información y que justifican parcialmente la

redundancia: tienen la simplicidad en la representación, mediante una representación localista, y la economía, a través de las representaciones distribuidas.

Lo arriba señalado queda demostrado en el trabajo de Zorzi y cols. (1998), quienes en una tarea de deletreo de palabras en lengua inglesa eligieron representaciones localistas para simbolizar los fonemas y grafemas. A decir de los autores, con la finalidad de lograr simplicidad en las representaciones, éstas no eran económicas y podían ser redundantes por la gran cantidad de nodos que empleaban (p. ej., para representar una letra y su posición dentro de la palabra, los autores solamente empleaban un nodo de ocho disponibles el cual era ubicado en una posición azarosa de 26 posiciones posibles, en conjunto la cantidad de dígitos empleados para representar una palabra eran 208).

Otro ejemplo es el trabajo de Elman (1990), quien construyó 200 oraciones con 15 palabras para simular la adquisición de la sintaxis en lengua inglesa. Las palabras tenía una extensión entre tres y siete letras, hubo un total de 12 distintas letras y en donde cada una de ellas fue representada por un código de cinco dígitos. En otra simulación, presentada en el mismo trabajo, el autor empleó códigos de 31 dígitos (donde treinta valores eran 0) para representar 29 palabras estímulo. En ambos casos, el número de dígitos que el autor empleó resultaba redundante considerando la cantidad de combinatorias necesarias para cada estímulo.

Por lo arriba señalado, la falta de criterios establecidos sobre el número apropiado de dígitos utilizables en la representación de conceptos y estímulos, así como la evidencia que demuestra que la redundancia en los códigos empleados no interfiere con la simulación, al usar un número limitado de dígitos que agote las combinatorias en la representación sólo puede deberse a una búsqueda de simplicidad en el análisis por parte del modelo. Un número reducido de dígitos y de nodos que los procesan facilita el

análisis de la simulación y permite economizar el procesamiento de la misma, aunque este último punto sólo puede comprobarse empíricamente. Quizás la afirmación de Elman (1990) refleje fielmente esta situación al incrementar "...las dependencias secuenciales en una tarea no resulta necesariamente en un peor desempeño de la red...(y)... las complicaciones (en la representación de una tarea)... son acompañadas por redundancia, la cual proporciona señales adicionales para la tarea" (pág. 24).

Sin embargo, la redundancia puede poseer regularidades equívocas o no necesarias para la realización de una tarea, las que en consecuencia generan resultados erróneos (Elman, 1993). ¿Cómo es posible evitar el registro de tales redundancias? Una manera simple de realizarlo es presentar un corpus muy amplio de estímulos al modelo. Así, aunque las redundancias estén presentes en dicho corpus, no ocurrirán en todos los estímulos y las regularidades realmente importantes serán empleadas por la red para solucionar la tarea en cuestión.

Contribución de los modelos conexionistas

La contribución significativa de los modelos conexionistas a clarificar algunos debates teóricos sobre la organización cerebral (Bates et al., 1996), los ha llevado a ser propuestos para evaluar hipótesis sobre el desarrollo de las diversas funciones mentales superiores (Elman et al., 1996). La plausibilidad de los modelos permite proponer y observar diversos estados de un dominio cognoscitivo, y en donde las propuestas surgen desde las teorías mismas en las cuales se estén trabajando.

Los modelos conexionistas son muy flexibles o dúctiles en la elaboración o diseño de cualquier arquitectura; empero, poseen una estructura modular intrínseca a sus propiedades, la cual plantea principios y sesgos en los que debe basarse la propuesta del modelo.

Otras restricciones de los modelos conexionistas incluyen los algoritmos simples de aprendizaje que no tienen un referente biológico preciso; la limitación en el almacenamiento de la información por la falta de memoria física; y, finalmente, insuficiencia y errores teóricos en el diseño del modelo que pueda obtener resultados inesperados. No obstante varios estudios han mostrado en sus resultados soluciones distintas a las que las proposiciones teóricas han sugerido a diversos fenómenos cognoscitivos, sin por ello significar una mala aproximación al problema.

El trabajo de Plunkett y Marchman (1996; 1993) es un claro ejemplo de que una insuficiencia teórica, en este caso la intención explícita de dejar fuera las reglas, puede conducir a un replanteamiento teórico como consecuencia de sus resultados inesperados. El trabajo de los autores consistió en el análisis sobre el aprendizaje y empleo de los sufijos regulares y subregulares del tiempo pasado en inglés, donde un modelo simple hacía predicciones precisas de diversos verbos en su forma pretérita sin el empleo de reglas gramaticales o sintácticas. Otro ejemplo es el trabajo de Elman (1990) sobre el aprendizaje de la sintaxis en el que un modelo recurrente simple predijo de manera correcta las categorías gramaticales de los componentes de las oraciones, así como subcategorías de número, estado de animación, etc., basando sus predicciones en el elemento previo al predicho.

Los estudios arriba indicados demuestran que un sistema que aprende una lengua, en ambos casos se refiere a modelos conexionistas, es capaz de hacerlo basándose exclusivamente en las regularidades estadísticas en la información brindada. En un contexto más amplio, dichas regularidades forman parte del entorno al que se enfrenta un organismo, mismo que no requiere acceder a otro tipo de información como reglas ni poseer algún tipo de predisposición innata. Estos hallazgos se oponen a lo sugerido por Pinker y Prince (1988), quienes sugieren que la arquitectura neuronal de la

mente está conformada por dos rutas: una con dirección a un almacén de contenidos “irregulares” a los que no pueden aplicárseles las reglas mentales, y la otra ruta, donde son aplicadas las reglas mentales debido a las regularidades de las palabras. En consecuencia se tiene el conocido fenómeno de regularidad e irregularidad de las formas pretéritas de los verbos en lengua inglesa.

Marslen-Wilson y Warren (1994) emplearon tres modelos conexionistas para evaluar la propuesta de Pinker y Prince (1988) sobre la conjugación del tiempo pasado de verbos en inglés. Mientras que un modelo contenía reglas explícitas sobre las formas apropiadas de los verbos en tiempo pasado, los otros dos modelos carecían de las dichas reglas y sólo diferían en su arquitectura. Los resultados obtenidos en las simulaciones demuestran que el modelo con reglas realizó predicciones correctas cuando la información es regular, pero no predijo correctamente las irregularidades o subregularidades. Por su parte, los modelos conexionistas sin reglas manifestaron un desempeño como el de hablantes humanos: adecuada predicción de las regularidades y de las subregularidades. Estos resultados han mostrado que conductas que en apariencia son reguladas por algún mecanismo que establece relaciones formales entre elementos, pueden obedecer a mecanismos diferentes y no a los sugeridos.

Estos resultados deben ser tomados con cierta precaución por las limitaciones de los modelos conexionistas. Por ejemplo, Rhode y Plaut (1999) demostraron que el desempeño de un modelo conexionista, en una tarea de generación del tiempo pasado de verbos en lengua inglesa, puede mejorar si se imponen restricciones semánticas a los estímulos presentados a un modelo recurrente simple (información no contenida en regularidades estadísticas exhibidas al modelo). De acuerdo a los autores, esta mejoría en el desempeño del modelo es debido a que la información brindada no se limitó a las regularidades estadísticas, es decir, existe un conocimiento vinculado al lingüístico.

A manera de recapitulación, aunque el uso de los modelos conexionistas ha contribuido en gran medida al estudio de las funciones cognitivas, las limitaciones de estos modelos (las imprecisiones en la representación de la información, la falta de una adecuada esclarecimiento de la tarea que se desea simular, así como el relativo desconocimiento del fenómeno en cuestión) pueden originar resultados sesgados o no deseables los cuales no serían detectados hasta que un nuevo modelo conexionista, o la evidencia empírica dicten lo contrario.

Con la finalidad de evaluar la plausibilidad de los modelos, sin recurrir a nuevas simulaciones, deben compararse sus resultados con los obtenidos en estudios con seres humanos. En el presente trabajo el modelo propuesto se basa en estudios previos que han abordado el tema de interés; para que el modelo propuesto tenga mayor validez se emplea una tarea simplificada con un número reducido de variables que han sido ya estudiadas en seres humanos por Ostrosky, Marcos y cols. (1999).

CAPITULO IV

Simulación de la Afasia de Broca y plasticidad en modelos conexionistas

La sistematización y formalidad requerida por los modelos conexionistas para simular alguna propuesta teórica, principalmente al describir claramente las relaciones entre elementos, han brindado grandes beneficios al replanteamiento y mejoría de la teoría analizada. Esta sistematización y formalidad en la simulación se ha hecho extensiva al análisis de los trastornos cerebrales, en donde se altera una tarea normal mediante lesiones causadas a un modelo conexionista, se evalúa la eventual recuperación de las funciones perdidas y la rapidez con la que se realiza la misma.

El término lesión a un modelo puede ser ampliamente interpretado, aunque significa que los mecanismos funcionales y estructurales del modelo son alterados de alguna forma (p. ej., retiro de unidades de procesamiento, eliminación de la información, alteración de la dirección y/o de la fuerza entre conexiones, etc.). Los objetivos de las simulaciones de trastornos cerebrales han sido, por un lado, la construcción de modelos computacionales que pueden explicar como cambios neuroanatómicos y patológicos específicos pueden resultar en varias manifestaciones clínicas; por el otro, investigar la organización funcional de los síntomas que resultan de patologías cerebrales específicas.

Una ventaja del empleo de los modelos, en el estudio de los trastornos cerebrales, es la variación sistemática y controlada del tamaño de la lesión y su ubicación pueden ser controlados sobre un número arbitrariamente amplio de “sujetos” experimentales y tareas de procesamiento de información (Reggia, Ruppín & Sloan-Berndt, 1997). Los rubros en los que se han empleado los modelos neuronales abarcan la memoria, la neurología, la psiquiatría y el lenguaje.

Memoria. Gran parte de los modelos de daño en la memoria han simulado diversos síntomas del trastorno tipo Alzheimer. Algunas simulaciones conexionistas, motivadas por las observaciones experimentales, han examinado cómo la interrelación entre la supresión y la compensación sináptica reproducen los patrones observados en el deterioro de la memoria en seres humanos, y que estrategias de eficacia sináptica incrementada podrían mantener las capacidades de la memoria frente a una supresión sináptica (Horn, Ruppin, Usher & Herrmann 1993). Las variaciones de la compensación sináptica, el tamaño y la forma, son empleadas para definir las diversas estrategias de recuperación de funciones, y a su vez podrían explicar las variaciones observadas en la severidad y progresión del trastorno tipo Alzheimer.

Trastornos neurológicos y desórdenes psiquiátricos. A diferencia de los modelos anteriormente descritos, que se basan en procesos cognitivos, los modelos conexionistas de la epilepsia, la migraña y parkinson están principalmente basados en las estructuras anatómicas y los procesos fisiológicos que ocurren en el cerebro. Una muestra del tipo de estudios que realizan estos modelos, basados en las estructuras, son las simulaciones sobre lesiones focales en la corteza somatosensorial primaria (Sutton, Reggia, Armenraut & D'Aunrechy, 1993).

Existen múltiples modelos neuronales de trastornos psiquiátricos aunque la atención se ha dirigido principalmente a la simulación de la esquizofrenia, atención que ha generado una amplia diversidad de patrones de modelamiento. Por ejemplo, Cohen y Servan-Schreiber (1992) simularon el desempeño de sujetos normales y esquizofrénicos en tareas atencionales y de procesamiento del lenguaje, donde el efecto de la dopamina (la cual juega un papel principal en la patogénesis de la esquizofrenia) fue modelada. Los resultados obtenidos demuestran que un cambio en la cantidad de dopamina (en la forma de información dada a la red en los estímulos) en las neuronas puede explicar las

diferencias en el desempeño en la tarea entre sujetos neurológicamente intactos y esquizofrénicos.

Lenguaje. En el ámbito del lenguaje, los modelos neuronales han sido desarrollados para simular funciones normales y después lesionar las arquitecturas las para evaluar las alteraciones lingüísticas. Aunque estos modelos son orientados hacia la cognición y frecuentemente emplean una estructura de procesamiento como la de una neurona, no buscan un reduccionismo biológico de las estructuras neuroanatómicas y de las funciones neurofisiológicas; por esto, solamente deben ser vistos como simulaciones de procesos cognoscitivos muy específicos.

La mayoría de los trabajos que evalúan el daño en el lenguaje (afasia) mediante el uso de la propuesta conexionista, no simulan la alteración de una función. Así, en el trabajo realizado por Code y cols. (1994), los autores diseñaron varios modelos conexionistas cuya tarea era la predicción del grado de recuperación de pacientes afásicos en distintos dominios cognoscitivos relacionados con el lenguaje. Para el entrenamiento de los modelos se emplearon los puntajes obtenidos por pacientes afásicos en pruebas y subpruebas del lenguaje (todas provenientes del Western Aphasic Quotient). La tarea de los modelos consistió en la predicción de los puntajes que obtendrían los pacientes meses después del daño ocurrido. Y aunque el resultados del estudio son favorables a los modelos conexionistas (los autores reportan haber encontrado un alto índice de confiabilidad, así como precisión, en la predicción de la recuperación de dominios cognoscitivos) no se simuló un daño a un modelo..

Por su parte, Wermter, Panchev y Houlsby (1999) emplearon un modelo conexionista cuya tarea era la clasificación de sujetos en las afasias tipo Wernicke o de Broca basándose en las emisiones verbales. Los autores codificaron los componentes de las emisiones de acuerdo a la función sintáctica. En base a los resultados obtenidos, los

autores concluyeron que el modelo distinguió los sujetos con distintas formas de afasia, para ello empleó la información sintáctica del total de las emisiones de un paciente debido a que individualmente en cada emisión la información era insuficiente: los autores solamente codificaron la función de las palabras dentro de las oraciones – es decir, establecieron categorías como determinantes, sustantivo, verbos, etc., pero no asignaron códigos individuales a las palabras.

Por otro parte, los modelos conexionistas recurrentes, empleados para discriminar distintos tipos de afasias, pueden representar la información del contexto usando conexiones recurrentes y extraer el contexto apropiado de los estímulos. Las diferentes distribuciones de las palabras en los tipos afásicos pueden guiar a los sistemas gramaticales los cuales habitan en áreas diferentes en mapas autoorganizados. Los resultados del trabajo de Garfield, Elshaw y Wermter (2001) muestran que los procesos del lenguaje, en este caso la producción, pueden estar basadas en una estructura modular que interactúa con regiones particulares del cerebro.

Los estudios citados representan tanto el escaso interés en la afasia así como las pocas variantes en el objeto de estudio; en contraste, el estudio de la dislexia desde la perspectiva conexionista ha sido más recurrente y variable en su objeto de investigación (Reggia et al., 1997 y Plaut, 1996). Este énfasis ha significado grandes avances en la simulación de la dislexia, mismos que se reflejan en el consenso logrado sobre el tipo de arquitectura, la representación de los estímulos, los parámetros técnicos sobre la fuerza de las conexiones, la tasa de cambio, etc. Este consenso sobre el modelo de simulación ha establecido una base sobre la que otras simulaciones de la dislexia se apoyan como el trabajo de Brown (1997), que a su vez se basó en un modelo de lectura de Seidenberg y McClelland (1989).

Otro ejemplo es el trabajo de Plaut y cols. (1996), quienes simularon un trastorno tipo dislexia y evaluaron los efectos disruptivos en la nominación a través de la latencia en la respuesta, la activación de nodos y la fuerza de la conexión entre éstos. El principal resultado de los autores sugiere un sistema de lectura no requiere necesariamente de una ruta dual, sino que gradualmente incorpora una división regulada de la labor entre los procesos semántico y fonológico.

El estudio de los trastornos del lenguaje mediante los modelos conexionistas permite conocer con precisión la ubicación exacta y la magnitud del daño en el modelo. Ejemplo de ello es el trabajo de Small (1997), donde el autor comparó usando tres distintos tipos de modelos - recurrentes simples y estructurados-, la simulación de diferentes tipos de lesiones cerebrales. Los modelos mostraron un desempeño análogo al expuesto por seres humanos, lo que otorgaba una gran validez a la simulación del proceso. Por su parte, como consecuencia de la manipulación de las lesiones se conocieron con precisión las áreas de los modelos que sufrieron el daño, y por ende la parte del proceso que se interrumpió.

Debe considerarse que las características particulares de las lenguas influyen significativamente en la manifestación de los trastornos del lenguaje, y que estas características deben ser representadas explícitamente en los modelos conexionistas dado que es deseable que poseen una mayor realidad cognitiva. Asimismo, la influencia de factores individuales y sociales sobre las variaciones en el desarrollo o alteraciones de la lengua, aún deben ser estimados.

La lengua española, a diferencia de otros idiomas como el inglés, ha recibido poca atención como campo de estudio desde una visión psicológica o neurolingüística. Por ello, no es posible realizar la extrapolación de los resultados de otras lenguas (sobre los factores influyentes en el desarrollo, los patrones de los trastornos y las patologías,

etc.) al español por las características tan particulares del este último (Marcos y Ostrosky, 1995 y Ostrosky, Marcos et al., 1999).

Dentro las particularidades del español, la flexibilidad en su sintaxis, pese a tener un orden canónico del tipo S-V-O, permite que los elementos de las oraciones varíen en su posición sin alterar el sentido, lo cual no ocurre en lenguas *rígidas* como el inglés (esta misma flexibilidad restringe la generalización de los hallazgos en otras lenguas sobre factores del desarrollo, trastornos y patologías, etc. asociados con el orden de los elementos de la oración).

Diversos estudios sobre la identificación de los papeles temáticos, por pacientes afásicos, han demostrado que en lenguas distintas al español los elementos sintácticos no son una marca confiable, en su lugar el orden de los constituyentes es más importante y inequívoco en lenguas como el danés (Bastiaanse et al., 2003), el inglés (Beeke et al., 2003), el hebreo (Friedmann & Shapiro, 2003), el italiano (Bates et al., 1987), y el japonés (Hagiwara & Caplan, 1990). Sin embargo, Ostrosky, Marcos y cols. (1999) han demostrado que los pacientes con afasia de Broca emplean jerárquicamente marcadores sintácticos como la preposición *a* y los determinantes, y morfológicos como los sufijos de género, para identificar los papeles temáticos de oraciones tipo N-V-N reversibles. Por ejemplo, considérense las siguientes oraciones tomadas del trabajo de los autores arriba citados:

- a) El tigre golpeó a un león.
- b) Un tigre golpeó a un león.
- c) Un tigre golpeó el león.
- d) Un tigre golpeó un león.

Para un hispanohablante con afasia de Broca resultaría más simple comprender las dos primeras oraciones mencionadas puesto que a) y b) poseen la preposición *a* que designa al sujeto de la oración,;en contraste c) y d) carecen de la misma. En ausencia de dicha marca, como es el caso de las dos últimas oraciones, los pacientes con afasia de Broca recurrirían al empleo de otras señales como el nivel de determinación de los constituyentes o la posición con respecto al verbo de los mismos. Así, c) y d) difieren únicamente en el artículo determinado que antecede al sustantivo en posición postverbal en c); en esta oración, los pacientes afásicos identificaron este constituyente como el sujeto de la oración. Por su parte, en d) el sujeto de la oración fue identificado por la ubicación del sustantivo antes del verbo.

No obstante, pese a los hallazgos distintivos de este trabajo, aún queda por explicar y formalizar el comportamiento y la competencia de los marcadores en la determinación de papeles temáticos.

Hasta aquí se ha hablado principalmente de las restricciones y ventajas que representa el estudio de procesos cognoscitivos empleando modelos conexionistas. Sin embargo, su uso podría tener una contribución más implícita y más notoria en la teoría que se evalúa. De esta manera, la simulación exitosa de algunos procesos cognoscitivos superiores ha brindado una oportunidad para comprenderlos más ampliamente. Los modelos conexionistas han simulado exitosamente algunos de los procesos cognoscitivos superiores del ser humano, y han brindado una oportunidad para comprender dichos procesos. Por ejemplo, la adquisición del tiempo pasado en inglés ha llegado a ser durante varios años un campo de estudio y análisis para diferentes teorías del lenguaje y de la cognición en general. Actualmente, existen dos posturas al respecto, mientras que muchos modelos conexionistas sugieren que una arquitectura homogénea es suficiente para el aprendizaje de las formas regulares e irregulares de los verbos

(Rumelhart & McClelland, 1987; Plunkett & Marchman, 1996 , 1993); por otro lado, el modelo de ruta (Pinker & Prince, 1988) sugiere la implementación de una regla para los verbos regulares mientras que para los irregulares actúa la memoria asociativa. El trabajo de los modelos conexionistas ha conducido al replanteamiento de la propuesta del modelo de ruta dual, teniendo implicaciones teóricas aún más importantes sobre el papel que la predisposición innata juega en la adquisición del lenguaje. Por ello, es posible justificar el empleo de la propuesta conexionista en el estudio de la afasia y la plasticidad por ser una propuesta de análisis novedosa para la lengua española.

Por todo lo anterior, la simulación de una conducta típicamente evaluada en la afasia de Broca, como es la identificación de los papeles temáticos (la adquisición, la pérdida y recuperación de las funciones perdidas) contribuiría a determinar los procesos alterados durante la lesión y a aclarar el tipo de plasticidad correspondiente y el curso (Pizzamaglio et al., 2001). Por un lado, al simular una tarea de identificación de papeles temáticos, mediante un modelo conexionista, permitiría controlar el tipo de información brindada al modelo, así como simplificar el análisis y la importancia de los procesos y de los contenidos usados en la tarea de identificación. De igual manera, las posibilidades de lesionar el modelo, a fin de replicar una afasia tipo Broca de acuerdo a la tarea simulada, son múltiples permitiendo variar lesiones de diversas magnitudes y de distintas ubicaciones.

De esta manera, el objetivo del presente trabajo fue analizar el aprendizaje, deterioro y recuperación de los elementos de la oración que fueron empleados para solucionar una tarea de identificación de papeles temáticos, por parte de un modelo conexionista. Esta simulación debería replicar los hallazgos realizados en estudios con hispanohablantes con afasia tipo Broca.

Objetivos

Para realizar lo arriba mencionado se cubrieron distintos objetivos:

- Identificar los elementos de la oración que fueron más empleados en la identificación de los papeles temáticos.
- Estimar los cambios en el uso de los elementos de las oraciones como consecuencia de las lesiones originadas al modelo. Evaluar la consistencia en el uso de los elementos de la oración en los diferentes tipos de modelos, sin lesión y con daño, ante un nuevo corpus de oraciones.
- Evaluar la plausibilidad de los modelos lesionados mediante la comparación de los resultados obtenidos con los reportados en estudios con hispanohablantes mexicanos.

Hipótesis

- Las regularidades (estadísticas) de las oraciones influirán en la elección de papeles temáticos por parte del modelo
- La ubicación del daño en el modelo influirá significativamente en el empleo de los elementos de las oraciones
- Existirán diferencias en la frecuencia de uso de los elementos de las oraciones, individualmente y en las interacciones entre ellos, como consecuencia del aprendizaje por parte del modelo
- El uso de los elementos de la oración para solucionar la tarea serán similares, aunque en un rango distinto, a los obtenidos en los estudios con hispanohablantes afásicos

Método

Estímulos

Los estímulos ante los que se enfrentó el modelo fueron 720 oraciones activas simples, las cuales están basadas en el trabajo de Ostrosky, Marcos y cols. (1999). Las oraciones-estímulo se conformaron por diversos grupos de dígitos (estímulos-palabra), los cuales encarnan algunas características básicas de dos sustantivos, un verbo transitivo, dos artículos, una preposición y un elemento denotando ausencia de la misma (este último se introdujo con la finalidad de hacer equivalentes las frases nominales). Para conformar las oraciones-estímulo se establecieron 60 parejas de sustantivos y 30 verbos distintos.

Elementos de las oraciones

- 60 pares de sustantivos (120)
- 30 verbos transitivos
- 2 artículos (diferente nivel de determinación)
- 1 preposición (junto con el elemento que denota ausencia de la misma)

Representación Binaria de los estímulos

En las oraciones-estímulo se representaron binariamente cada uno de los elementos de las oraciones, los estímulos-palabra. En esta representación binaria se consideraron distintas características que fueron analizadas en estudios con hispanohablantes afásicos, esto fue realizado con el objetivo de evaluar la validez externa de los hallazgos obtenidos; asimismo, se incluyó información adicional (el elemento que denotaba ausencia de la preposición) para que el aprendizaje y solución de la tarea por parte del modelo se basará exclusivamente en la información de interés del estudio (la preposición, los artículos, etc.). Las condiciones del modelo y las características de los estímulos-palabra (variables) se describen a continuación.

Variables

- Condición del modelo (normal o sin alteraciones en su diseño; lesión por remoción de nodos, y lesión por restricción de conexiones)
- Orden de los constituyentes – Sustantivo (S), Verbo (V) y Objeto (O)
- Categoría gramatical
- Clase de palabra
- Papel temático

Con excepción del orden de los constituyentes, el cual consiste en la disposición interna del S, el V y el O en las oraciones-estímulo, cada variable se representó dentro de distintos campos de información en la codificación individual de los estímulos-palabra. Cada campo contuvo sólo dos valores de información mismos que eran mutuamente excluyentes.

Códigos asignados a clases de palabra

Esta variable representa individualmente la clase de palabra ante la que se confronta el modelo; la clase abierta sugiere que la palabra pertenece a un conjunto infinito de elementos, el cual está conformado por palabras contenido en el lenguaje (p. ej., los sustantivos). Por su parte, la clase cerrada indica un conjunto finito de elementos, mismos que en el lenguaje son conocidos por su valor gramatical pero no semántico (p. ej., las preposiciones).

Distinción entre Clase

<u>Abierta</u>	vs.	<u>Cerrada</u>
Sustantivos		Preposiciones
Verbos		Artículos

En la representación binaria de las palabras la pertenencia de éstas a una clase abierta fue simbolizada con 1 mientras que las de la clase cerrada lo fueron con un 0.

La información sobre la categoría gramatical de la palabra se conformo por cuatros valores: sustantivo, verbo, preposición y artículo. Con la finalidad de usar la

representación binaria y sólo un dígito se condicionó la representación de categoría gramatical a la de la clase de palabra. De esta manera, los sustantivos y los verbos que sólo podían pertenecer a la clase abierta eran distinguidos por 1 para sustantivos y 0 para verbos. Similarmente, para establecer una diferencia entre la preposición y los artículos, pertenecientes a la clase cerrada de palabras, se usó 1 y 0, respectivamente. Estas combinaciones dieron por resultado que en los dos primeros dígitos de la representación binaria un sustantivo tuviera el código 11, un verbo el 10, la preposición el 01, y finalmente, los artículos el 00.

Distinción entre Categorías Gramaticales

En clase Abierta

1 = Sustantivos

0 = Verbos

En clase Cerrada

1 = Preposiciones

0 = Artículos

Una fuente de información significativa para los hispanohablantes ha sido el conocimiento implícito de algunas de las características de los elementos de la oración. Por un lado, este conocimiento permite que los sustantivos sean identificados como los únicos elementos que pueden ser ejecutores o receptores de una acción debido a lo que representan (Marcos, Ostrosky & Ardila, 2003). Por otra parte, en los artículos, dicho conocimiento es mostrado en el nivel de determinación: un artículo determinado precede a un sustantivo específico; en oposición, un artículo indeterminado antecede a un sustantivo sin especificar.

Para representar este conocimiento implícito sobre los sustantivos se emplearon dos dígitos. El primer dígito permitió diferenciar los elementos de las oraciones que podían ser actores/receptores de las acciones de los restantes; de esta forma, se asignó el código 1 a los sustantivos y 0 a los demás elementos. El segundo dígito sólo fue empleado para establecer los diferentes niveles de determinación de los artículos: 0 para

el indeterminado un y 1 para el. De esta manera, los sustantivos tuvieron el código 1 0 en este campo, el artículo un se representó con el código 0 0, finalmente, el artículo determinado el usó el código 0 1; los restantes elementos oracionales tuvieron el código 0 0.

De igual manera se incluyó un campo de información en el cual se en los estímulos-palabra cuya función era diferenciar el papel temático asumido por cada sustantivo dentro de las oraciones. Este campo sólo fue empleado en los estímulos-palabra denominados tutoriales y sólo tuvo valores significativos en los sustantivos. Los tutoriales son las respuestas correctas a la tarea impuesta al modelo conexionista; generalmente, cada ensayo en la tarea significa un apareamiento único entre un estímulo y una respuesta. En el presente trabajo a cada oración-estímulo correspondió una sola respuesta o tutorial que consistió en los papeles temáticos de esa oración en particular. La descripción de la tarea y del apareamiento entre los estímulos-oración y las respuestas o tutoriales se verá con más detalle en el apartado que describe la arquitectura del modelo.

Los dígitos quinto y sexto conformaron el campo de información sobre el papel temático. El código 10 fue asignado a los sustantivos que funcionaban como sujetos de las oraciones, mientras que el código 00 representó los objetos. Por ejemplo, en la oración

b S1 V a un S2

en esta oración S1 es el sujeto y S2 el objeto, el código asignado a S1 fue 1 1 1 0 1 0, mientras que para S2 fue 1 1 1 0 0 0, en donde los dos últimos dígitos establecen la diferencia entre los papeles temáticos de dichos sustantivos.

Papel temático

1 0= Sujeto

0 0= Objeto

Las siguientes tablas muestran la representación binaria de la categorización arriba propuesta para todas las palabras (ver Tabla 5) y para los dos diferentes artículos (Tabla 7).

Tabla 5. Codificación binaria de las palabras-estímulo. La información contenida en las palabras-estímulo fue agrupada en cinco distintos campos de información que representaron algunas características palabras reales. Las características contenidas en estos campos asumieron dos valores mutuamente excluyentes (p. ej., Clase de palabras: abierta código 1 y cerrada código 0). El campo de identidad particular representa una excepción en la codificación de las palabras debido a que para cada una de las 184 palabras-estímulo existió un código irrepetible. Este código estuvo compuesto por de combinatorias de ocho dígitos y fue asignado azarosamente con la finalidad de evitar patrones de información que brindaran más información para discriminar las palabras (p. ej., verbos de sustantivos).

Palabra	Clase	Categoría Gramatical	Pragmática	Papel Temático	Identidad. Particular
Sustantivo	1	1	1 0	1 0	--
Verbo	1	0	0 0	0 0	--
Preposición	0	1	0 0	0 0	--
Ausencia/Presencia	0	0	0 0	0 0	--
Artículo	0	1	0 0	0 0	--

Tabla 6. Codificación binaria de los artículos. Con la finalidad de distinguir entre los diferentes niveles de determinación de los artículos se emplearon dos códigos en el campo de pragmática.

Palabra	Clase	Categoría Gramatical	Pragmática	Papel Temático	Identidad. Particular
Un	0	1	0 0	0 0	--
El	0	1	0 0	0 0	--

En los códigos de *Identidad Particular* se empleó un total de ocho dígitos. Las combinatorias posibles, con valores binarios, sin repetición para este campo de información dieron por resultado un total de 256 códigos. Fueron necesarios los ocho dígitos en dicho campo de información ya que el número total de “palabras” generadas fueron 153 (120 para *Sustantivos*; 30 para *Verbos*; una *Preposición* y dos *Artículos*. Si solamente se hubieran empleado siete dígitos el número de combinatorias posibles hubiera sido 126, las cuales son insuficientes para el número total de palabras

empleadas; la probable redundancia en el número de dígitos empleados no debe constituir un problema en la representación de la información debido a la irrelevancia que tiene en la tarea estudiada. La asignación de los códigos fue azarosa para cada estímulo-palabra por lo que no hubo patrones de información que discriminaran entre ellos (e.g., verbos de sustantivos).

El tipo de representación empleada fue, por lo tanto, localista debida al empleo de valores discretos en los códigos de información que representaban; de igual manera, la ausencia o presencia de alguna característica o atributo. Aunque la representación distribuida dota de realidad al modelo; no fue empleada en el presente trabajo debido a que este tipo no permitía la aplicación y el análisis de una de las propuestas de daño al modelo: la remoción de nodos (daño que se basaba en el supuesto de eliminar unidades de procesamiento especializadas en cierto tipo de información, la que procesaban recurrentemente a lo largo de las diferentes oraciones-estímulo confrontadas). De igual forma, el análisis de la representación distribuida no hubiera requerido solamente la estimación del estado de los nodos de procesamiento (activo/inactivo) , sino también la magnitud de dicha actividad.

Construcción de las oraciones. Cada una de las oraciones-estímulo fue constituida por dos sustantivos, un verbo transitivo (cada verbo fue asignado a dos pares de sustantivos); una preposición; una marca de presencia/ausencia y artículos de igual o diferente nivel de determinación.

Los estímulos-palabra de las oraciones no poseyeron referentes reales, solamente representaron algunos valores de las características de la palabras, a través de las representaciones binarias indicadas en las tablas 5 y 6. Las siguientes oraciones son ejemplos de los estímulos presentados al modelo.

1. b Un S1 V1 a un S2
2. b El S2 V1 a un S1

donde b es el elemento que indica presencia/ausencia y siempre antecede al artículo perteneciente al sustantivo agente; S1 y S2 representan los sustantivos; V1 representa el verbo; un y el son los artículos con diferente nivel de determinación; finalmente, a representa la preposición. .

El orden de los elementos de oraciones fue manipulado a fin de diseñar oraciones-estímulo dentro de las seis posibilidades lógicas de disposición de los papeles temáticos. Las disposiciones posibles, u órdenes, de los elementos oracionales no afectan el sentido de las oraciones ni altera los papeles temáticos. Los órdenes empleados de las oraciones son los que se muestran a continuación:

Orden de los elementos

S – V – O
S – O – V
O – S – V
O – V – S
V – S – O
V – O – S

(donde S se refiere al sujeto de la oración, V denota el verbo y O, al objeto de la misma)

El conjunto total de oraciones se dividió en dos corpus del mismo tamaño (360 oraciones); cada oración fue aleatoriamente asignada a alguno de los dos corpus. El primer grupo de oraciones fue empleado durante el entrenamiento y lesión del modelo; por su parte, el segundo conjunto se empleó para evaluar la generalización del aprendizaje de los diferentes modelos: normal, lesión por retiro de nodos y por restricción de conexiones. La tabla 7 muestra el número total de oraciones por cada uno de los seis órdenes posibles.

Tabla 7. Frecuencia de órdenes de los elementos de la oración durante el entrenamiento, lesión y generalización.

Entrenamiento y Lesión	
Orden	Frecuencia
S-V-O	66
S-O-V	64
O-S-V	62
O-V-S	53
V-S-O	60
V-O-S	55

Generalización	
Orden	Frecuencia
S-V-O	54
S-O-V	56
O-S-V	58
O-V-S	67
V-S-O	60
V-O-S	65

Establecimiento de tutoriales. Los estímulos que deben ser igualados por los modelos conexionistas, mismos que son denominados tutoriales, influyen significativamente en las soluciones generadas debido a sus características y su frecuencia de aparición. Por ejemplo, el que una característica aparezca en la mitad de los tutoriales influirá para que un modelo ajuste las conexiones y la activación de nodos a fin de que uno de cada dos predicciones presenten esa característica.

En el presente trabajo, los tutoriales sugeridos para la tarea de identificación fueron los papeles temáticos de cada una de las oraciones estímulo. Considérese el ejemplo de las oraciones (1) y (2) anteriormente citadas.

1. b Un S1 V1 a un S2
2. b El S2 V1 a un S1

Para la oración (1) los tutoriales establecidos fueron para el papel temático de Sujeto, el sustantivo S1; para el del verbo, V1; y para el del objeto, el sustantivo S2. Por su parte, para la oración (2), el verbo fue V1, mientras que el sujeto y el objeto fueron S2 y S1,

respectivamente. De esta forma, a cada una de las distintas oraciones-estimulo le correspondió un tutorial que contenía los papeles temáticos, resultando un total de 360 tutoriales (la figura 4 representa de manera gráfica la tarea diseñada para el modelo).

Durante el diseño del modelo y el establecimiento de los tutoriales se realizaron diversas simulaciones en las que variaron las frecuencias de los órdenes de estos últimos (de los seis órdenes posibles: SVO, SOV, VSO, VOS, OSV, y OVS). En estos piloteos pudo observarse que el orden de los papeles temáticos, en los tutoriales, influyó en las estrategias empleadas por el modelo en la solución de la tarea. Cuando el modelo se enfrentaba ante un corpus de tutoriales en donde los seis órdenes tenían la misma frecuencia de aparición, el uso de los elementos de la oración fue irregular y errático. Aunado a esto, debe considerarse que cada uno de los diferentes órdenes de las oraciones, y de las secuencias de los papeles temáticos que enfrentan los oyentes, varía en el español y que esta diversidad no era expuesta en los conjuntos de las oraciones y de los tutoriales, lo que restaba realidad a la simulación.

Con la finalidad de evitar el sesgo arriba señalado, se emplearon todos los distintos órdenes posibles de los tutoriales, donde su frecuencia y proporción se basaron en los resultados hallados por Ostrosky, Marcos y cols. (1999) y Solorio (2003). Los trabajos de dichos autores permitieron evaluar las expectativas de hispanohablantes sobre la adecuada ubicación de los constituyentes de la oración, concretamente del sujeto y del objeto, cuando les eran mostradas oraciones ambiguas con diferente orden de argumentos (N-V-N, N-N-V y V-N-N). Los resultados obtenidos por los autores fueron empleados como índices de la proporción de uso y disponibilidad de cada uno de los diferentes órdenes en la lengua española.

La tabla 8 muestra las proporciones reportadas por los autores para cada una de las estructuras argumentales y para los dos órdenes de oración correspondientes a cada

una de ellas (p. ej., para el orden argumental N-V-N existen dos órdenes oracionales el SVO y el OVS), dichas proporciones son presentadas en la columna de *Porcentaje*. Obsérvese que los valores porcentuales de ambos órdenes de cada estructura suman 100% para la misma.

Para establecer la frecuencia de cada uno de los diferentes órdenes inicialmente se dividió el corpus total de las 360 oraciones de acuerdo al valor sugerido de la estructura¹. Los montos resultantes correspondían al número de oraciones que poseerían un estructura argumental en específico, adviértanse los *Totales Parciales*. Finalmente, para obtener las frecuencias de los seis diferentes órdenes de los constituyentes se multiplicaron los *Totales Parciales* de la estructura por el porcentaje que cada uno de los dos órdenes tenía en la misma, resultando en los valores mostrados en la columna *Frecuencia*.

Tabla 8. Porcentaje de los órdenes de los constituyentes y peso de las estructuras de los argumentos. El porcentaje de los órdenes de las oraciones es el representado solamente dentro del orden de argumentos y relativo al número total de oraciones empleadas en la tarea (p. ej., mientras que el orden de la oración SVO representa casi el 80% dentro de la estructura de argumento N-V-N, en el conjunto de oraciones sólo son 142 oraciones)

Orden de argumentos	Orden	Porcentaje	Valor de la estructura	Frecuencia
N-V-N	SVO	78.67	0.5	142
	OVS	21.33		38
Totales parciales				180
N-N-V	SOV	63.33	0.3	68
	OSV	36.67		40
Totales parciales				108
V-N-N	VSO	49.33	0.2	36
	VOS	50.67		36
Totales parciales				72
Total general				360

¹ El valor de la estructura fue asignado de acuerdo a los universales en la frecuencia de órdenes (Comrie, 1989) siendo relativos a los diferentes arreglos de los constituyentes en la lengua española (Marcos, 2003. Comunicación personal).

Arquitectura del modelo conexionista

Fase Entrenamiento. Previo a la simulación de la tarea fueron evaluadas diversas arquitecturas a lo largo de distintos piloteos. La selección de la arquitectura definitiva tuvo como principal criterio la menor discrepancia entre las predicciones del modelo y los tutoriales (análisis permitido por el software de simulación y que consiste en la suma de cuadrados de las diferencias entre los valores predichos por el modelo y los tutoriales), así como el uso regular de los elementos de la oración.

La arquitectura empleada fue de anteroalimentación (*feedforward*) sin conexiones recurrentes entre distintas capas de nodos o conexiones inhibitorias intracapa. Esta arquitectura se compuso de tres niveles de nodos: de registro, de producción y entre estos dos niveles, los nodos de procesamiento interno que registraron individualmente las palabras-estímulo que conformaron las oraciones. Las conexiones entre nodos fueron distribuidas entre el nivel de registro y el de procesamiento interno, mientras que de estos últimos a los nodos de producción existieron conexiones entre todos (véase Figura 4).

La tarea del modelo consistió en la identificación de los papeles temáticos de las oraciones-estímulo. La solución que brindó el modelo, y que fue analizada, no era la igualación de los tutoriales, ya que su presencia compele a la igualación de los mismos, sino el uso de las regularidades en las oraciones para identificar los papeles temáticos.

Los nodos de procesamiento de los estímulos-palabra permitieron al modelo procesar de manera individual y simultánea cada uno de los elementos que conformaron las oraciones, sin la competencia directa entre ellos. Las conexiones de nodos de procesamiento a nodos de producción integraron la información que había sido procesada individualmente.

El modelo conexionista se compuso de 189 nodos, de los cuales 98 fueron de registro, 49 nodos de procesamiento y 42 nodos de producción. El reconocimiento individual de las palabras que integraron las oraciones ocurrió en un primer nivel de nodos de registro (98 en total). Posterior a este nivel se hallaba otra capa, la de nodos de procesamiento (49), que analizaron y sintetizaron la información individual de cada palabra dentro del sistema del que formaron parte, la oración. Finalmente, se encontraban los 42 nodos de producción, que determinaron los papeles temáticos de la oración.

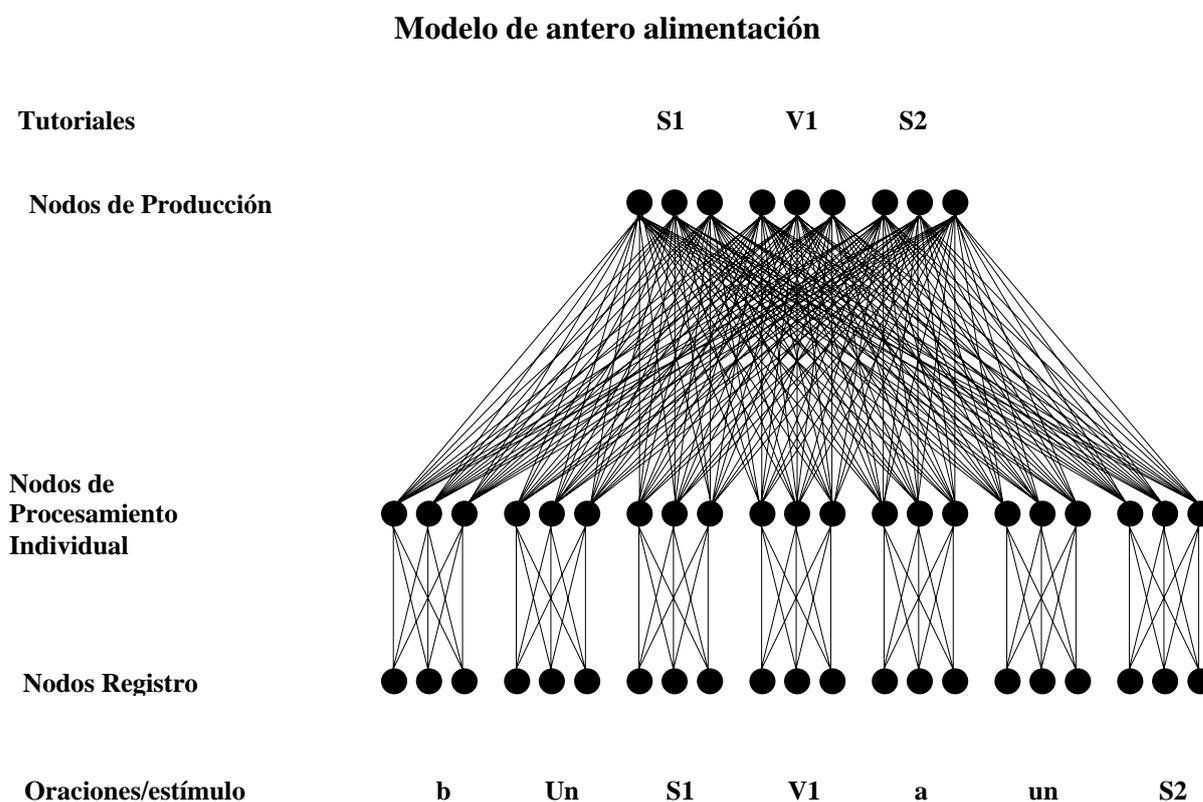


Figura 4. Arquitectura y tarea del modelo. La tarea presentada al modelo requirió la transformación de las representaciones de las oraciones-estímulo en los constituyentes principales de la oración (S,V y O), así como la identificación de los papeles temáticos. Tales transformaciones son logradas a través de las interacciones cooperativas de los nodos de procesamiento, mismos que integran la información de los nodos de registro encargados de examinar individualmente cada uno de los elementos de las oraciones estímulo, cuyas representaciones eran dependientes del arreglo horizontal en el que se encontraban, los órdenes de las oraciones.

Fase Lesión. Posterior a la fase de entrenamiento, se ocasionaron dos distintos tipos de lesiones al modelo para replicar el daño tipo afasia de Broca. Ambas lesiones difirieron en la ubicación del daño (al nivel del procesamiento de la información y al de conducción de la misma), y al elemento estructural dañado (nodos y conexiones). Cada tipo de daño permitió evaluar una estrategia de recuperación distinta por parte del modelo (plasticidad).

Remoción de nodos. El primer tipo de daño refiere a la disminución de la capacidad de procesamiento de los nodos de representación interna. Esta disminución limitó al modelo en su capacidad de procesar los estímulo-palabra sin alterar el registro de los estímulos ni la predicción de los tutoriales. La elección de la magnitud del daño y la ubicación de la misma fueron establecidos mediante sucesivas aproximaciones, debido a que se careció de información previa en la bibliografía sobre alguna simulación de afasia de Broca. Para este tipo de daño, se restringió el 60% de la capacidad de procesamiento del modelo, puesto que en ese porcentaje los patrones de empleo de marcas fueron consistentes e identificables. La siguiente figura muestra la ubicación del daño (véase Figura 5).

Modelo de antero alimentación

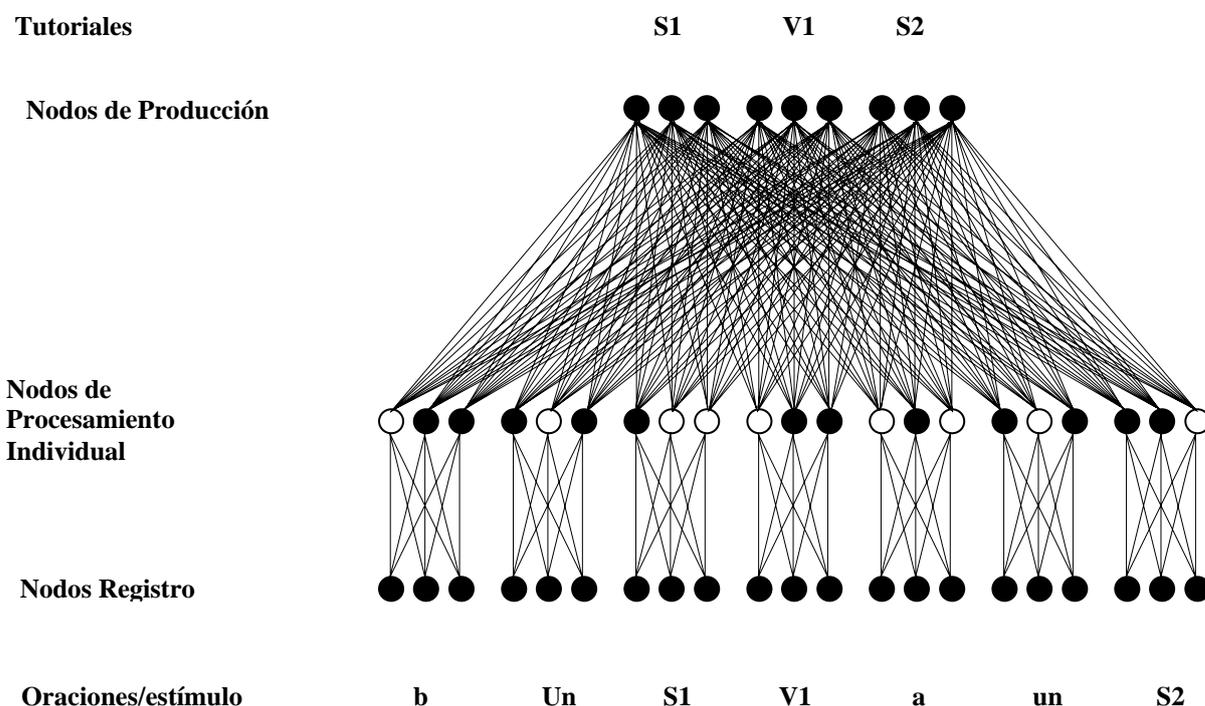


Figura 5. Lesión del modelo mediante la remoción de nodos de procesamiento interno. Un análisis posterior al aprendizaje de la tarea por parte del modelo permitió identificar los nodos de procesamiento que se activaron consistentemente durante la tarea. La elección de los nodos fue realizada individualmente para cada estímulo-palabra.

Restricción de Conexiones. Para este tipo de daño se restringieron las conexiones entre nodos, donde la elección de cuáles serían alteradas, considerando su ubicación y magnitud, se estableció nuevamente a través de simulaciones sucesivas. La magnitud se igualó con la remoción de nodos (60%), estableciendo un elemento común entre ambos tipos de lesiones para permitir su comparación. Se restringieron las conexiones entre las capas de nodos de procesamiento y los nodos de producción, y de esta manera el modelo registró y procesó los nodos aunque no pudo integrar la información para la predicción de los tutoriales. La siguiente figura muestra la ubicación del daño.

Modelo de antero alimentación

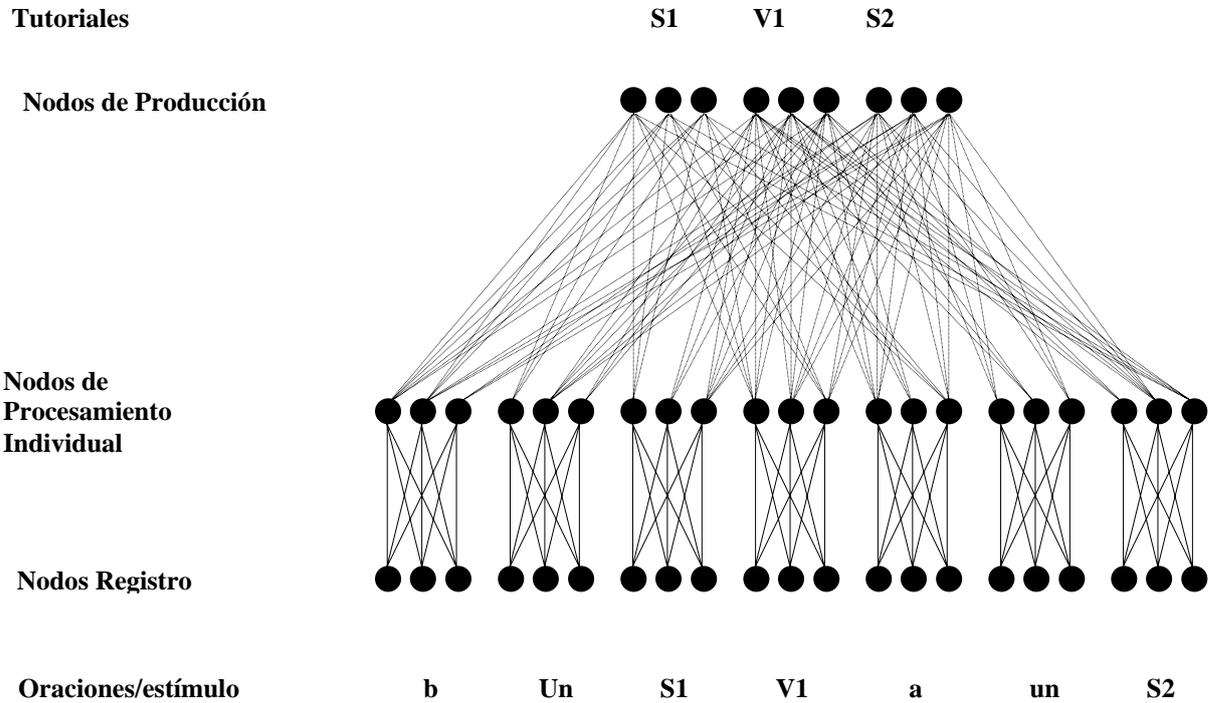


Figura 6. Ubicación del daño “Restricción de conexiones”; por cuestiones de claridad y limitaciones de espacio se representan, como líneas discontinúas, las conexiones que sufrieron restricción. La elección de las conexiones fue realizada posterior al aprendizaje; de las conexiones entre nodos se redujo su fuerza un 60%.

Procedimiento

Entrenamiento. El modelo fue entrenado en un rango de aprendizaje de 0.3 y un *momentum* de 0.1 (magnitudes de cambio entre las fuerzas de conexiones entre nodos). Estos fueron valores constantes que determinaron la magnitud del cambio de las conexiones entre los nodos dada una cierta medida de error, a saber, la discrepancia entre los estímulos entrantes (inputs) y los estímulos salientes (outputs). Dichos valores se establecieron como los apropiados para obtener del modelo el máximo de aprendizaje, la mínima discrepancia entre predicciones y tutoriales. La elección de dichos valores también se realizó mediante simulaciones sucesivas ya que se obtuvieron patrones regulares de cambio en el aprendizaje total del modelo.

El modelo se confrontó ante el corpus de entrenamiento en un total de 5000 ensayos, el equivalente a 14 *epoch*, o confrontaciones del modelo ante el habeas total de estímulos. Es decir, el modelo enfrentó 14 ocasiones cada oración-estímulo.

Resultados

Se estimó el desempeño de un modelo conexionista en una tarea de identificación de papeles temáticos en oraciones activas simples, y su correspondiente generalización de estrategias posterior a las alteraciones en la arquitectura del modelo. Los análisis realizados fueron aquellos permitidos por el software de simulación, los cuales consistían en las estimaciones generales del aprendizaje de la tarea presentada (gráficas de las discrepancias entre inputs y outputs, ajuste de peso en las conexiones entre nodos, suma de cuadrados), en los análisis del agrupamiento de estímulos a partir de las regularidades y subregularidades que detectó el modelo. Por otro lado, se estimó el porcentaje de empleo de los constituyentes ante las distintas oraciones mediante la activación de los nodos de procesamiento. Dichos análisis fueron realizados para las tres distintas condiciones del modelo en la fase de entrenamiento y de evaluación: i) sin daño, ii) remoción de nodos de procesamiento y iii) restricción de las conexiones entre los nodos de registro y de producción.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos por el modelo en cada una de las condiciones (sin lesión, remoción de nodos y restricción de conexiones) y en las distintas fases. Se agrupan los resultados por las distintas regularidades que se han observado como relevantes en la solución de la tarea por parte de hispanohablantes. Debe señalarse que debido a la designación aleatoria del número de oraciones en cada orden y a la pérdida de la información de algunas oraciones, el número de las mismas que fueron empleadas para realizar el análisis estadístico se redujo a 944.

Fase Entrenamiento y Lesión

En la presente sección se presentan los análisis del aprendizaje del modelo conexionista, sin daño y con lesiones por remoción de nodos y restricción de

conexiones. En esta fase se evalúan las regularidades que fueron empleadas por el modelo en cada una de las condiciones para la identificación de los diferentes papeles temáticos; el uso particular de uno de los diferentes elementos indica la importancia que cada uno de ellos tuvo para la solución de la tarea.

Los análisis estadísticos, de las principales variables, muestran que hubo diferencias significativas en el empleo de los elementos de la oración durante la fase de entrenamiento. Cuando se comparó el empleo de los diversos elementos de la oración a lo largo de las diferentes condiciones del modelo (normal, lesión vía nodos y lesión vía conexiones)¹, mediante el análisis de varianza individual (ONEWAY) de cada uno de aquellos, se obtuvieron diferencias significativas para el *Sujeto* ($F_{(2, 941)} = 64.67$ $p < .001$), *Verbo* ($F_{(2, 941)} = 70.51$ $p < .001$); *Objeto* ($F_{(2, 941)} = 66.53$ $p < .001$); *Preposición* ($F_{(2, 941)} = 141.93$ $p < .001$); *Artículo* (precediendo al *Sujeto*) ($F_{(2, 941)} = 12.50$ $p < .001$), y *Artículo* (del *Objeto*) ($F_{(2, 941)} = 8.36$ $p < .001$).

De la misma forma, se estimaron las diferencias asociadas al *Orden* de los constituyentes en el uso de los elementos oracionales. En esta comparación solamente existieron diferencias significativas en el empleo de la *Preposición* ($F_{(5, 938)} = 41.43$ $p < .001$) y los artículos precedentes al *Sujeto* ($F_{(5, 938)} = 6.18$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(5, 938)} = 13.95$ $p < .001$).

Asimismo, en la comparación del uso de los elementos de acuerdo al *Nivel de Determinación* de los artículos (donde existieron tres diferentes valores: artículos determinados para *Sujeto* y *Objeto*; artículos indeterminados para *Sujeto* y *Objeto*; y artículos determinados/indeterminado y indeterminados/determinado para *Sujeto* y

¹ Se refiere a la activación por parte del modelo de los diferentes grupos de nodos, de cada uno de los elementos de la oración, en la tarea de identificación de los papeles temáticos. La actividad de cada grupo de nodos durante la tarea, sugiere el valor que la información de la palabra procesada representa para el modelo; por lo tanto, el número de ensayos en los que cada palabra sea empleada será consecuencia de la estrategia generada por el modelo para solucionar la tarea, y estará condicionada a las variaciones del orden de los constituyentes, del nivel de determinación de los artículos y a las condiciones de la arquitectura, con o sin lesión.

Objeto), ocurrieron el menor número de diferencias significativas. Dichas diferencias ocurrieron solamente en el empleo del artículo para el *Sujeto* ($F_{(2, 941)} = 309.84$ $p < .001$) y para el *Objeto* ($F_{(2, 941)} = 112.62$ $p < .001$).

Finalmente, cuando se evaluó el empleo de los diferentes elementos de la oración dependiendo de la interacción de los tres factores arriba enunciados (las condiciones del modelo, el orden de las oraciones y el nivel de determinación de los artículos) solamente se obtuvieron diferencias significativas para el uso de la *Preposición* ($F_{(13, 930)} = 47.94$ $p < .001$) y de los artículos precedentes para el *Sujeto* ($F_{(13, 930)} = 23.17$ $p < .001$) y el *Objeto* ($F_{(13, 930)} = 22.25$ $p < .001$).

Los resultados arriba expuestos muestran que, en la identificación de los papeles temáticos durante la fase de entrenamiento, el modelo empleó con mayor frecuencia la *Preposición* y ambos *Artículos*, el cual fue dependiente tanto del *Orden* de los constituyentes así como del *Nivel de Determinación* de los artículos.

La figura 7 muestra los análisis globales sobre el aprendizaje del modelo en la tarea en la condición sin daño. La figura 7a muestra la estimación general del aprendizaje del modelo; dicha estimación está basada en la suma de cuadrados de las discrepancias entre los valores predichos por el modelo y los tutoriales, en la que una diferencia menor entre aquellos indica un mayor aprendizaje de la tarea por parte del modelo. En esta figura, puede apreciarse que el máximo nivel de aprendizaje del modelo fue logrado alrededor de los 500 ensayos; en este punto la suma de cuadrados descendió desde cuatro puntos, al inicio de los ensayos, hasta la mitad de ese monto sin que hubiera una disminución posterior. Este resultado que sugiere que el aprendizaje del modelo ocurrió con sólo dos exposiciones del mismo ante cada uno de los estímulos.

Sin embargo, pese al aprendizaje logrado por el modelo, aun persistieron discrepancias entre las predicciones de aquél y los tutoriales. La aproximación general

representada en la figura 7a no indica la fuente de dichas diferencias puesto que tal análisis sólo permite una aproximación superficial de la actividad del modelo, y por lo tanto, no identifica los elementos que generan el mayor número de errores en los pronósticos.

El análisis de grupos permitió conocer las fuentes de dichas discrepancias debido a que permite la aglomeración, por parte del modelo, de los distintos estímulos basándose en sus regularidades. En este tipo de análisis, los patrones de activación de las unidades ocultas son estimados y agrupados paulatinamente de acuerdo a sus similitudes. Como resultado de esta clasificación, se obtiene una estructura de árbol, o dendograma, en donde se representan gráficamente las proximidades relativas de los patrones de los estímulos tal como son simbolizados por las unidades ocultas, es decir se conforman grupos.

En esta estructura, el denominado punto de origen es representado por un eje vertical, e indica el punto de partida de las clasificaciones de los estímulos que realiza el modelo. La distancia que cada uno de los grupos de estímulos tiene respecto a dicho punto guarda una relación directa con la imprecisión en el pronóstico; a saber, una menor distancia indicará pronósticos más precisos así como una mayor similitud de la información empleada por las unidades ocultas para la representación de los estímulos.

Por otro lado, las diversas ramificaciones del dendograma muestran la semejanza en la información empleada para la conformación de las diversas categorías. Las categorías que poseen algún grado de información común son ubicadas en una misma “rama”, sin embargo no es la suficiente como para que sus elementos sean ubicados en un mismo grupo.

La figura 7b muestra las diferentes agrupaciones que realizó el modelo, en la condición sin daño, de los diversos elementos de la oración. Sobre dicha agrupación el

análisis puede realizarse en dos puntos: por un lado, las magnitudes de los errores en la predicción o las distancias de los grupos respecto al punto de origen; y por otro lado, la posición que cada categoría posee dentro del dendograma total y respecto a los otros grupos, las ramificaciones.

El modelo mostró un empleo distinto de cada uno de los elementos de las oraciones, uso que influyó en las construcciones de las diversas categorías y las distancias de las mismas del punto de origen. Elementos como los *Artículos* o la *Preposición* aunque sin ser agrupados por la información que contenían, fueron los más próximos al punto de origen; mientras que *Sustantivos* y *Verbos* mostraron las mayores distancias (debe indicarse que en la construcción de las oraciones el mayor número de integrantes para cada grupo correspondió a las dos últimas categorías mencionadas).

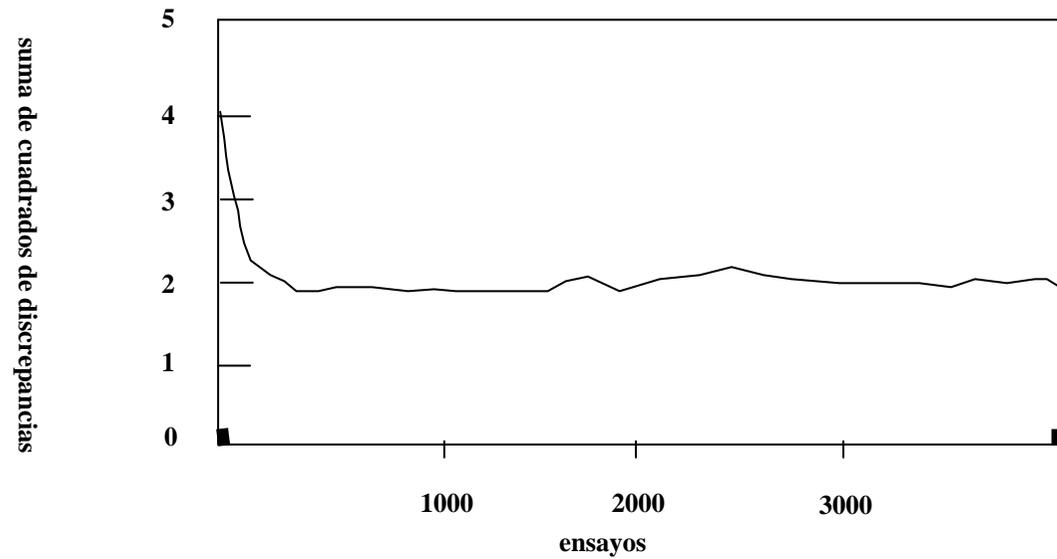


Fig. 7a.

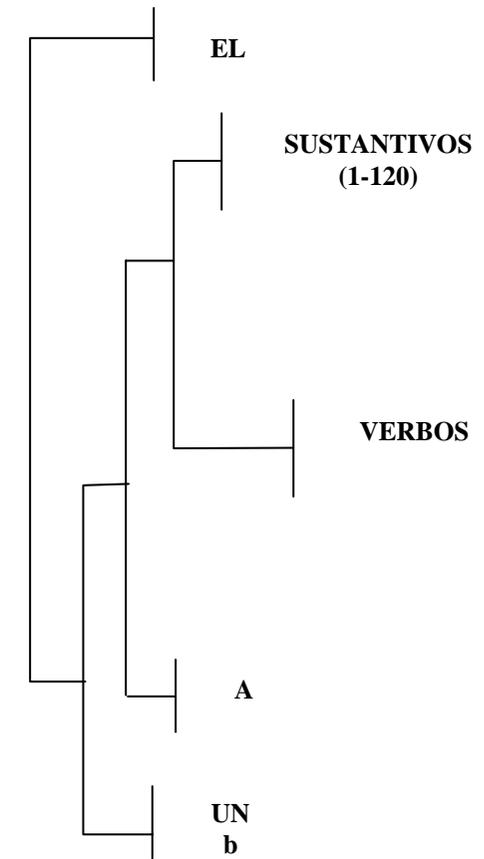


Fig. 7b.

Figura 7. Estimaciones generales de aprendizaje del modelo. (7a) Curva de aprendizaje entre el número de ensayos a los que se confrontó el modelo y las magnitudes de las diferencias entre los valores predichos y los tutoriales; (7b) Análisis de grupo de los estímulos que conforman las oraciones; la distancia con respecto al punto de origen indica la magnitud de error o diferencias entre las predicciones por parte del modelo.

Por su parte, los *Artículos* y la *Preposición* tuvieron un menor monto de error en su agrupación aunque no fueron aglomerados en la categoría a la que pertenecen (con excepción de la *Preposición* que fue establecida como un grupo independiente).

En la figura 8a se muestra la curva de aprendizaje del modelo lesionado mediante la remoción de nodos. En esta figura puede apreciarse que el daño ocasionado al modelo generó una discrepancia inicial entre las predicciones y los tutoriales distinta a la exhibida por el modelo sin lesión. En la condición sin lesión, el monto inicial de discrepancias en las predicciones del modelo es mayor (cuatro) que el obtenido que el obtenido en el modelo lesionado (aproximadamente, 3.5); este resultado puede sugerir que pese al daño ocasionado al modelo se preserva una cierta cantidad de aprendizaje lo que permite predicciones menos erráticas.

Es importante considerar que el nivel mínimo de discrepancia fue obtenido en torno a los 500 ensayos, y que a partir de este punto se presentaron muchas variaciones a lo largo de los ensayos en los que el modelo se confrontó con el corpus de datos. De este resultado puede suponerse que la mayor precisión logrado por el modelo, en las predicciones de los papeles temáticos, requirió de casi dos ensayos por cada oración estímulo.

La figura 8b muestra que el modelo lesionado agrupó de manera adecuada los estímulos - palabras para las categorías de *Sustantivos* y *Verbos*, los estímulos restantes mostraron magnitudes de error semejantes entre sí y no fueron bien agrupados. Finalmente, la *Preposición* fue establecida como un grupo independiente.

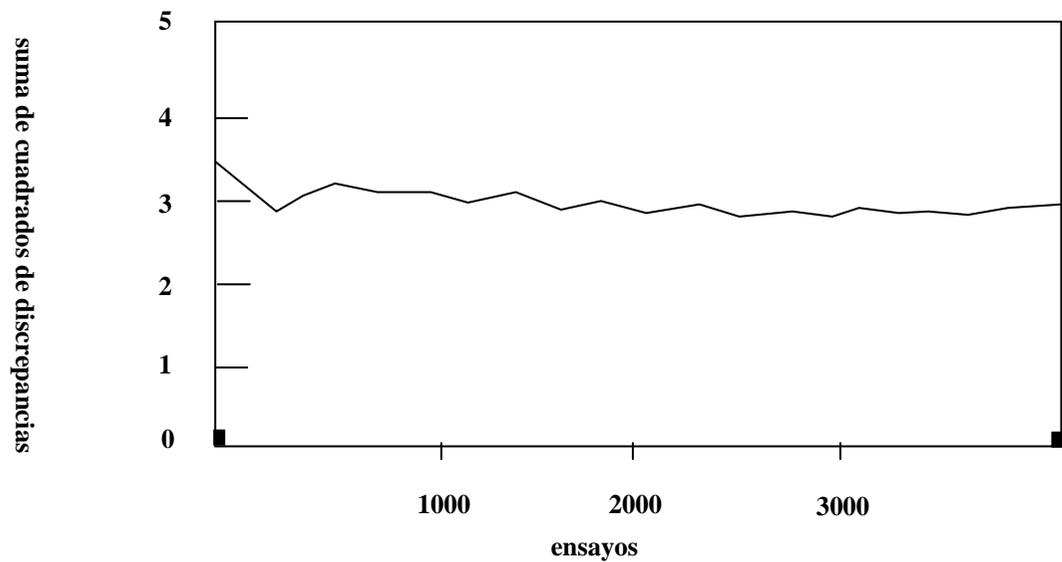


Fig. 8a.

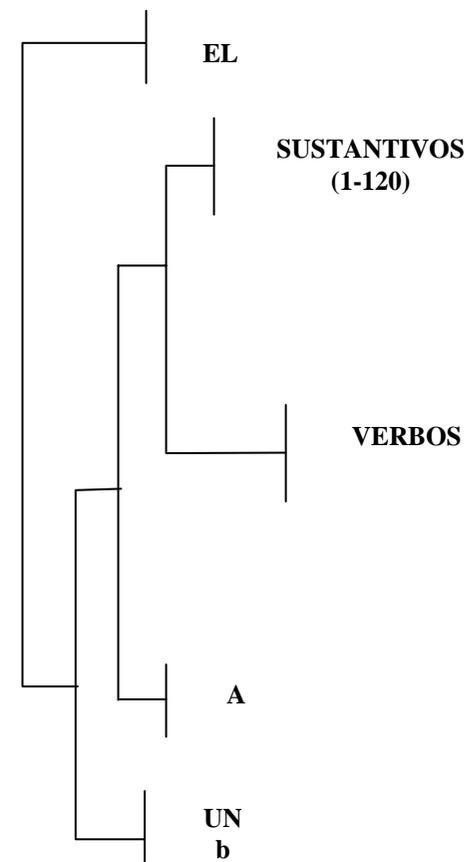


Fig. 8b.

Figura 8. Estimaciones generales del modelo lesionado mediante la remoción de nodos. (8a) Curva de aprendizaje entre el número de ensayos a los que se confrontó el modelo y las magnitudes de las diferencias entre los valores predichos y los tutoriales; (8b) Análisis de grupo de los estímulos que conforman las oraciones; la distancia con respecto al punto de origen indica la magnitud de error o diferencias entre las predicciones por parte del modelo.

El modelo sufrió daño cuando fueron limitadas sus conexiones, mostró una disminución del error en sus predicciones semejantes a las condiciones previas, donde el punto más bajo de error que logró fue de magnitud casi 3, el cual se obtuvo antes de los primeros 500 ensayos. Asimismo, el punto de mayor discrepancia, al inicio de todos los ensayos fue del mismo monto al del modelo lesionado, con una magnitud próxima a 3.5, indicando la preservación de una parte de aprendizaje.

Sin embargo, a diferencia del comportamiento de las condiciones anteriores, el modelo lesionado en conexiones mostró una curva de aprendizaje más variable a lo largo de los ensayos, exhibiendo distintos y frecuentes cambios en sus predicciones (ver Fig. 9a).

En el análisis de grupos, en la situación de daño mediante restricción de las conexiones, se obtuvieron resultados semejantes en los casos previos donde el agrupamiento de *Sustantivos* y *Verbos* generaron mayor error, y el resto de los estímulos obtuvieron magnitudes semejantes en el mismo (ver Fig. 9b).

Puesto que el modelo en todas las condiciones clasificaron los diversos estímulos de manera análoga, las diferencias que pudieran encontrarse en el desempeño de los mismos pueden ser atribuibles al empleo de las regularidades en las oraciones-estímulos.

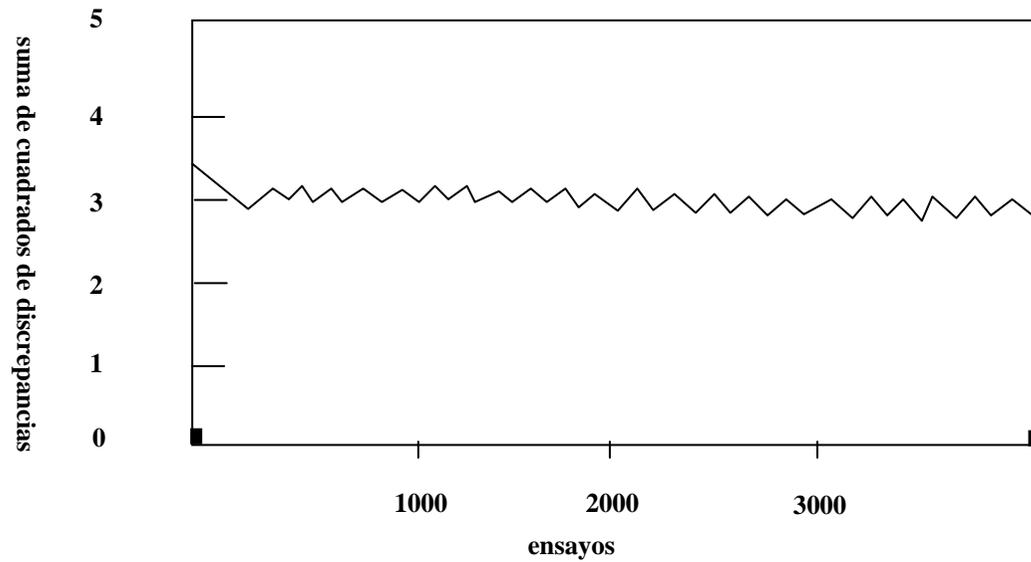


Fig. 9a.

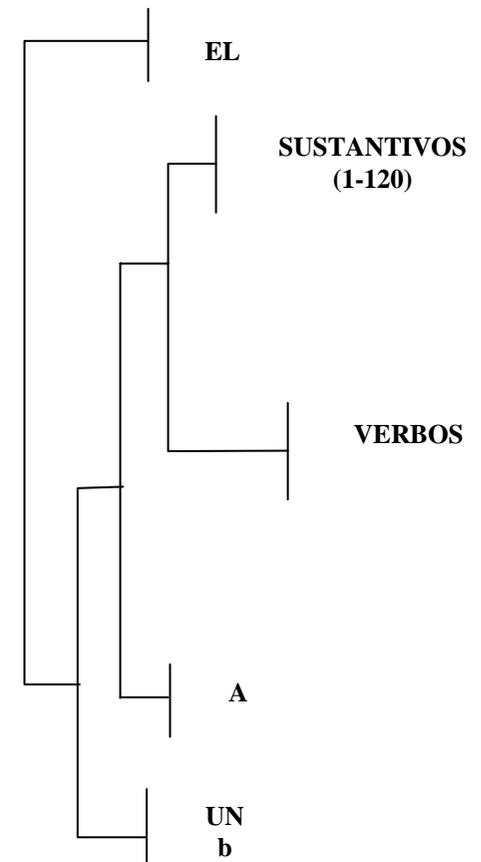


Fig. 9b.

Figura 9. Estimaciones generales del modelo lesionado mediante la restricción de conexiones. (9a) Curva de aprendizaje entre el número de ensayos a los que se confrontó el modelo y las magnitudes de las diferencias entre los valores predichos y los tutoriales; (9b) Análisis de grupo de los estímulos que conforman las oraciones; la distancia con respecto al punto de origen indica la magnitud de error o diferencias entre las predicciones por parte del modelo.

Constituyentes

En este apartado se evalúa el porcentaje de empleo de los constituyentes de las oraciones *Sujetos* (S), *Verbo* (V) y *Objeto* (O), a lo largo de las distintas condiciones del modelo y de los órdenes de las oraciones. Las estimaciones de dicho uso (el cual es calculado por la frecuencia de activación de los nodos de representación interna que procesaron el estímulo), indican la importancia que para el modelo tuvo cada uno de los constituyentes en la identificación de los diferentes papeles temáticos.

El empleo de los constituyentes de la oración, en cada uno de los seis distintos órdenes de las oraciones, muestran diferencias significativas para la condición del modelo normal para el *Sujeto* ($F_{(5, 306)} = 6.65$ $p < .001$), el *Objeto* ($F_{(5, 306)} = 3.12$ $p < .01$) y el *Verbo* de las oraciones ($F_{(5, 306)} = 6.89$ $p < .001$). De la misma forma, se puede apreciar que todos los constituyentes fueron empleados consistentemente a lo largo de los seis distintos órdenes, siendo utilizados en la gran mayoría de las ocasiones cuando el modelo se confrontó a una oración (ver Fig. 10).

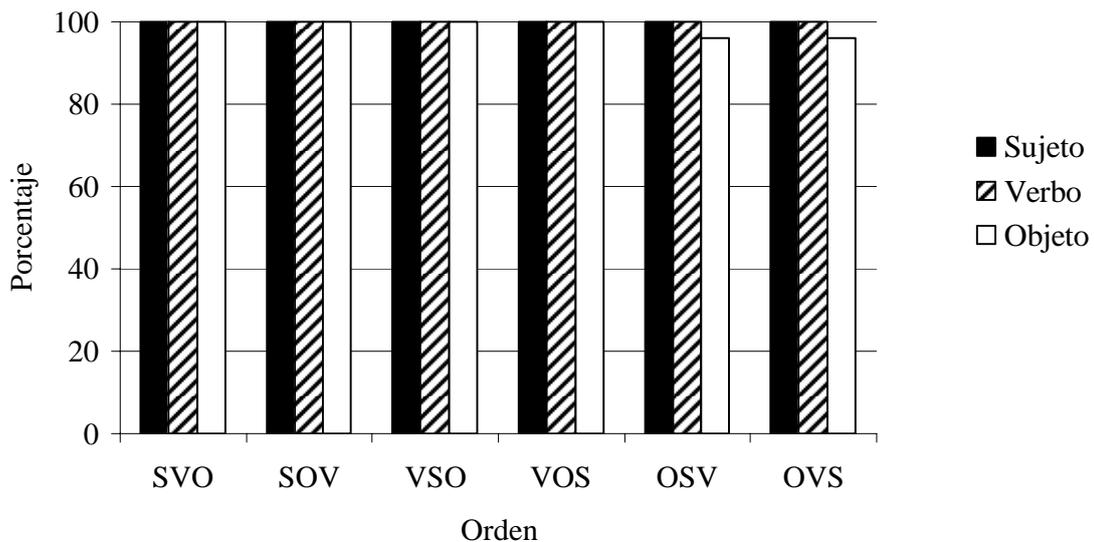


Figura 10. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes del modelo sin lesión.

Por su parte, el modelo lesionado mediante la remoción de nodos disminuyó notablemente el empleo de los constituyentes, y aunque los utilizo a lo largo de los seis distintos órdenes no existieron diferencias significativas en el empleo del *Sujeto* ($F_{(5, 313)} = 0.65$ $p > .05$) y del *Objeto* ($F_{(5, 313)} = 1.09$ $p > .05$), aunque sí las hubo en el *Verbo* ($F_{(5, 313)} = 2.832$ $p < .05$) - ver Fig. 11.

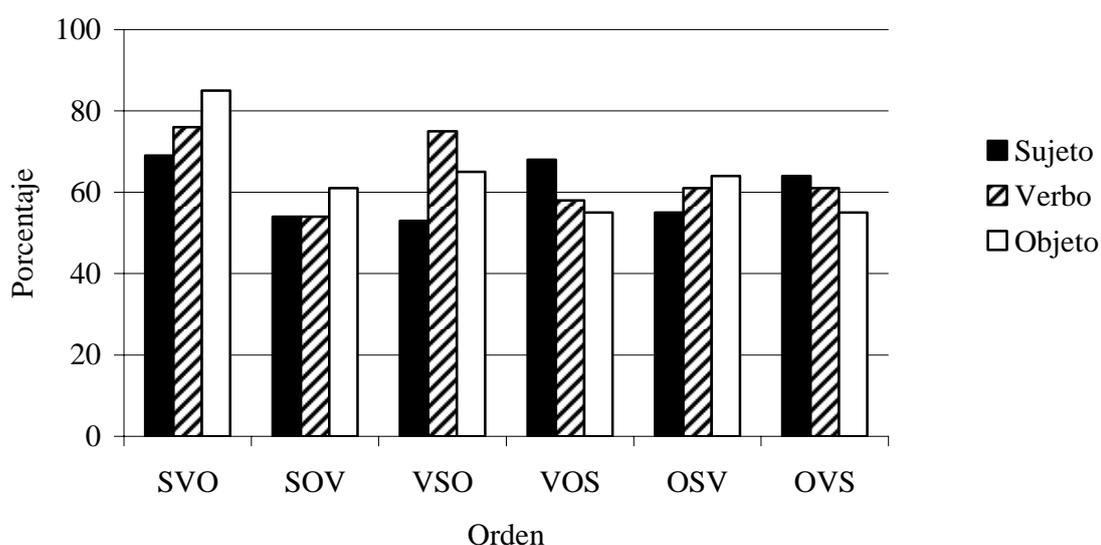


Figura 11. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes del modelo lesionado mediante la remoción de nodos.

En la condición del modelo con restricción en conexiones también hubo una disminución en el empleo de constituyentes, aunque pudieron identificarse algunos patrones como el mayor empleo del *Objeto* cuando era antecedido por el *Sujeto*; y de este último cuando la disposición de las oraciones lo ubicaba después del *Objeto*.

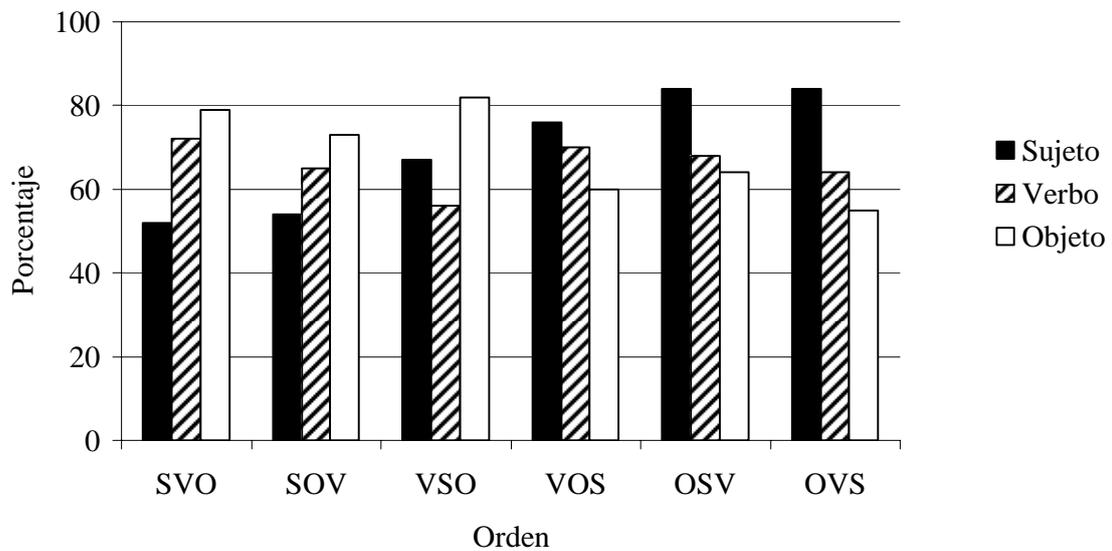


Figura 12. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes del modelo lesionado mediante la restricción de las conexiones.

No obstante, a diferencia de la condición anterior, en la presente no hubo diferencias en alguno de los constituyentes como es el caso del empleo del *Sujeto* ($F_{(5, 307)} = 1.94$ $p > .05$), del *Verbo* ($F_{(5, 307)} = 0.27$ $p > .05$) ni del *Objeto* ($F_{(5, 307)} = 1.22$ $p > .05$) - ver Fig. 12.

Preposición

En esta sección se considera el valor que la preposición *a* tuvo para la identificación de los papeles temáticos. Como se ha indicado a lo largo de los diversos estudios citados, la preposición *a* tiene un papel preponderante en la tarea que se simuló en el presente trabajo, por ello, el empleo que de la misma realizó el modelo debe ser consistente a lo largo de las diferentes condiciones y órdenes de las oraciones.

Concerniente al empleo de la preposición *a* en los distintos ordenes de los constituyentes, pudo observarse que fue utilizada constantemente en casi todos los ensayos y en los distintos órdenes con excepción del arreglo VOS (*Verbo a un S2 un*

SI), donde no fue empleada, resultando en una diferencia estadísticamente significativa

($F_{(5, 354)} = 28.64$ $p < .001$) - ver Fig. 13.

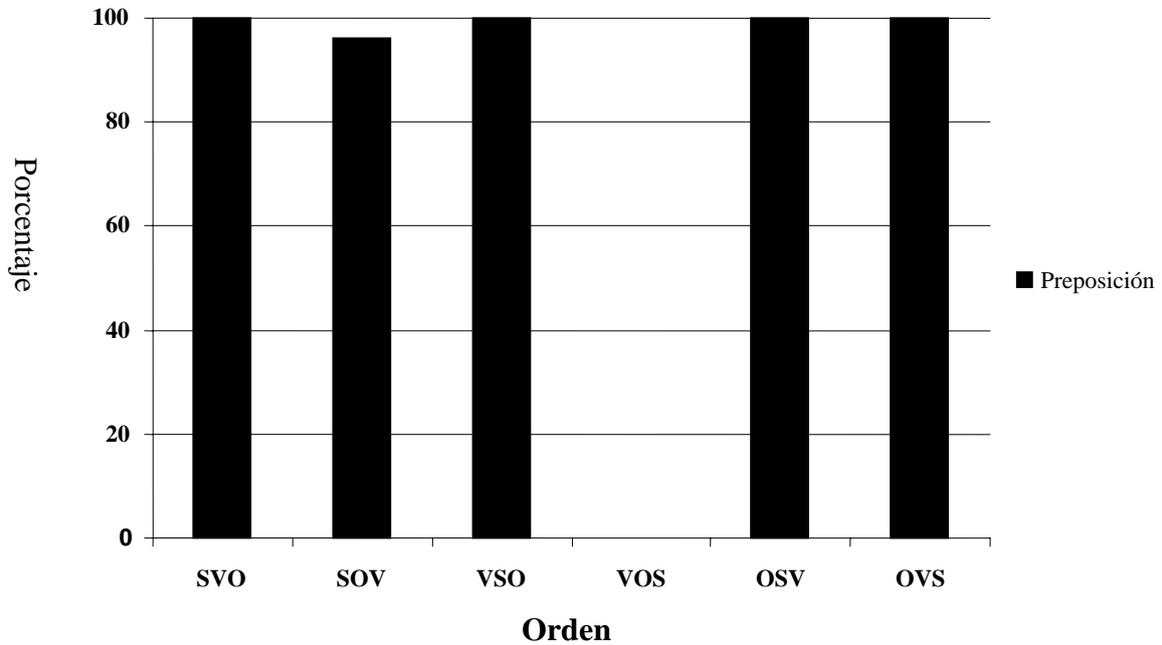


Figura 13. Porcentaje de empleo de la preposición *a* en los seis distintos órdenes de los constituyentes en la situación del modelo sin lesión.

La figura 14 muestra el porcentaje de empleo de la preposición en los seis distintos órdenes en las situaciones de lesión, en las cuales existieron diferencias significativas en el uso de la preposición asociadas al tipo de daño: en la situación de lesión por *Nodos* el empleo de aquella fue constante a lo largo de todos los distintos órdenes, aunque con variaciones en el porcentaje de uso ($F_{(5, 313)} = 410.49$ $p < .001$). Por su parte, en *Conexiones* dicho elemento de la oración no se empleó en todos los órdenes, y aunque hubo diferencias significativas en su empleo ($F_{(5, 307)} = 6.1$ $p < .001$), no se observaron patrones de uso identificables.

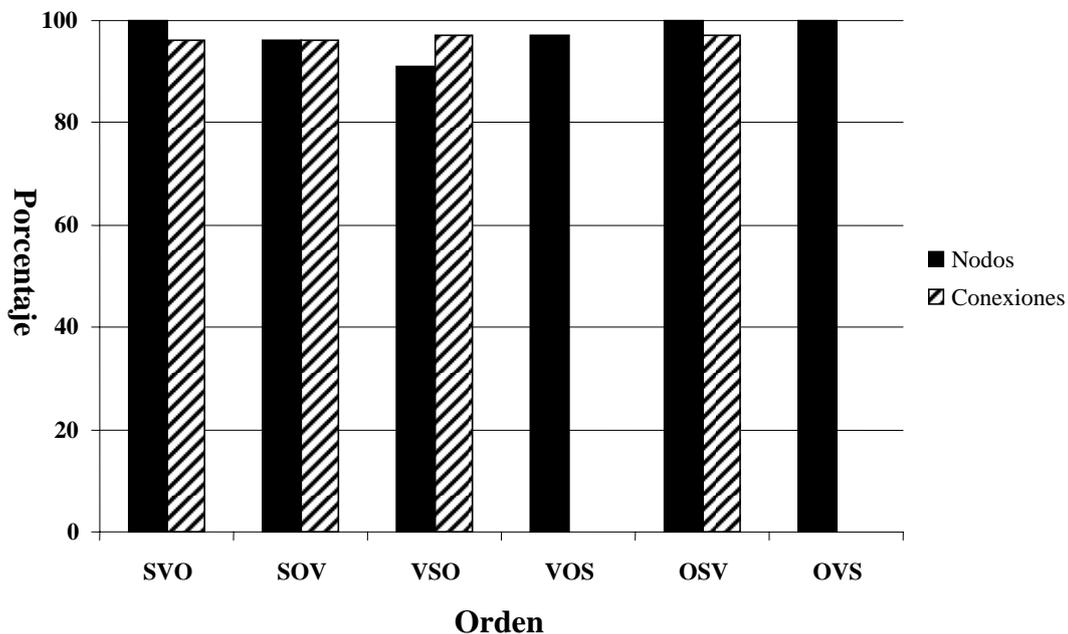


Figura 14. Porcentaje de empleo de la preposición *a* por el modelo lesionado en las dos condiciones (*Nodos* y *Conexiones*) en los seis distintos órdenes

Artículos

Este apartado aborda el uso de los *Artículos* con igual o diferente nivel de determinación, contenidos en las diferentes oraciones. De manera similar a las secciones anteriores, la activación de los diferentes nodos que procesan este tipo de estímulos indica el valor que tuvieron para el modelo en la identificación de los papeles temáticos.

En el empleo de *Artículos* con un mismo nivel de determinación no existieron patrones identificables de los mismos que fueran asociados al orden de los constituyentes. Sin embargo, hubo diferencias significativas en los distintos órdenes cuando el artículo precedía al *Sujeto* ($F_{(5, 146)} = 89.02$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(5, 306)} = 28.04$ $p < .001$) - véase Fig. 15.

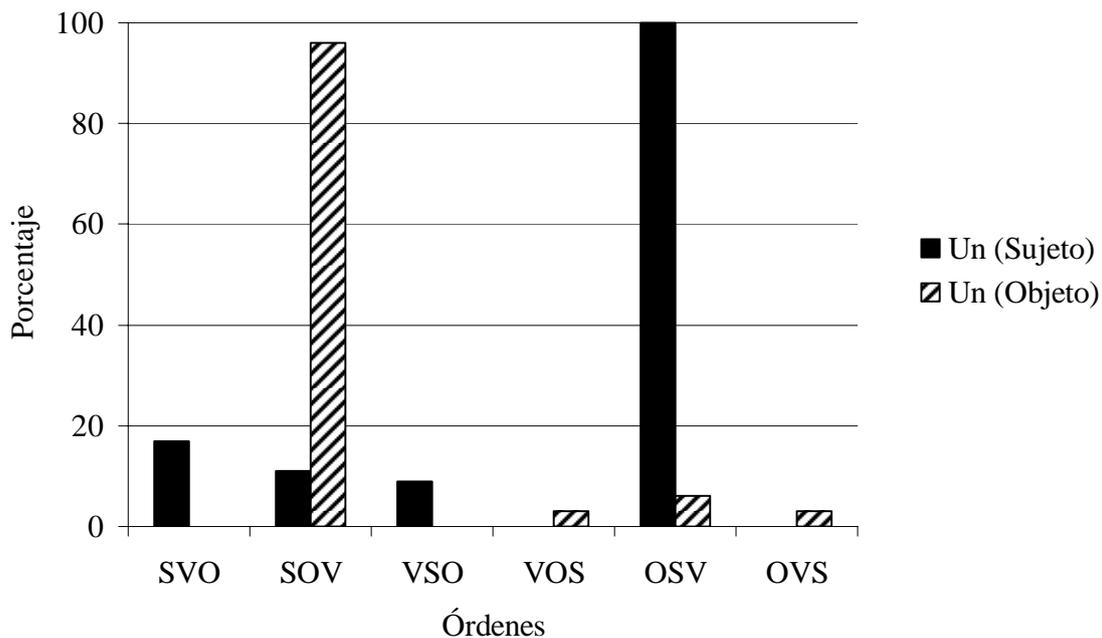


Figura 15. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*) con un mismo nivel de determinación en los seis distintos órdenes de los constituyentes.

Sobre el empleo de los artículos con diferente nivel de determinación, la figura 16 muestra las diferencias significativas en el porcentaje de uso para cada *Artículo* (*El* y *Un*) antecediendo al *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 1815.9$ $p < .001$ y $t_{(158)} = 10.34$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(Levene)} = 1.59$ $p > .05$ y $t_{(154)} = -3.47$ $p < .01$). Se observa que los porcentajes más altos de empleo ocurrieron cuando el artículo determinado antecedió al *Sujeto*, así como cuando el indeterminado antecedió al *Objeto*. Por otra parte, los porcentajes más bajos fueron presentados cuando el artículo *El* antecedió al *Objeto* y *Un* antecedió al *Sujeto*.

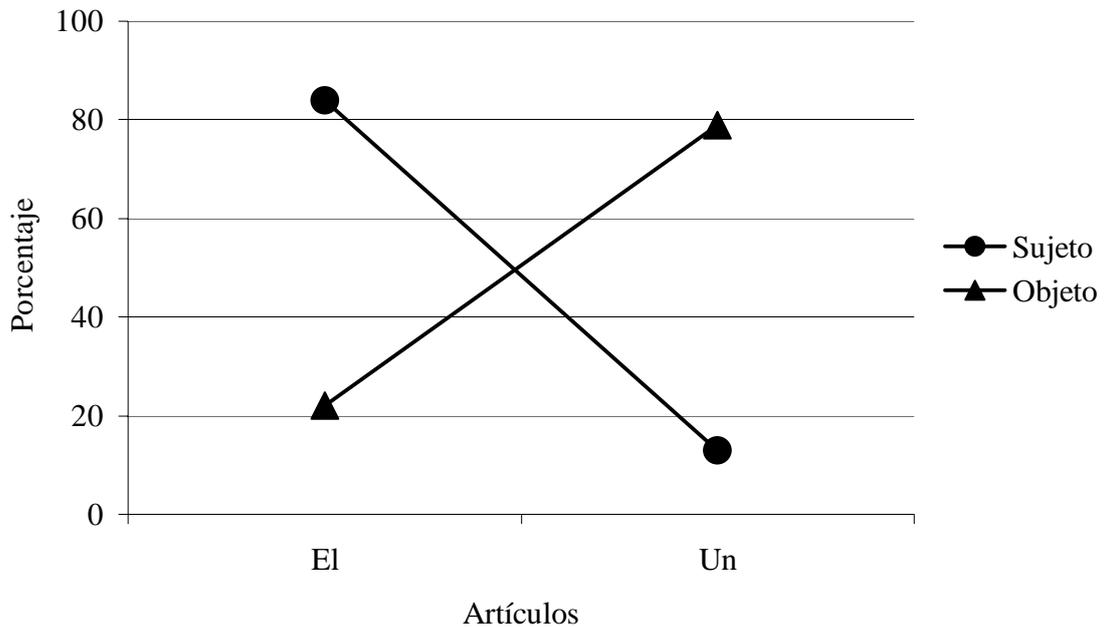


Figura 16. Porcentaje de empleo total de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*) con diferente nivel de determinación, para todas las oraciones en el modelo sin lesión.

El empleo de los artículos con un mismo nivel de determinación también mostró diferencias asociadas al tipo de lesión. En la condición *Nodos*, aunque los artículos mostraron una baja frecuencia de uso ocurrieron diferencias significativas vinculadas al orden cuando el artículo antecedió al *Sujeto* ($F_{(5, 318)} = 9.01$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(5, 318)} = 10.8$ $p < .001$) - ver Fig. 17. Por otro lado, ambos artículos fueron empleados con mayor frecuencia en *Conexiones*, en varios órdenes, obteniéndose diferencias significativas en el artículo del *Sujeto* ($F_{(5, 307)} = 31.49$ $p < .001$) y en el del *Objeto* ($F_{(5, 307)} = 135.33$ $p < .001$) - ver Fig. 18.

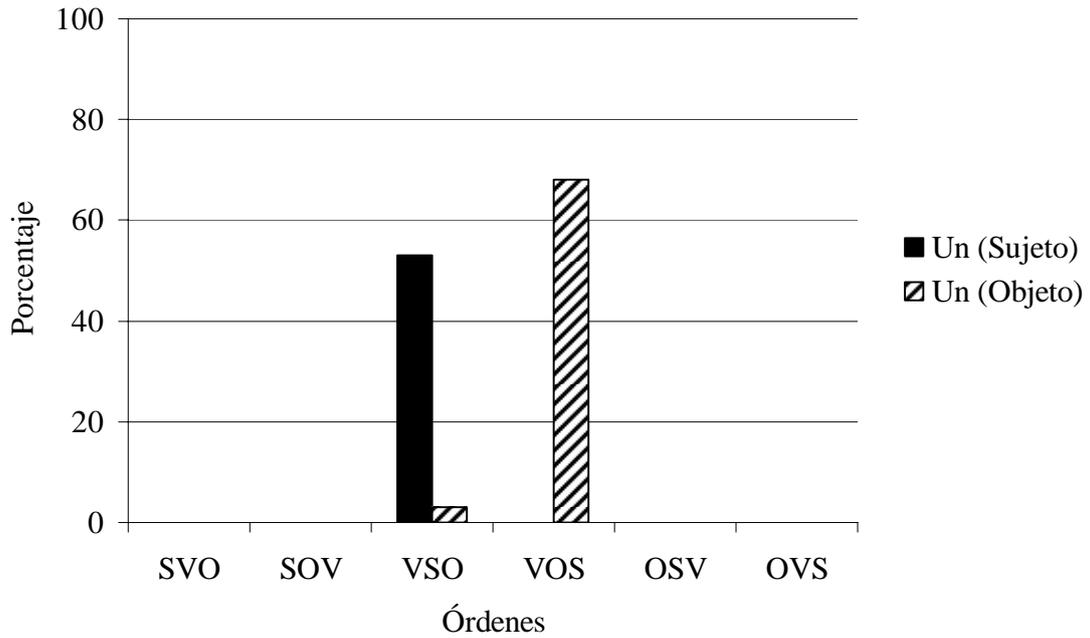


Figura 17. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con un mismo nivel de determinación, en el modelo lesionado mediante la remoción de nodos en los seis distintos órdenes de los constituyentes.

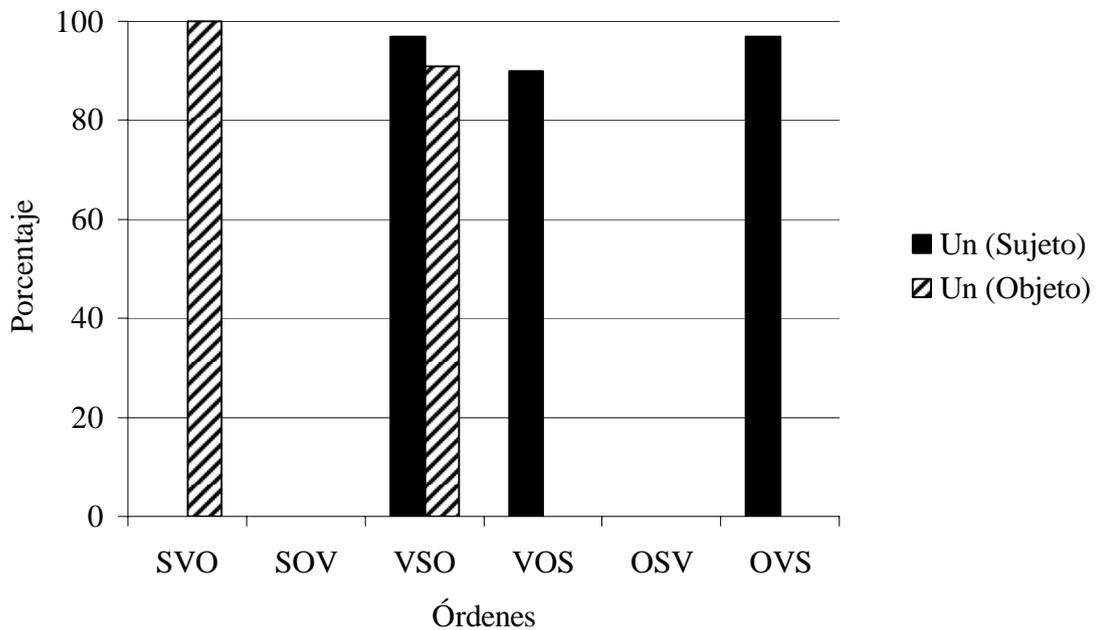


Figura 18. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con un mismo nivel de determinación, en el modelo lesionado mediante la restricción de conexiones en los seis distintos órdenes de los constituyentes.

En las condiciones de lesión, también existieron diferencias significativas en el uso de los *Artículos* con distinto nivel de determinación. Dichas diferencias fueron obtenidas para los artículos cuando precedían al *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 11.73$ $p < .01$ y $t_{(160)} = 28.66$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(Levene)} = 13.64$ $p < .001$ y $t_{(160)} = -26.20$ $p < .001$) en la condición *Nodos*: el modelo empleó con mayor frecuencia el artículo determinado cuando éste antecedió tanto al *Sujeto* como al *Objeto* (ver Fig. 19). Esto significa que el modelo mostró preferencias en el uso del artículo determinado sin importar el constituyente que antecedió.

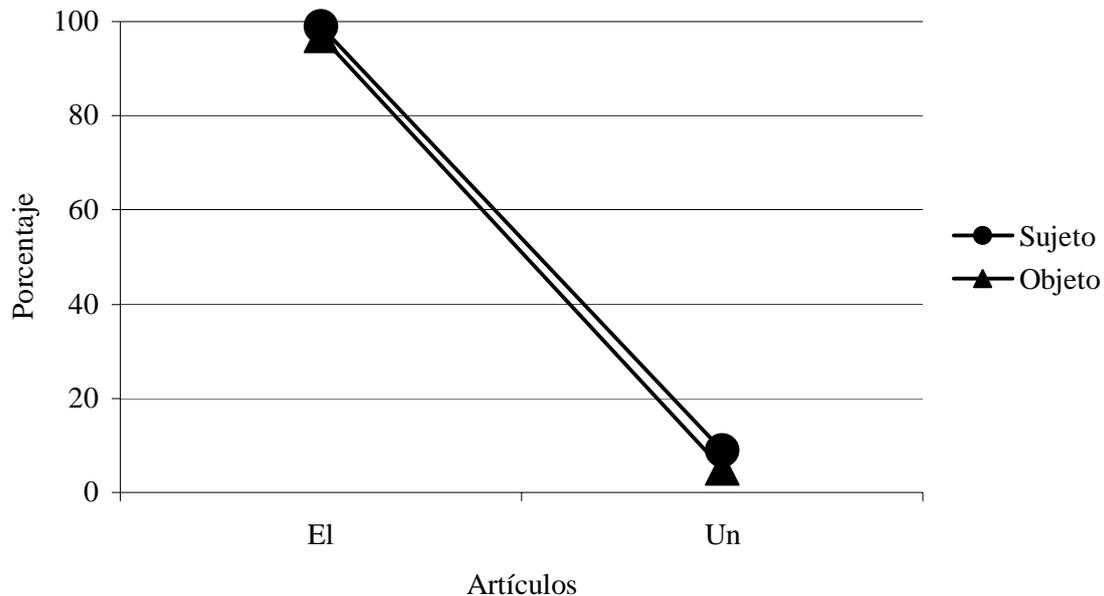


Figura 19. Porcentaje de empleo total de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*) con diferentes niveles de determinación en el modelo lesionado por retiro de nodos.

La figura 20 muestra el porcentaje de uso que el modelo lesionado en conexiones hizo de los artículos con distintos niveles de determinación. Puede apreciarse que, nuevamente y de manera significativa, se emplearon más los artículos determinados que los indeterminados tanto para el *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 11.79$ $p < .001$ y $t_{(164)} = 12.36$ $p < .001$) como para el *Objeto* ($F_{(Levene)} = 4.91$ $p < .05$ y $t_{(164)} = -3.81$ $p < .001$).

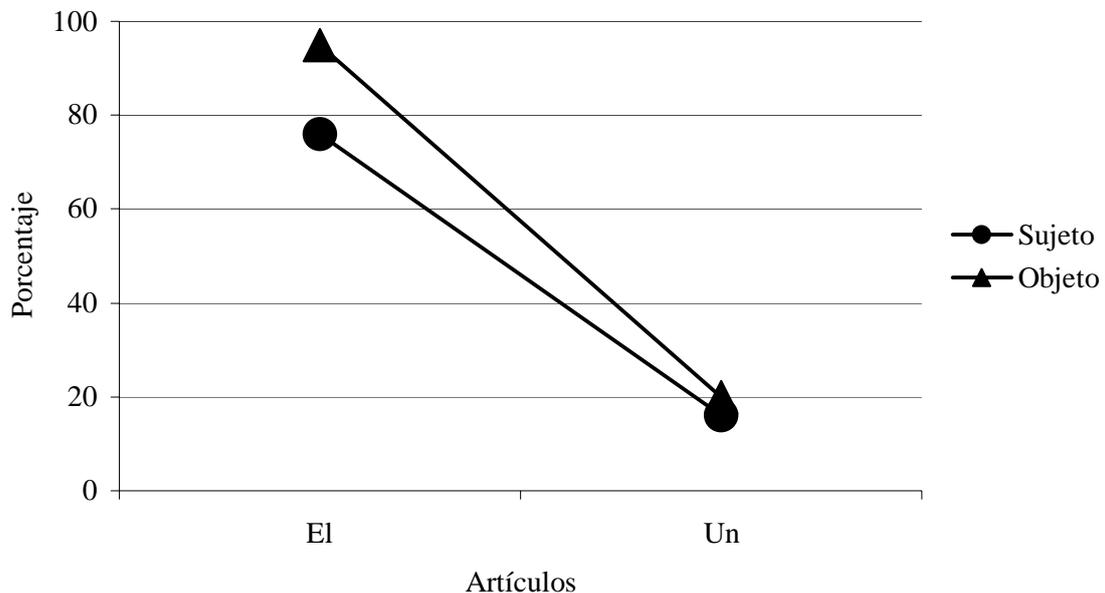


Figura 20. Porcentaje de empleo total de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*) con diferentes niveles de determinación en el modelo lesionado por restricción de conexiones.

Interacción de Constituyentes y Artículos

Hasta el momento se han observado los efectos aislados de los distintos factores considerados en el estudio; no obstante, dichos factores interactuaron a lo largo de la exposición del modelo a las oraciones-estímulo. A continuación se presentan los distintos análisis para dicha interacción.

En la figura 21 puede apreciarse cómo la interacción entre los factores *Orden* de constituyentes y *Nivel de Determinación* influyó sobre el uso de la preposición *a* en el desempeño del modelo sin lesión. Obsérvese que en las oraciones con diferentes niveles de determinación para el *Sujeto/Objeto* de las mismas (El/Un, Un/Un y Un/El), hubo diferencias estadísticamente significativas en el empleo de la *Preposición* ($F_{(10, 294)} = 45.61$ $p < .001$), las cuales son atribuibles al orden de los constituyentes: la *Preposición* fue recurrentemente empleada en todos los diferentes órdenes de las oraciones (SVO, SOV, VSO, OSV y OVS), con excepción del arreglo VOS donde no se empleó.

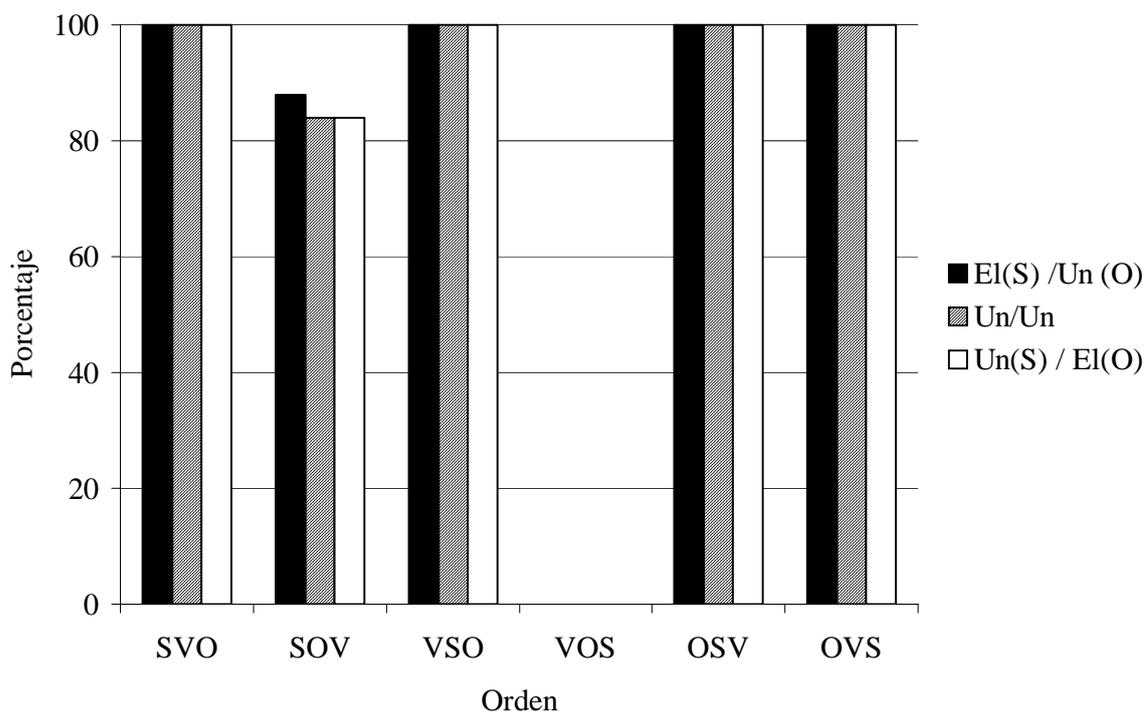


Figura 21. Porcentaje de empleo de la *Preposición*, debido a la interacción de los factores *Orden* y *Nivel de determinación* en el modelo sin lesión.

Cuando se lesionó el modelo mediante la remoción de nodos y la restricción de conexiones, se evaluó el desempeño de su comportamiento y se realizaron los mismos análisis que en el modelo normal.

Se obtuvieron diferencias significativas en el empleo de la *Preposición*, en la interacción del *Nivel de Determinación* con el *Orden* de los constituyentes en la condición *Nodos* ($F_{(10, 301)} = 3.57$ $p < .001$). Es importante mencionar que a lo largo de los seis distintos órdenes y en casi todas las distintas situaciones de determinación el modelo empleó la preposición, con excepción del orden VOS, debido a que cuando el artículo que precedía al *Sujeto* era indeterminado (Un) no se observó empleo de aquella (ver Fig. 22), lo que muestra una preferencia de uso de los artículos determinados en la solución de la tarea.

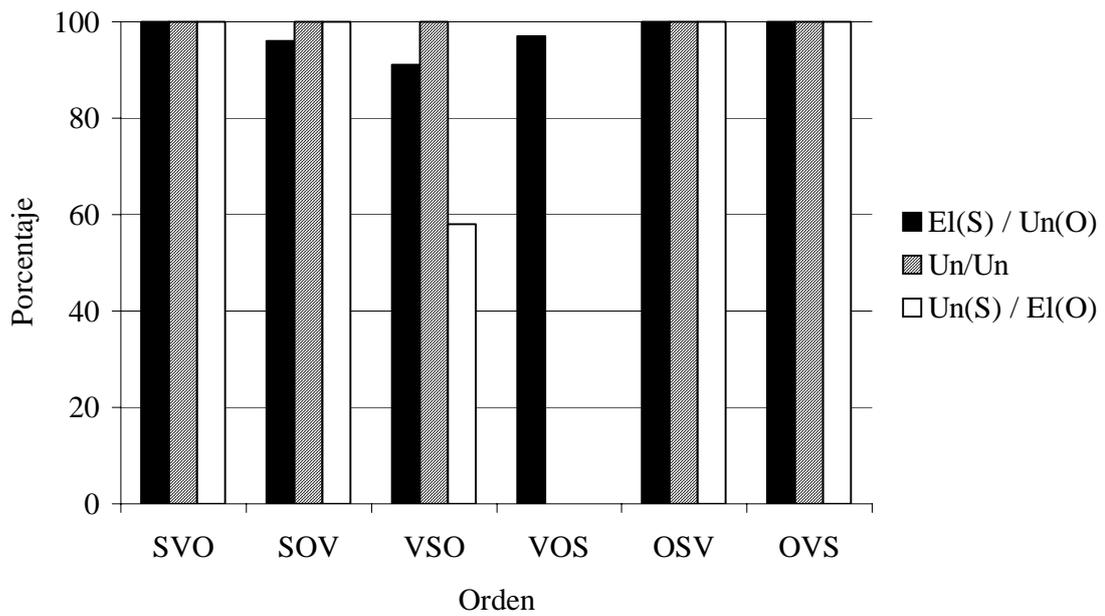


Figura 22. Porcentaje de empleo de la *Preposición* debida a la interacción del orden de constituyentes y las diferencias en el nivel de determinación (para *Sujeto* y *Objeto*); lesión mediante remoción de nodos.

Por otro lado, en lo referente al daño por *Conexiones*, la preposición no fue utilizada en todos los distintos órdenes ni en los distintos niveles de determinación: su empleo ocurrió esencialmente cuando el artículo en forma determinada precedía al *Sujeto* de la oración, pero no en alguna de las otras condiciones del nivel de determinación ($F_{(10, 295)} = 78.23$ $p < .001$) - ver Fig. 23.

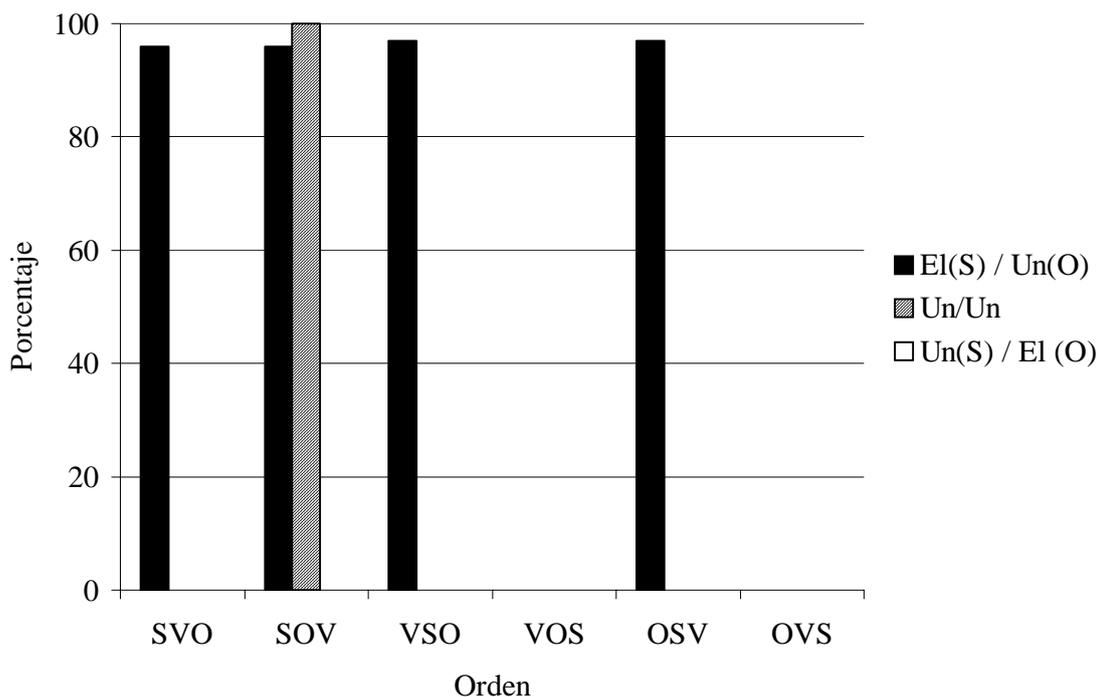


Figura 23. Porcentaje de empleo de la *Preposición*, debido a la interacción del orden de constituyentes y las diferencias en el nivel de determinación (para *Sujeto* y *Objeto*); lesión mediante restricción de conexiones.

Fase de Evaluación

En esta última fase se evaluó la generalización del aprendizaje logrado por el modelo en la fase previa, en ella los modelos se confrontaron a un corpus análogo al de las fases de entrenamiento y lesión. El objetivo de esta fase fue estimar si el conocimiento adquirido en la fase anterior es empleado por el modelo en la identificación de los papeles temáticos en el nuevo corpus de oraciones. Bajo la premisa de que los elementos de la oración que fueron relevantes para la solución de la tarea en las fases anteriores, se realizaron los mismos análisis del empleo de dichos elementos oracionales.

De esta forma, mediante el análisis de varianza (ONEWAY), se observaron diferencias significativas en el empleo de los elementos de la oración, las cuales estaban asociadas a las condiciones del modelo (normal, lesión vía nodos y lesión vía conexiones); dichas diferencias fueron estadísticamente significativas para el *Verbo* ($F_{2,}$

$_{941} = 3.36 p < .05$), la *Preposición* ($F_{(2, 941)} = 134.67 p < .001$), y los artículos que preceden al *Sujeto* ($F_{(2, 941)} = 45.23 p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(2, 941)} = 55.21 p < .001$).

Asimismo, el análisis de las diferencias en el empleo de los elementos oracionales, asociadas al *Orden* de los constituyentes, permitió observar diferencias significativas en los diversos elementos, con excepción del *Sujeto*; de esta forma *Verbo* ($F_{(5, 938)} = 2.38 p < .05$), *Objeto* ($F_{(5, 938)} = 2.69 p < .05$), *Preposición* ($F_{(5, 938)} = 22.49 p < .001$), y los artículos que antecedían al *Sujeto* ($F_{(5, 938)} = 41.05 p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(5, 938)} = 37.97 p < .001$). Por su parte, en el *Nivel de Determinación* solamente en el uso del artículo antecesor del *Sujeto* se obtuvieron diferencias significativas ($F_{(2, 941)} = 8.14 p < .001$).

Finalmente, en la interacción de los tres factores arriba enunciados (*Condición* del modelo, *Orden* y *Nivel de Determinación*) se obtuvieron diferencias significativas en el empleo de la *Preposición* ($F_{(13, 930)} = 4.65 p < .001$) y en ambos artículos que precedían al *Sujeto* ($F_{(13, 930)} = 12.73 p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(13, 930)} = 7.34 p < .001$).

Posterior a las lesiones, cada modelo fue confrontado con un nuevo corpus de datos con las mismas características poseídas por el del entrenamiento.

En esta nueva confrontación se estimó la generalización de los conocimientos previamente adquiridos por el modelo, para ello se emplearon los mismos parámetros de entrenamiento como el número de ensayos, los límites en los cambios de la fuerza de conexiones y de la activación de nodos. Se analizó el desempeño del modelo en cada condición en esta fase como en la anterior. A continuación se presentan los resultados.

La figura 24 muestra la estimación global del desempeño del modelo sin lesión ante el nuevo corpus de oraciones. El monto de las discrepancias en las predicciones generales mostró similitudes al obtenido en la fase de aprendizaje, donde el conjunto inicial de las mismas fue de cuatro y donde su valor mínimo fue obtenido en el ensayo 500. Sin embargo, a diferencia de la fase anterior, esta disminución sólo llegó a los tres

puntos, mostrando una mayor persistencia de error en los pronósticos del modelo (ver fig. 24a).

Por su parte, en la clasificación de los estímulos que conforman las oraciones se obtuvieron los mismos resultados que en todas las condiciones del modelo durante la fase de entrenamiento y lesión. Es decir, el modelo agrupó apropiadamente todos los estímulos *Sustantivos* y *Verbos*, aunque fueron ubicados a la mayor distancia del punto de origen. Finalmente, tanto la *Preposición* como los *Artículos* mostraron una magnitud de error muy semejante, aunque estos últimos no fueron ubicados en un mismo grupo.

Cabe señalar que las estimaciones generales para el modelo en las condiciones de lesión, mostraron los mismos resultados que en la etapa anterior, por lo que los resultados no son mostrados.

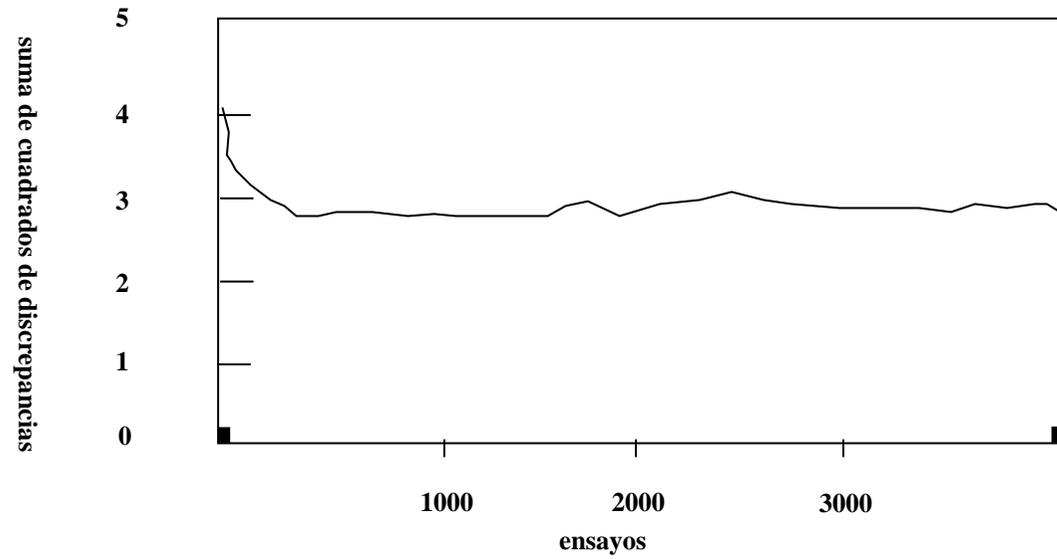


Fig. 24a.

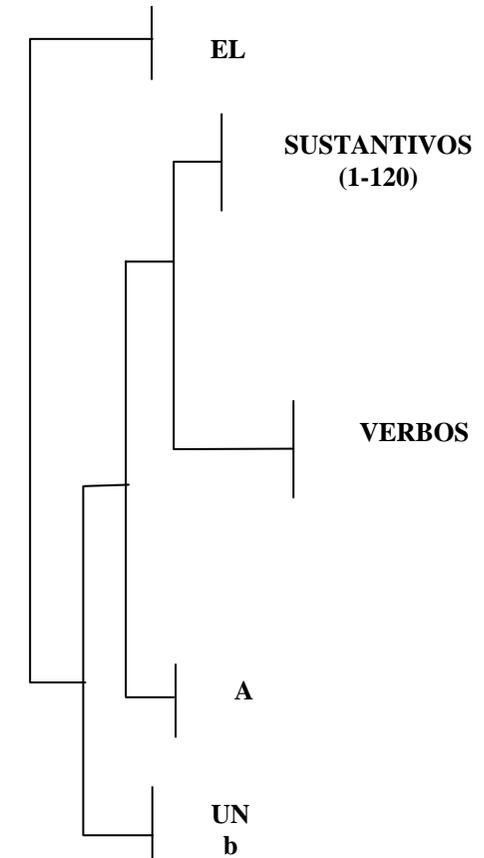


Fig. 24b.

Figura 24. Estimaciones generales de evaluación del modelo. (24a) Curva de aprendizaje entre el número de ensayos a los que se confrontó el modelo y las magnitudes de las diferencias entre los valores predichos y los tutoriales; (24b) Análisis de grupo de los estímulos que conforman las oraciones; la distancia con respecto al punto de origen indica la magnitud de error o diferencias entre las predicciones por parte del modelo.

Constituyentes

En el empleo de los constituyentes no se obtuvieron diferencias significativas asociadas al orden en el modelo sin lesión: *Sujeto* ($F_{(5, 306)} = 0.57$ $p > .05$), *Verbo* ($F_{(5, 306)} = 1.21$ $p > .05$) y *Objeto* ($F_{(5, 306)} = 1.01$ $p > .05$). Los constituyentes fueron empleados de manera consistente y en la misma magnitud a lo largo de los seis distintos órdenes (ver Fig. 25).

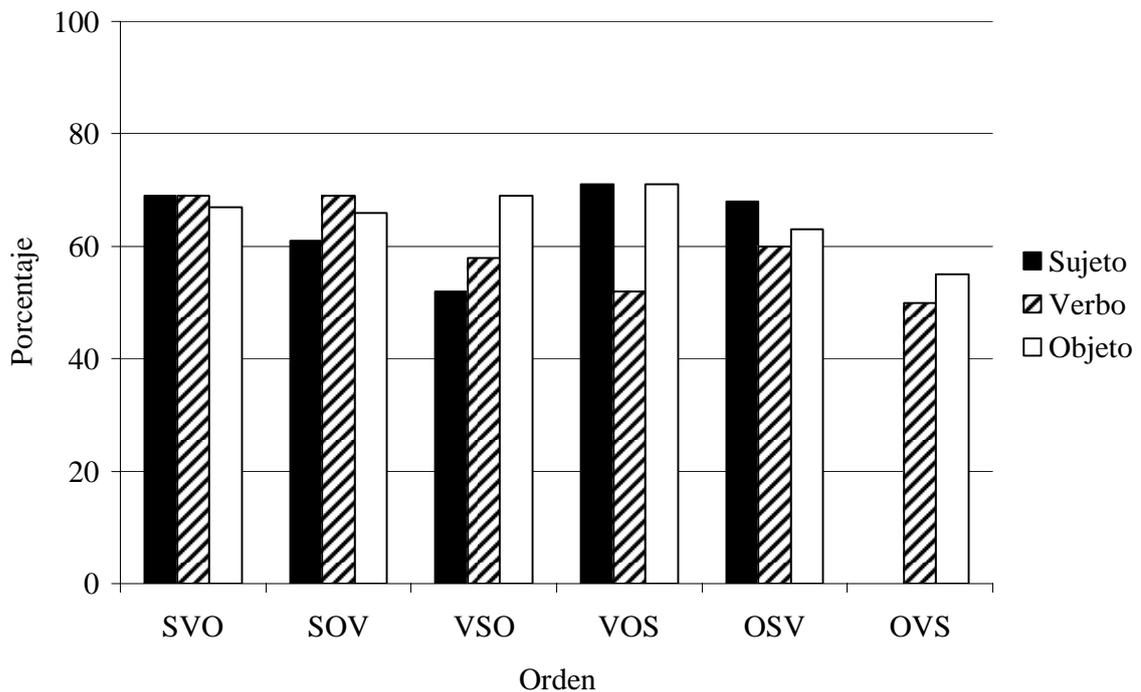


Figura 25. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes del modelo sin lesión en la fase de evaluación.

Al igual que en la condición del modelo sin lesión, se evaluó la generalización de de estrategias en las dos condiciones con lesión. En primer lugar, se presentan los datos de la generalización del modelo lesionado mediante la remoción de *Nodos* y, después, los correspondientes a la condición *Conexiones*.

En la condición *Nodos* los constituyentes se emplearon de manera constante a lo largo de los seis distintos órdenes, aunque no en todos los ensayos. Pese a la gran variabilidad mostrada en el uso de los constituyentes, no se presentaron diferencias

significativas vinculadas al *Orden* para *Sujeto*, *Verbo* y *Objeto* ($F_{(5, 313)} = 1.38$ $p > .05$; $F_{(5, 313)} = 0.367$ $p > .05$ y $F_{(5, 313)} = 0.466$ $p > .05$, respectivamente) - ver Fig. 26.

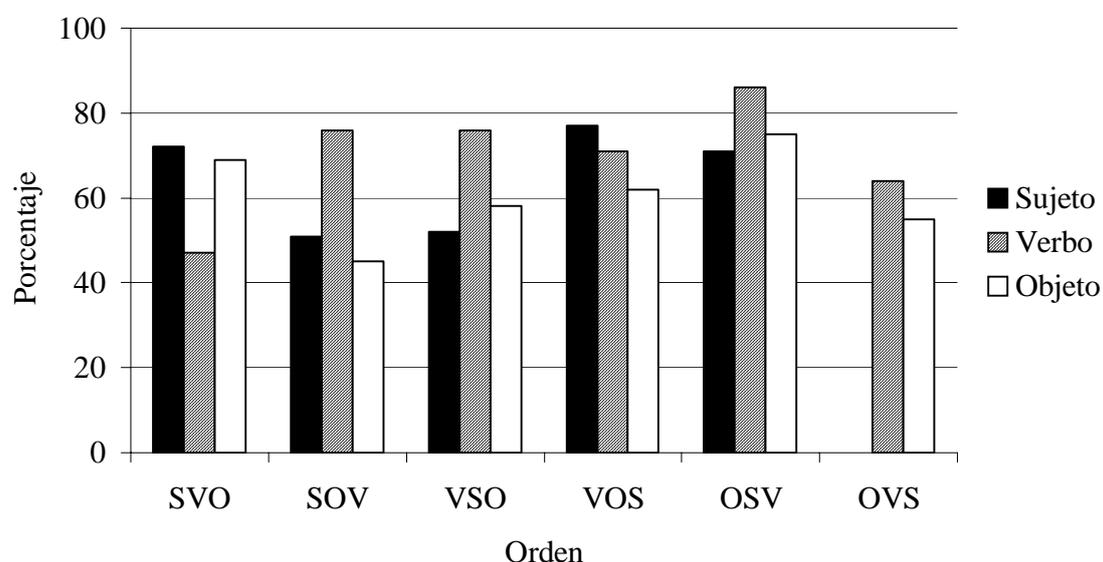


Figura 26. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes en el modelo lesionado mediante la remoción de nodos en la fase de evaluación.

Por su parte, en la figura 27 se observa que el empleo de los constituyentes en la condición *Conexiones* fue análogo al ocurrido en *Nodos*, donde se emplearon todos los constituyentes de manera constante, aunque no en todos los ensayos. De igual manera que en *Nodos*, no hubo diferencias significativas en el uso del *Sujeto* ($F_{(5, 307)} = 0.97$ $p > .05$), el del *Objeto* ($F_{(5, 307)} = 1.17$ $p > .05$), aunque sí en *Verbos* ($F_{(5, 307)} = 3.18$ $p < .01$).

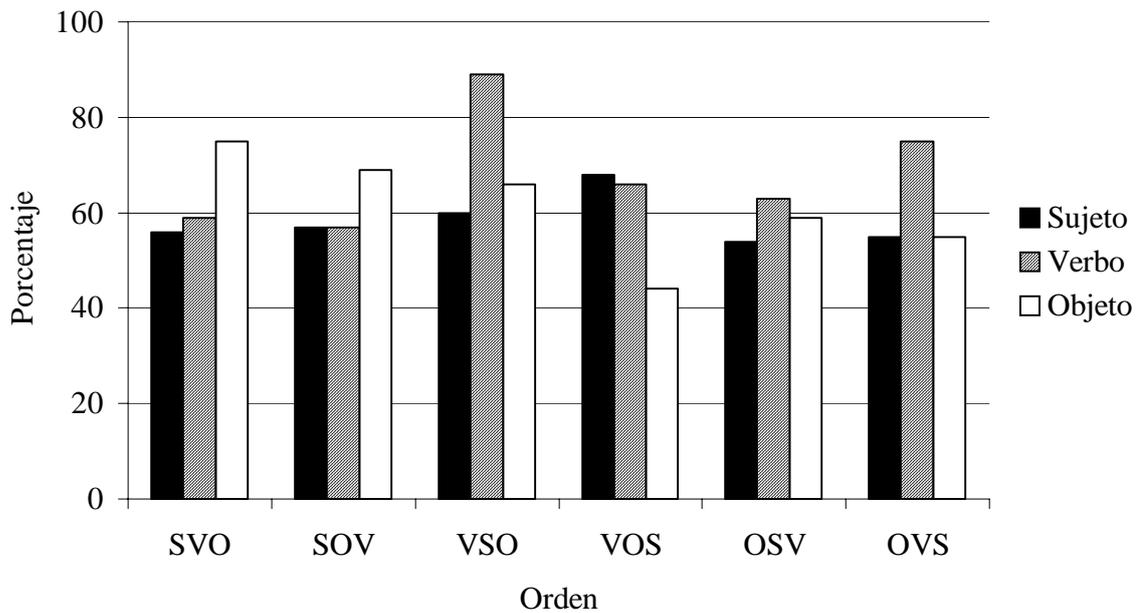


Figura 27. Porcentaje de empleo de los constituyentes en los seis distintos órdenes en el modelo lesionado mediante la restricción de conexiones en la fase de evaluación.

Preposición

Mientras que en la fase de aprendizaje la *Preposición* fue empleada de manera constante por el modelo sin lesión, en esta fase dicho empleo se redujo de manera significativa (ver Fig. 28). Asimismo, en esta fase, la preposición sólo fue utilizada en aquellos órdenes donde el *Sujeto* precedió al *Objeto* de la oración, SVO, SOV y VSO ($F_{(5, 306)} = 3.63 p < .01$).

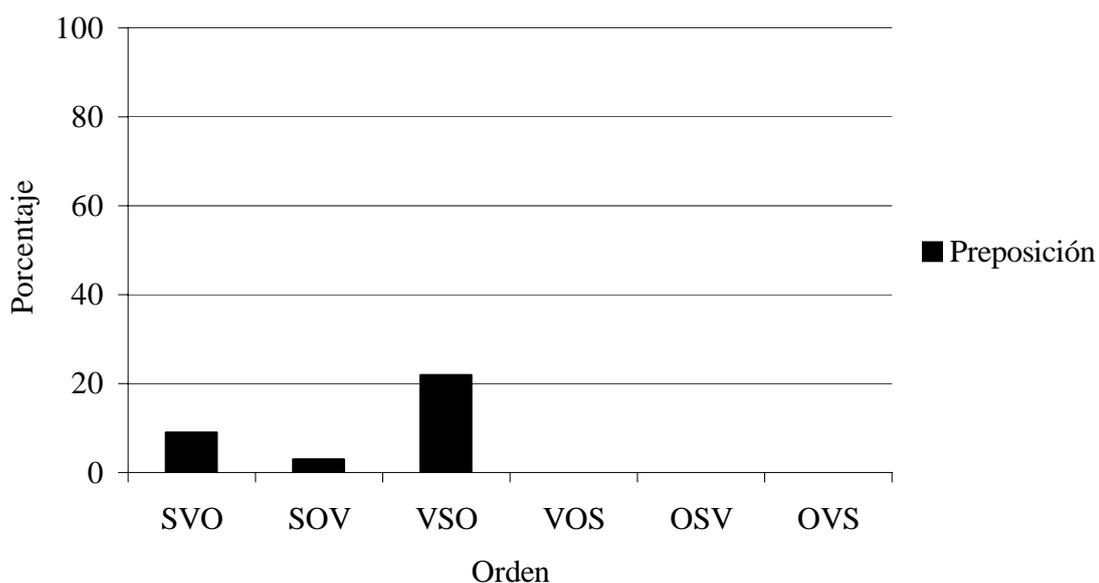


Figura 28. Porcentaje de empleo de la *Preposición a* en los seis distintos órdenes de los constituyentes en la situación del modelo sin lesión de la fase de evaluación.

En las condiciones de lesión, el empleo de la *Preposición* mostró diferencias significativas debidas al orden tanto en *Nodos* ($F_{(5, 313)} = 95.0$ $p < .001$) como en *Conexiones* ($F_{(5, 313)} = 91.0$ $p < .001$). La figura 29 muestra que en la condición *Nodos* se empleó la preposición en todos los órdenes, exceptuando en el orden VOS. Por su parte, en *Conexiones* no se empleó en VOS y en el orden OSV. De manera más notable, ambas condiciones mostraron diferencias en la frecuencia de que hicieron uso de dicha preposición, donde el mayor empleo de la misma lo realizó la red en *Nodos* (asimismo, el uso de la preposición por ambas condiciones fue mayor que en la condición normal).

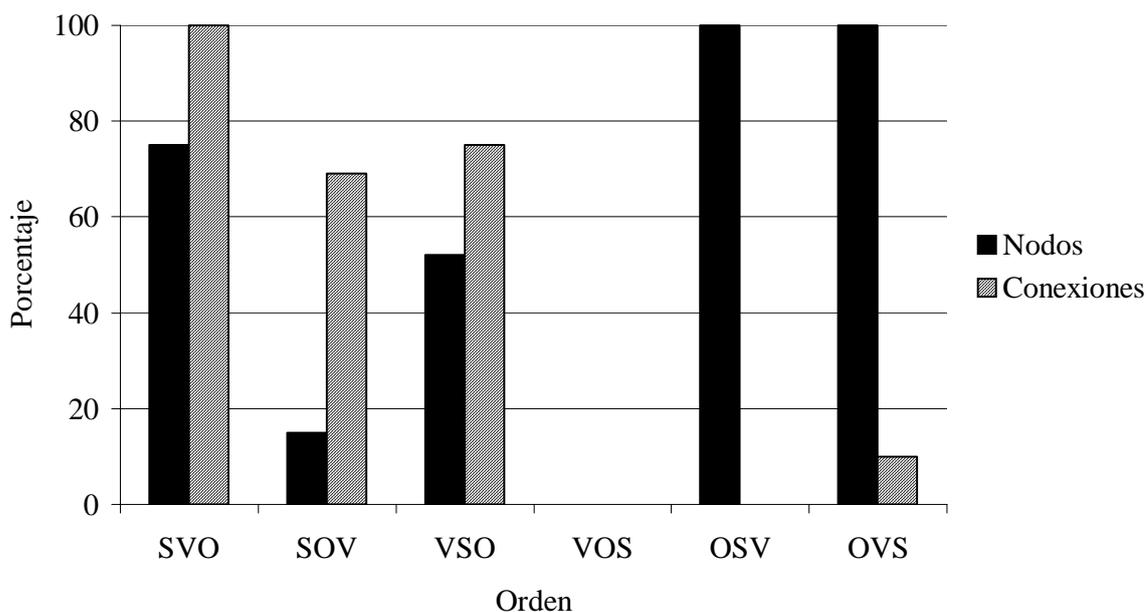


Figura 29. Porcentaje de empleo de la *Preposición* por el modelo en las dos condiciones de lesión, *Nodos* y *Conexiones*, en los seis distintos órdenes de la fase de evaluación.

Artículos

El empleo de artículos con un mismo nivel de determinación en la condición del modelo sin daño fue reducido en los seis distintos órdenes de las oraciones, en comparación con la fase previa. En ambos casos, ya sea que antecidieran al *Sustantivo* ($F_{(10, 295)} = 7.20$ $p < .001$) o al *Objeto* de la oración ($F_{(10, 295)} = 7.20$ $p < .001$) - ver fig. 30; y pese al reducido empleo de los mismos, hubo diferencias estadísticamente significativas

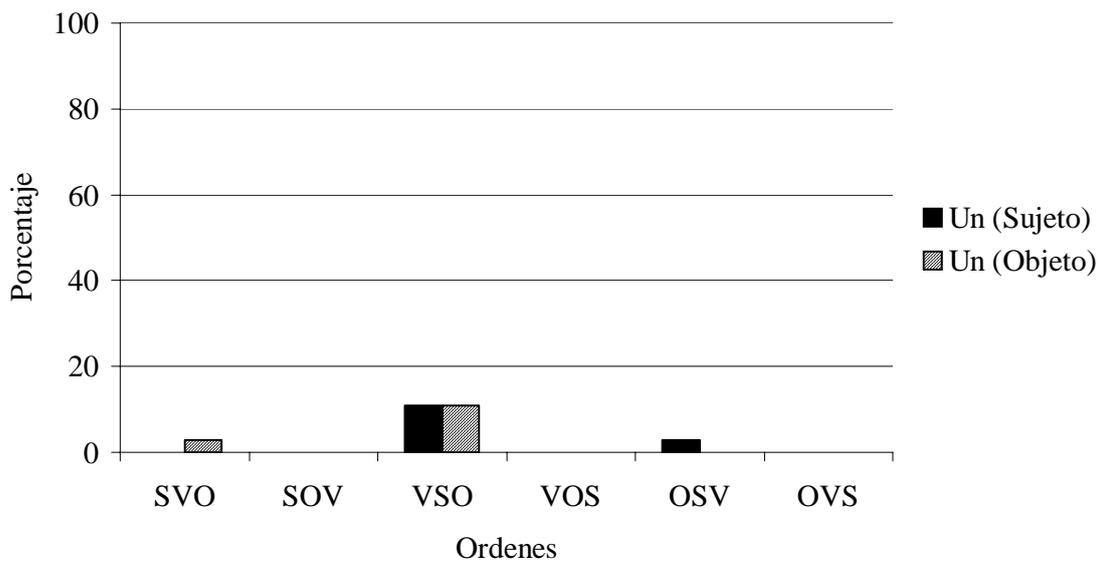


Figura 30. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con un mismo nivel de determinación, en los seis distintos órdenes de los constituyentes de la fase de evaluación.

El uso de artículos con diferente nivel de determinación también mostró una mengua notable en comparación con la fase de aprendizaje, aunque el modelo mantuvo la tendencia de emplear en mayor porcentaje el artículo determinado que el indeterminado antecediendo al *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 185.57$ $p < .001$ y $t_{(158)} = 5.09$ $p < .001$) y al *Objeto* ($F_{(Levene)} = 156.00$ $p < .001$ y $t_{(158)} = -4.53$ $p < .001$) - ver Fig. 31.

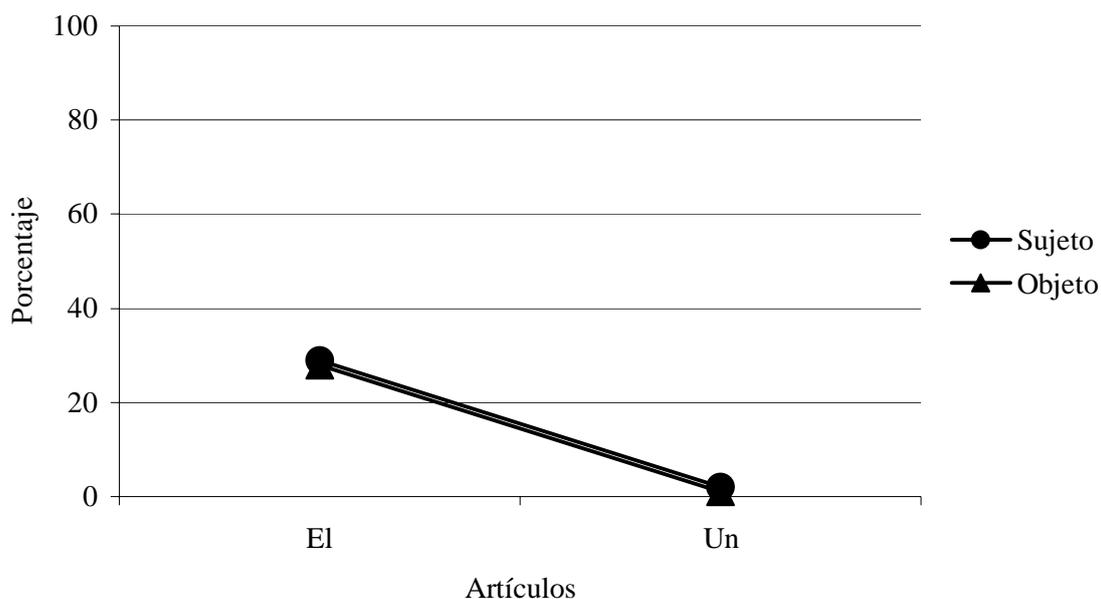


Figura 31. Porcentaje de empleo total de Artículos (para Sujeto y Objeto), con diferentes niveles de determinación en la fase de evaluación.

En las condiciones de lesión, el uso de artículos con un mismo nivel de determinación mostró diferencias estadísticamente significativas debidas al orden de los constituyentes. En la condición *Nodos*, el artículo que precedía al *Objeto* se empleó en casi todos los órdenes, excepto en OSV y OVS ($F_{(5, 313)} = 42.01$ $p < .001$); por su parte, el artículo que antecedió al *Sujeto* aunque fue empleado en menor número de órdenes también mostró diferencias significativas ($F_{(5, 313)} = 32.43$ $p < .001$) - ver Fig. 32.

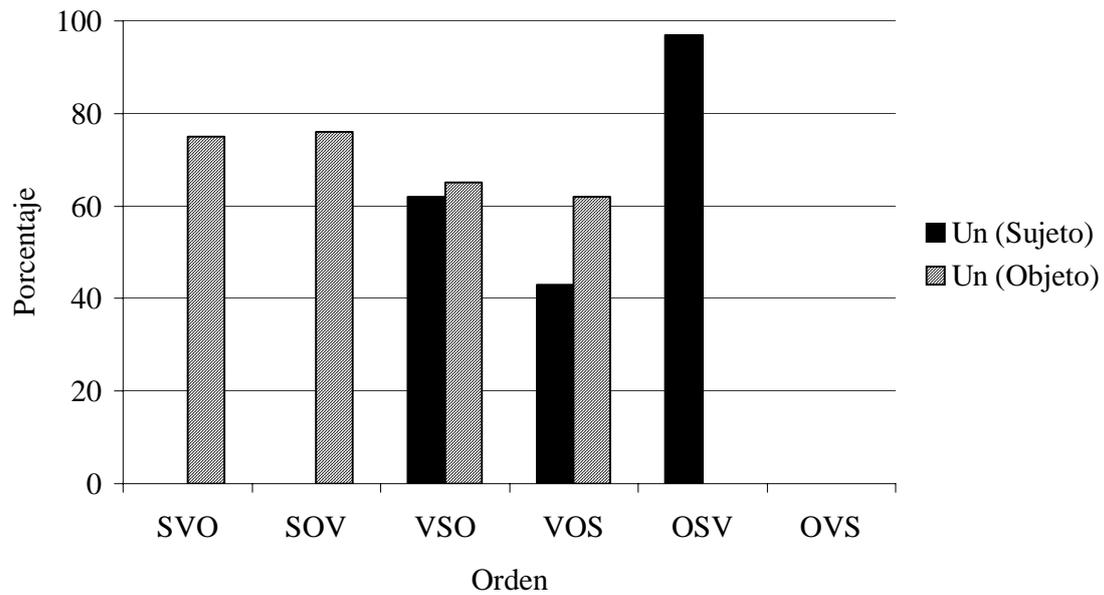


Figura 32. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con un mismo nivel de determinación, por el modelo lesionado mediante la remoción de nodos en los seis distintos órdenes de los constituyentes de la fase de evaluación.

En la condición *Conexiones*, los artículos fueron empleados en los mismos órdenes que en la anterior condición aunque tuvieron diferencias en el porcentaje de uso. Sin embargo, las diferencias de uso debidas al *Orden* se mantuvieron para el artículo que precedía al *Sujeto* ($F_{(5, 141)} = 12.35$ $p < .001$) y el que precedía al *Objeto* ($F_{(5, 141)} = 8.13$ $p < .001$) - ver Fig. 33.

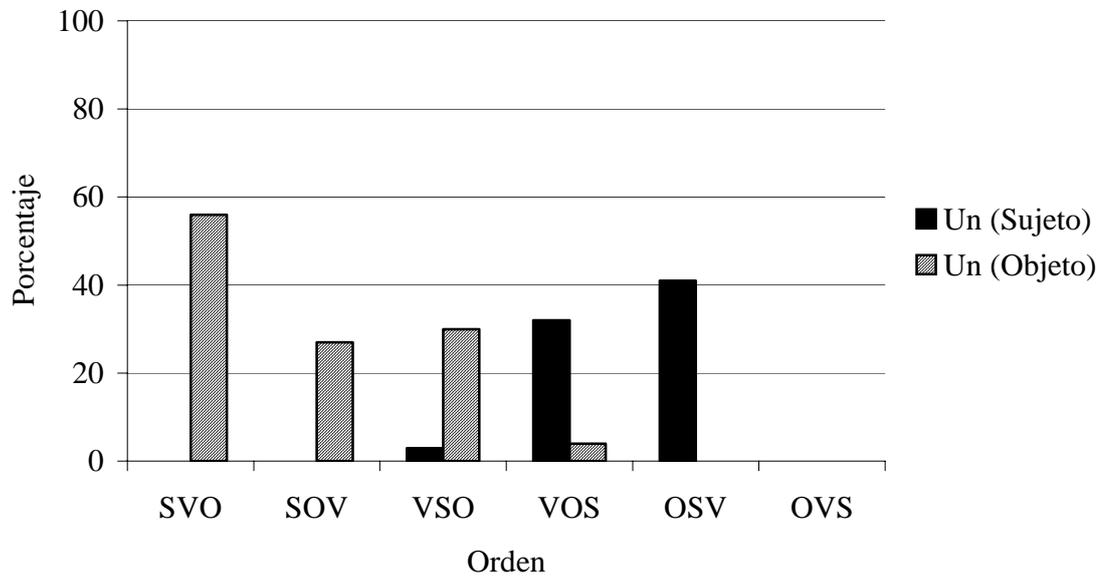


Figura 33. Porcentaje de empleo de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con un mismo nivel de determinación, por el modelo lesionado mediante la restricción de conexiones en los seis distintos órdenes de los constituyentes de la fase de evaluación.

Finalmente, se estimó el empleo de artículos con diferente nivel de determinación para el *Sujeto* y el *Objeto* en las dos distintas condiciones de lesión. Las figuras 34 y 35 muestran el porcentaje de uso de artículos determinados e indeterminados en *Nodos* y *Conexiones*, respectivamente.

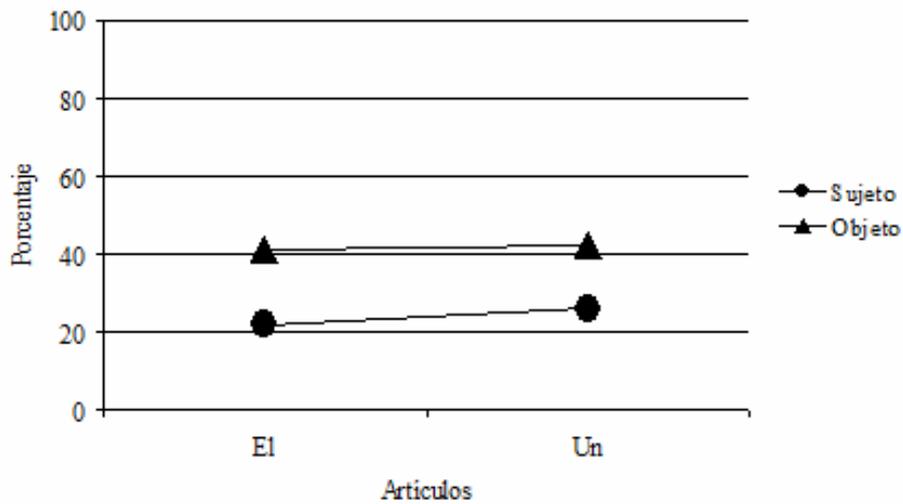


Figura 34. Porcentaje de empleo total de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con diferentes niveles de determinación en la lesión por retiro de nodos de la fase de evaluación.

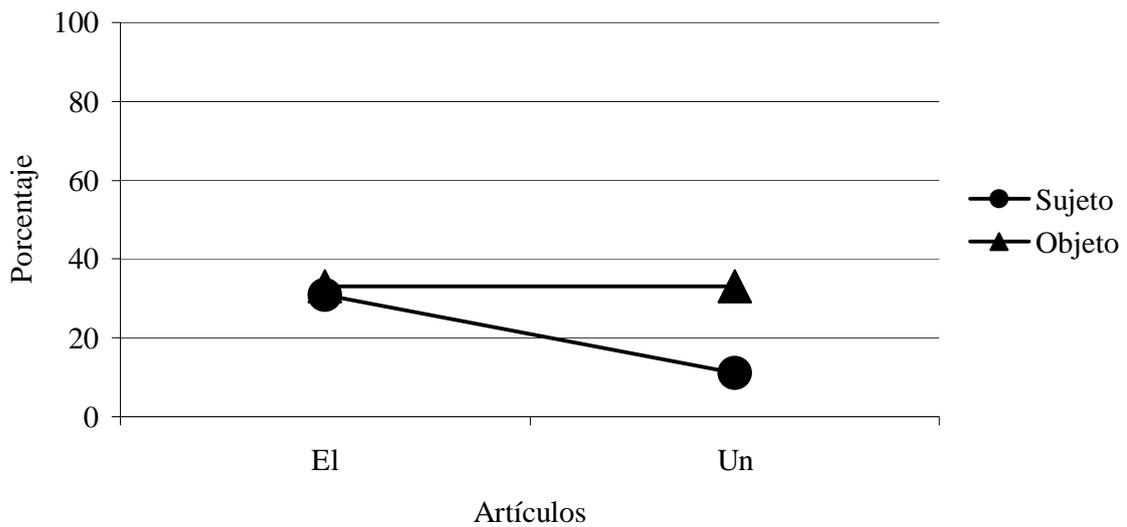


Figura 35. Porcentaje de empleo total de *Artículos* (para *Sujeto* y *Objeto*), con diferentes niveles de determinación en la lesión por restricción de conexiones de la fase de evaluación.

En la condición de *Nodos* no hubo diferencias significativas en los artículos que antecedían al *Objeto* ($F_{(Levene)} = 0.32$ $p > .05$ y $t_{(151)} = 0.28$ $p > .05$) o al *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 0.82$ $p > .05$ y $t_{(152)} = 0.14$ $p > .05$). Asimismo, en *Conexiones* tampoco hubo diferencias significativas para los artículos del *Sujeto* ($F_{(Levene)} = 8.47$ $p < .01$ y $t_{(164)} = 1.50$ $p > .05$) y los del *Objeto* ($F_{(Levene)} = 4.68$ $p < .05$ y $t_{(164)} = 1.10$ $p > .05$). Cabe señalar que en la condición

Nodos hubo un mayor empleo de los artículos que antecedían al *Objeto* que al *Sujeto* aunque, como se aprecia arriba, estas diferencias no fueron significativas.

Finalmente, se comparó el empleo de los diversos elementos de la oración entre las fases de entrenamiento-lesión y de evaluación. Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en el uso de los elementos de la oración entre las fases, donde disminuyó la frecuencia de uso para el *Sujeto* ($t_{(944)} = 7.17$ $p < .001$), el *Verbo* ($t_{(944)} = 5.63$ $p < .001$), el *Objeto* ($t_{(944)} = 6.40$ $p < .001$), la *Preposición* ($t_{(944)} = 15.78$ $p < .001$), y el *Artículo* precediendo al *Sujeto* ($t_{(944)} = 6.29$ $p < .001$) y al *Objeto* ($t_{(944)} = 7.10$ $p < .001$) en la fase de evaluación.

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue generar un modelo conexionista de la recuperación de las funciones perdidas en el trastorno afasia tipo Broca en la lengua española. Por ello, se elaboró una red neuronal que simulara una tarea de identificación de papeles temáticos en oraciones activas simples, en donde se representaron algunas características que han sido relevantes para su solución por parte de hispanohablantes con afasia tipo Broca (Ostrosky et al., 1999; Díaz, 1995 y Marcos & Ostrosky, 1995).

Debe señalarse que la simulación realizada por los modelos conexionistas no es una reducción biológica de las estructuras sino de los procesos, donde la solución de las tareas es establecida basándose en las regularidades encontradas en los estímulos de las mismas. Por lo tanto, los resultados aquí obtenidos se refieren a la alteración y recuperación de las funciones de un modelo conexionista, y deben ser restringidos a la simulación de una tarea de identificación de papeles temáticos como la realizada por Ostrosky, Marcos y cols. (1999).

La primera pregunta, respecto al estudio realizado, es saber si el modelo solucionó la tarea a la que fue expuesto, es decir si identificó los papeles temáticos mediante el empleo de las regularidades de las oraciones. Las aproximaciones generales a los resultados, como las sumas de cuadrados de los errores en las predicciones y el análisis de conglomerados de los estímulos, permitieron responder de manera superficial a esta pregunta.

En el primero de dichos resultados, el análisis de la suma de cuadrados, se aprecia una disminución en el error de las predicciones del modelo, lo que sugiere que aprendió la tarea. No obstante, la persistencia de error en las predicciones muestra imprecisión en las mismas, siendo el origen de dicha inexactitud la irregularidad de algunos de los elementos de la oración, como es la ubicación de los sustantivos y verbos

en las oraciones, los que por su posición intercambiable dentro de la oración como sujeto u objeto de la misma, y el par de sustantivos con los que se haya vinculado el verbo, generan un mayor número de imprecisiones en su predicción como lo muestra el análisis de grupos.

El aprendizaje realizado por el modelo involucró las características generales que se representaban en las palabras, permitiendo que estas últimas fueran agrupadas por la información en común como la categoría gramatical. Asimismo, hay indicios de que la disposición de las palabras dentro de las oraciones fue estimada por el modelo: los elementos que generaron mayor discrepancia en las predicciones fueron los poseían una regularidad menor dentro del arreglo de las oraciones, tal es el caso de los sustantivos (que podían ser sujetos u objetos de las oraciones) y los verbos (que aparecían con pares distintos de sustantivos).

El aprendizaje mostrado en las predicciones podría sugerir que sólo se emplearon las regularidades útiles para la solución de la tarea, mientras que las redundantes o poco informativas pudieron ser obviadas. Esta afirmación estaría en consonancia con la descripción de algunas de las características relevantes de los modelos conexionistas, concretamente el uso selectivo y casi exclusivo de la información útil (Plunkett & Elman, 1997).

Cabe preguntar si la información redundante no fue empleada en la solución de la tarea, o si el modelo conexionista muestra limitaciones en el procesamiento de la información que provoca imprecisiones en la predicción de los tutoriales. Indudablemente, el uso de la información particular como la categoría gramatical o el código único de la palabra permitieron al modelo la reducción de errores en la predicción de los papeles temáticos; sin embargo, el campo de código individual para cada estímulo palabra evidenció las limitaciones de los modelos conexionistas para

pronosticar los elementos específicos dentro de cada oración. Este hallazgo concuerda con los obtenidos por Elman (1990), en ambos casos, puede suponerse que las limitaciones de memoria y de registro permanente de los modelos conexionistas sólo permiten realizar predicciones basadas en características generales (como el caso de la categoría gramatical en ambos estudios).

Resultados análogos fueron obtenidos en redes lesionadas y en las situaciones postlesión, demostrando que pese al tipo de lesión y la restricción consecuente del procesamiento, las características generales de las palabras se mantienen.

Empleo de regularidades

Estudios en diversas lenguas como el inglés (Beeke et al., 2003; Grodzinsky, 2000), el hebreo (Friedmann & Shapiro, 2003), el danés y el alemán (Bastiaanse et al., 2002), han demostrado que el orden de los constituyentes es un factor determinante en la identificación de los papeles temáticos, donde la presencia de un orden canónico en dichas lenguas es la marca más confiable para los hablantes de las mismas.

En el español, aun cuando el orden SVO es el que tiene mayor ocurrencia en la lengua española y se confirma como orden canónico (Solorio, 2003), se ha observado que dicha marca tiene un valor relativo y menos importante que marcas más confiables. La variedad de estudios realizados en México han demostrado que la preposición es la marca más confiable en la identificación de los papeles temáticos, seguida por el orden y finalmente por el nivel de determinación de los artículos (Ostrosky, Marcos et al., 1999; Díaz, 1995; Marcos & Ostrosky, 1995).

En el presente trabajo, la influencia del orden en el empleo de los elementos de la oración solamente fue percibida en el uso de la preposición y de los artículos en las

condiciones de red normal y lesionada. En lo concerniente a la preposición esta dejó de ser empleada en el orden VOS, resultado que será abordado más adelante.

Díaz (1995), encontró que hispanohablantes mexicanos, en una tarea de identificación de papeles temáticos, frecuentemente eligieron a un artículo determinado (el) como correspondiente al sujeto y el indeterminado (un) al objeto. Este resultado también fue observado en las preferencias del modelo en la utilización del artículo determinado en la identificación de los papeles temáticos. Por su parte, cuando ambos artículos contenidos en las oraciones estímulos tenían el mismo nivel de determinación (como en la oración estímulo b Un S1 V1 a un S2) el mayor empleo de alguno de ellos parece obedecer a su posición en la oración: en oraciones del tipo SVO, SOV y VSO, en donde el primer sustantivo asume el papel de sujeto de la oración, el artículo que precedía al sujeto era más empleado que el que anteceda al objeto; por otro lado, en las oraciones OSV, OVS y VOS, donde el primer sustantivo era el objeto de la oración, el artículo más empleado fue el que precedía al objeto. Puede apreciarse que, en ambos casos, el primer artículo de la oración fue empleado con mayor frecuencia que el segundo.

Tipos de Lesiones

Las características de las lesiones originadas al modelo no reflejan la realidad biológica de las alteraciones en las redes neuronales, sino las posibles alteraciones en el proceso de la identificación de papeles temáticos como consecuencia de un daño. De la misma forma que en las representaciones de las características de las palabras, las lesiones realizadas a los modelos no son exhaustivas ni agotan la diversidad de alteraciones que pueden simularse (cf. Lukatela et al., 1995), por ello, deben considerarse que son una primera aproximación al estudio de las lesiones y recuperación

de funciones en la propuesta conexionista dentro del ámbito, muy específico, de la tarea de identificación de papeles temáticos.

La elección de un tipo específico de daño, en los modelos conexionistas, es un tema abierto a múltiples consideraciones en las simulaciones: la alteración del proceso, su ubicación y magnitud son dependientes del trasfondo teórico en el que se inspire el diseñador del modelo. En el presente trabajo la elección de los tipos de daño se basó en las propuestas teóricas de Lukatela y cols. (1995) y Kilbor y Friederici (1994, 1989). Es necesario reiterar que los daños ocasionados al modelo no son reduccionismos biológicos de la afasia de Broca, sino alteraciones del proceso sugerido para la tarea de identificación de los papeles temáticos, proceso que replicó algunas de las conductas observadas en hispanohablantes mexicanos en una tarea análoga.

En las simulaciones realizadas por los modelos conexionistas, la ubicación y magnitud del daño están basadas comúnmente en evidencia empírica proveniente de estudios previos. Sin embargo, en el presente trabajo no hubo antecedentes de investigaciones que establecieran un cimiento sobre el cual elegir la medida de la lesión. A través de diversos pilotes se probaron daños de diferentes extensiones, eligiéndose aquellos que generaran respuestas con el mayor número de patrones identificables (o bien el modelo que replicara los hallazgos de estudios con sujetos humanos).

Los resultados obtenidos, sobre las regularidades empleadas en la solución de la tarea, muestran diferencias significativas entre los distintos tipos de lesión. De ellos, aquél que replicó los resultados mostrados por humanos corresponde a la disminución de la capacidad de procesamiento de los nodos. Las conductas producidas por este tipo de daño fueron el empleo de la preposición como la marca más confiable en la solución de la tarea; asimismo, la clara preferencia por el uso de los artículos determinados por encima de los indeterminados y efectos relativos del orden.

Las diferencias entre las conductas observadas en el modelo por retiro de nodos y algunas conductas de hispanohablantes con afasia de Broca, también ocurrieron en la fase de evaluación. De manera particular, el resultado más sobresaliente fue el empleo constante de la preposición a lo largo de todas las oraciones y el conflicto generado por dos señales lingüísticas en el orden VOS (como lo son la preposición y la presencia en primer lugar del objeto de la oración). Este resultado repite el obtenido por Ostrosky, Marcos y cols. (1999), quienes afirman que la falta de uso de la preposición en el orden VOS, puede deberse a que los hablantes enfrentaron la tarea de elección de papeles temáticos mediante el empleo de una estrategia VO (el objeto lógico de la oración en posición postverbal).

Por su parte, Solorio (2003), quien no encontró valor significativo para la señal lingüística VO (posición postverbal y presencia en segundo lugar del objeto) en niños mexicanos, afirma que el empleo de la preposición en las oraciones del tipo OVS, OSV y VOS genera conflicto en la identificación de los papeles temáticos, por lo que una manera de eliminar dicho conflicto es no emplear la preposición en dichas oraciones; estrategia que pudieron emplear parcialmente los hispanohablantes con afasia y la red lesionada mediante el retiro de nodos.

Los resultados arriba señalados sugieren que de existir un paralelo entre el proceso ejecutado por el modelo conexionista y el realizado por una red neuronal real, en una tarea de identificación de papeles temáticos, la alteración ocurre al nivel del procesamiento de cada uno de los elementos de la oración (o también la limitación en la identificación de las características relevantes y necesarias en su empleo en la solución de la tarea). Este resultado está en consonancia con los de Lukatela y cols. (1995) y Kilborn y Friederici (1994, 1989), quienes en sus respectivos estudios encontraron

evidencia que apoya la hipótesis de limitaciones en el procesamiento de la información, aunque esta evidencia no sea concluyente (Ter Keurs et al., 2002, 1999).

Por otro lado, las estrategias de recuperación mostradas por los modelos lesionados deben ser consideradas como soluciones únicas e individuales, puesto que en los tipos de lesiones originados no hubo elementos en común en ellos, por lo que los puntos de comparación son restringidos o inexistentes.

Evaluar el mejor desempeño de uno u otro modelo no puede ser realizado a través de sus predicciones debido a que el empleo de tutoriales “obliga” a los modelos a que sus respuestas tiendan a igualarlos y en consecuencia a parecerse entre ellos. Es por esto que al evaluar las diferencias entre los modelos lesionados, deben observarse las estrategias empleadas en la segunda fase donde se estima su poder de generalización; y en que la estrategia más parecida al desempeño de los hispanohablantes, aquella que emplea los elementos de la oración como la preposición y el nivel de determinación del artículo, es la que mejor replica el proceso de recuperación.

Con este precedente se considera que el modelo que mostró una mejor recuperación del proceso alterado fue el de remoción de nodos, cuya principal estrategia para la solución de la tarea fue el empleo de la preposición a lo largo de los distintos órdenes de las oraciones. Debe indicarse que el resultado más sobresaliente fue la falta de uso de dicha marca en el orden VOS, lo cual replica los hallazgos de Ostrosky y cols. (1999) confirmando la posibilidad de una estrategia VO ante el conflicto de las señales o marcas que participan en dicho orden (Solorio, 2003). Pese a dicha similitud, el mismo modelo durante la fase de evaluación disminuyó significativamente el uso de los artículos, diferenciándose de la estrategia mostrada en la fase de entrenamiento.

La mayor regularidad en el uso de los elementos de la oración, la preposición y el artículo determinado, por el modelo alterado en nodos concuerda con las

conclusiones a que han arribado diversos autores en estudios de plasticidad de afasia de Broca. En dichos trabajos se ha observado que el mejor nivel de recuperación ocurre con la activación de áreas aledañas (Lukatela et al., 1995; Kilborn & Friederici, 1994, 1989). Este resultado podría apoyar la tesis de que a un cierto tipo de lesión corresponde una plasticidad específica (Thomas et al., 1997), y que la recuperación de funciones vía activación de áreas homólogas es consecuencia de una mala recuperación (cf. Pizzamaglio et al., 2001).

Sobre esta afirmación debe hacerse una advertencia. El proceso de recuperación de los modelos no fue influido por algún factor que promoviera la misma en las funciones lingüísticas, por lo que sugerir que el proceso óptimo de recuperación de dichas funciones es logrado a través de la actividad de áreas aledañas, es otorgar una versión simple, básica y fundamental sin considerar la dirección de los factores influyentes.

Limitaciones y cursos alternos

Debe, sin embargo, reconocerse que en la propuesta realizada hay varias limitaciones que deben ser consideradas en la valoración del modelo estudiado, para su ulterior mejora y replicación.

Las primeras limitaciones corresponden a las restricciones y alcances de los modelos conexionistas, como el tipo de algoritmo de aprendizaje empleado (retropropagación), el cual no es el único que se ha utilizado en simulaciones. Por el contrario, varias simulaciones exitosas y plausibles han empleado algoritmos distintos, lo cual implica la falta de consenso establecido sobre cuál es el más apropiado y por ende cuál es la propuesta correcta. De la misma forma, una de las restricciones más

importantes de los modelos es la falta de acceso a representaciones previas (memoria), las cuales pudieran influir en una tarea.

Las otras limitaciones del modelo provienen del planteamiento y diseño del mismo. El tipo de características que se representaron en cada estímulo-palabra y en las oraciones fueron solamente algunas de las marcas o regularidades que un hispanohablante pudiera emplear en la solución de una tarea análoga a la presentada al modelo. Características como animación, extensión de la unidad léxica y tipicidad del sujeto/objeto, son algunas características que pueden influir en la elección de papeles temáticos. De la misma forma, en la tarea se representaron binariamente dichas características (es decir, presencia y ausencia), pero las mismas pueden aparecer en un continuo más que en una bipolarización. Finalmente, el número de oraciones creadas, con las que el modelo aprendió, es limitado y no tiene amplia variabilidad; asimismo, solamente se presentó una estructura lingüística al modelo por lo que el conocimiento del uso se limita a su función dentro de aquella, no pudiendo extender su conocimiento a otras estructuras.

Las alternativas del presente proyecto no se limitarían al tipo de estímulos que son expuestos al modelo, como el tipo de información y su representación, sino también aquellos cuya naturaleza es teórica. Este es el caso de la hipótesis de Zurif (1998) al sugerir que el déficit lingüístico en la afasia de Broca es debido a la incapacidad de aplicar el conocimiento lingüístico procesado; en la propuesta conexionista esta hipótesis significaría la creación de un nuevo modelo que simule una alteración en el procesamiento de la información (como sería un daño en las conexiones entre nodos de procesamiento y los de producción).

Lo anterior conduce a su vez a considerar el estudio de los diversos tipos de plasticidad que podrían ocurrir. En el presente trabajo hubo una correspondencia directa

entre el tipo de daño y el de plasticidad, aunque en algunos estudios sobre afasia (Thomas et al., 1997) se ha observado la ocurrencia simultánea de dos tipos de plasticidad. Las opciones de representación de dichas variantes de recuperación en los modelos conexionistas, significarían cambios drásticos al nivel de la arquitectura, como en el caso de la neurogénesis, representada en los modelos conexionistas como la incorporación de nuevos nodos con múltiples conexiones en la arquitectura del modelo (G. Palafox, 2002, comunicación personal).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten concluir que:

1. el modelo propuesto (arquitectura y representación de información) replicó hallazgos obtenidos en estudios con hispanohablantes con afasia de Broca, mostrando sensibilidad a las características representadas del español;
2. las estrategias de aprendizaje se basaron en las regularidades más confiables para la solución de la tarea de identificación de papeles temáticos, como el uso de la preposición (Ostrosky; Marcos et al., 1999 y Marcos y Ostrosky, 1995);
3. las lesiones originadas al modelo reflejaron aspectos de las propuestas teóricas de algunos autores (Lukatela et al., 1995), mostrando diferencias significativas entre ellas donde la alteración en el procesamiento de la información, retiro de nodos, reproducía resultados semejantes a los reportados en la literatura;
4. en la recuperación de funciones, los resultados de las comparaciones sobre estrategias de solución de la tarea favorecen la compensación por activación de áreas aledañas; este resultado está en consonancia con el obtenido por Lukatela et al. (1995) y Kilborn y Friederici (1994 y 1989); y finalmente,
5. los modelos conexionistas son una propuesta plausible para el estudio de la afasia tipo Broca en el español; todas las características y particularidades de este último que lo diferencien de otras lenguas, deben ser representadas en los estímulos a emplear en las simulaciones de trastornos.

Referencias

- Ardila, A. (2001). A manifestation of aphasic symptoms in Spanish. *Journal of Neurolinguistics*, 14(2-4), 337-347.
- Bastiaanse, R., Koekkoek, J. & Van Zonneveld, R. (2003). Object scrambling in dutch Broca's aphasia. *Brain and Language*, 86, 287-299.
- Bastiaanse, R., Rispens, J., Ruigendijk, E., Rabadan, O. & Thompson, C. K. (2002). Verbs: some properties and their consequences for agrammatic Broca's aphasia. *Journal of Neurolinguistics*, 15(3-5), 239-264.
- Bates, E. (1999). Plasticity, localization and language development. En S. H. Broman & J. M. Fletcher (Eds.), *The changing nervous system: Neurobehavioral consequences of early brain disorders*. Oxford: Oxford Press.
- Bates, E. & Elman, J. (1993). Connectionism and the study of change. En M. Jonhson, (Ed.), *Brain development and cognition: a reader*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Bates, E., Elman, J. & Li, P. (1994). Language in, on, and about time. En M. Haith, B. Pennington & J. Benson (Eds.), *The development of future-oriented processes*. Chicago: University Chicago Press.
- Bates, E., Friederici, A., & Wulfeck, B. (1987a). Comprehension in aphasia: A cross-linguistic study. *Brain and Language*, 32(1), 19-68.
- Bates, E., Friederici, A., & Wulfeck, B. (1987b). Grammatical morphology in aphasia: Evidence from three languages. *Cortex*, 23, 545-574.
- Beeke, S., Wilkinson, R. & Maxim, J. (2003). Exploring aphasic grammar 2: Do language testing and conversation tell a similar story? *Clinical Linguistics & Phonetics*, 17(2), 109-134.
- Benson, D. F. & Ardila, A. (1996). *Aphasia: a clinical perspectiva*. Nueva York, NY, EE. UU.: Oxford Press.
- Beretta, A., Schmitt, C., Halliwell, J., Munn, A., Cuetos, F. & Kim, S. (2001). The effects of scrambling on Spanish and Korean agrammatic interpretation: why linear models fail and structural models survive. *Brain and Language*, 79(3), 407-425.
- Berndt, R. S. & Caramazza, A. (1999). How 'regular' is sentence comprehension in Broca's aphasia? It depends on how you select the patients. *Brain & Language*, 67(3), 242-247.
- Blank, S. C., Scott, S. K., Murphy, K., Warburton, E. & Wise, R. J. (2002). Speech production: Wernicke, Broca and beyond. *Brain*, 125(8), 1829-1838.
- Botvinick, M. & Plaut, D. C. (2006). Short-term memory for serial order: A recurrent neural network model. *Psychological Review*, 113, 201-233.
- Brown, G. D. (1997). Connectionism, phonology, reading, and regularity in developmental dyslexia. *Brain & Language*, 59(2), 207-35.
- Cappa, A. F., Perani, D., Grassi, F., Bressi, S., Alberoni, M., Franceschi, M. et al. (1997). A PET follow-up study of recovery after stroke in acute aphasics. *Brain and Language*, 56, 55-67.
- Caramazza, A. & Zurif, E. B. (1976). Dissociation of algorithmic and heuristic processes in language comprehension: evidence from aphasia. *Brain and Language*, 3, 572-582.
- Castro-Viejo, P. I. (1996). Plasticidad cerebral. *Revista de Neurología*, 24(135), 1361.
- Classen, J., Liepert, J., Wise, S. P., Hallett, M. & Cohen, L. G. (1998). Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *Journal of Neurophysiology*, 79(2), 1117-1123.
- Code, C., Rowley, D. & Kertesz, A. (1994). Predicting recovery from aphasia with connectionist networks: preliminary comparisons with multiple regression. *Cortex*, 30, 527-532.
- Cohen, L. G., Ziemann, U., Chen, R., Classen, J., Hallett, M., Gerloff, C. et al. (1998). Studies of neuroplasticity with transcranial magnetic stimulation. *Journal of Clinichal Neurophysiology*, 15, 305-324.
- Cohen, J. & Servan-Schreiber, D. (1992). Cortex and dopamine: a connectionist approach to behavior and biology in schizophrenia. *Psychological Review*, 99, 45-77.
- Comrie, B. (1989). *Language universals and linguistic typology: Syntax and morphology*. Oxford: Basil Blackwell.
- Cramer, S. C., Nelles, G., Benson, R. R., Kaplan, J. D., Parker, R. A., Kwong, K. K. et al. (1997) A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke. *Stroke*, 28, 2518-2527.
- Dorris, M. C., Pare, M. & Muñoz, D. P. (2000). Immediate neural plasticity shapes motor performance. *Journal of Neuroscience*, 20(1), RC52.
- Elman, J. L. (1993). Learning and development in neural networks: the importance of starting small. *Cogniton*, 48, 71-99.

- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, 179-211.
- Elman, J. L., Bates, E., Johnson, M., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: a connectionist perspective on development*. Cambridge, MA.: MIT Press.
- Etard, O., Mellet, E., Papathanassiou, D., Benali, K., Houde, O., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Picture naming without Broca's and Wernicke's area. *Neuroreport*, 11(3), 617-622.
- Friederici, A. D., & Kilborn, K. (1989). Temporal constraints on language processing: Syntactic priming in Broca's aphasia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1(3), 262-272.
- Friedmann, N. & Shapiro, L. P. (2003). Agrammatic comprehension of simple active sentences with moved constituents: hebrew OSV and OVS structures. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 288-297.
- Garfield, S., Elshaw, M. & Wermter, S. (2001). Self-Organising networks for classification learning from normal and aphasic speech. *Proceedings of the 23rd Conference of the Cognitive Science Society*, 319-324.
- Giraud, A. L., Price, C. J., Graham, J. M. & Frackowiak, R. S. (2001). Functional plasticity of language-related brain areas after cochlear implantation. *Brain*, 124(7), 1307-1316.
- Gould, E., Beylin, A., Tanapat, P., Reeves, A. & Shors, T. J. (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nature Neuroscience*, 2(3), 260-265.
- Gould, E. & Gross, C. G. (2002). Neurogenesis in adult mammals: some progress and problems. *The Journal of Neuroscience*, 22, 619-623.
- Gould, E., Reeves, A. J., Graziano, M. S. & Gross, C. G. (1999, Octubre). Neurogenesis in the neocortex of adult primates. *Science*, 286, 548-552.
- Grafman, J. (2000). Picking two scientific roses for the next century. *Brain & Cognition*, 42, 10-12.
- Grodzinsky, Y. (2000). The neurology of syntax: language use without Broca's area. *Behavioral & Brain Sciences*, 23(1), 1-71.
- Grodzinsky, Y. (1995). A restrictive theory of agrammatic comprehension. *Brain & Language*, 50(1), 27-51.
- Hagiwara, H. & Caplan, D. (1990). Syntactic comprehension in japanese aphasics: effects of category and thematic role order. *Brain and Language*, 51, 242-268.
- Heiss, W. D., Kessler, J., Thiel, A., Ghaemi, M. & Karbe, H. (1999). Differential capacity of left and right hemispheric areas for compensation of poststroke aphasia. *Annals of Neurology*, 45(4), 430-438.
- Hernández-Padilla, E. (2000, Abril). *Un modelo conexionista de la armonía de género y número en el español*. Trabajo presentado en la V reunión Nacional y IV Internacional sobre Pensamiento y Lenguaje. Guanajuato, México.
- Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Jambaque, I., Renaux-Kieffer, V., Van de Moortele, P., Delalande, O. et al., (2002). Late plasticity for language in a child's non-dominant hemisphere, a pre- and post-surgery fMRI study. *Brain*, 125, 361-372.
- Hinton, G. E. & Shallice, T. (1991). Lesioning a connectionist network: Investigations of acquired dyslexia. *Psychological Review*, 98, 74-95.
- Horn, D., Ruppin, E., Usher, M. & Herrmann, M. (1993). Neural network modeling of memory deterioration in Alzheimer's disease. *Neural computation*, 5, 736-749.
- Karbe, H., Herholz, K., Weber-Luxenburger, G., Ghaemi, M. & Heiss, W. D. (1998). Cerebral networks and functional brain asymmetry: Evidence from regional metabolic changes during word repetition. *Brain & Language*, 63(1), 108-121.
- Kemperman, G. & Gage, F. H. (1998). Closer to neurogenesis in adult humans. *Nature Medicine*, 4(5), 555-557.
- Kilborn, K. W. & Friederici, A. D. (1994). Cognitive penetrability of syntactic priming in Broca's aphasia. *Neuropsychology*, 8(1), 83-90.
- Kolb, B. (1999). Synaptic plasticity and the organization of behaviour after early and late brain injury. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 53(1), 62-75.
- Kolb, B. & Whishaw, I. Q. (1998). Brain plasticity and behavior. *Annual Review of Psychology*, 49, 43-64.
- Labiouse C. & French R. M. (2001). A Connectionist model of person perception and stereotype formation. In R. French & J. Sougné (Eds.). *Connectionist Models of Learning, Development and Evolution: Proceedings of the Sixth Neural Computation and Psychology Workshop*. Liege, Bélgica, 16-18 Septiembre 2000, pp. 209-218, Londres: Springer Verlag.
- Lukatela, K., Shankweiler, D. & Crain, S. (1995). Syntactic processing in agrammatic aphasia by speakers of a Slavic language. *Brain & Language*, 49(1), 50-76.

- Marcos, J. O., Ostrosky, F. & Ardila, A. (2003). Procesamiento sintáctico en hispanohablantes. Estudios psicolingüísticos. En E. Matute & F. Leal Carretero (Eds.) *Introducción al estudio del español desde una perspectiva multidisciplinaria*. (pp. 427-450). Guadalajara, JAL, México: Universidad de Guadalajara.
- Mareschal, D., Plunkett, K. & Harris, P. L. (1999). A computational and neuropsychological account of object-oriented behaviours in infancy. *Developmental Science*, 2(3), 306-317.
- Marslen-Wilson, W. & Warren, P. (1994). Levels of perceptual representation and process in lexical access words, phonemes, and features. *Psychological Review*, 101(4), 653-675.
- McClelland, J. L. Mirman, D., & Holt, L. L. (2006). Are there interactive processes in speech perception? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(8), 363-369.
- McEwen, B. S. (1999). Permanence of brain sex differences and structural plasticity of the adult brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(13), 7128-7130.
- McLeod, P.; Shallice, T. & Plaut, D. C. (2000). Attractor dynamics in word recognition: Converging evidence from errors by normal subjects, dyslexic patients and a connectionist model. *Cognition*, 74(1), 91-113.
- McLeod, P., Plunkett, K. & Rolls, E. T. (1998). *Introduction to connectionist modelling of cognitive processes*. Oxford: Oxford University Press.
- Mirković, J., MacDonald, M. C., & Seidenberg, M. S. (2005). Where does gender come from? Evidence from a complex inflectional system. *Language and Cognitive Processes*, 20, 139-168.
- Moses, P. & Stiles, J. (2002). The lesion methodology: contrasting views from adult and child studies. *Developmental Psychobiology*, 40, 266-277.
- Neville, H. J. & Bavelier, D. (1998). Neural organization and plasticity of language. *Current opinion in Neurobiology*, 8, 254-258.
- O'Brien, G. & Opie, J. (2002). Radical connectionism: thinking with (not in) language. *Language and Communication*, 22(3), 313-329.
- O'Reilly, R. C. & Munakata, Y. (2000). *Computational explorations in cognitive neuroscience: Understanding the mind by simulating the brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ostrosky, F., Marcos, J. O. & Ardila, A. (2003). Procesamiento sintáctico en hispanohablantes. Estudios neurolingüísticos. En E. Matute & F. Leal Carretero (Eds.) *Introducción al Estudio del Español Desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. (pp. 451-468). Guadalajara, JAL, México: Universidad de Guadalajara.
- Ostrosky, F., Marcos, J. O., Ardila, A., Rosselli, M. & Palacios, S. (1999). Syntactic comprehension in Broca's aphasic Spanish-speaking: Nucle effects of word order. *Aphasiology*, 13(7), 553-571.
- Ostrosky, F., Marcos, J. O., Palacios, S., Chávez, H. & Leiva, S. (1996). Language deficits in Spanish: a neurolinguistic study in aphasics. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 1, 12-16.
- Ostrosky, F., Rigalt, C. & Marcos, J. (1996). Brain potentials and syntax comprehension: effect of thematic word order. *Brain and Cognition*, 30(3), 297-303.
- Palacios, S. L. (1998). *Estudio neurolingüístico de las afasias en hispanohablantes: asignación de roles temáticos*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Papanicolaou, A. C., Moore, B. D., Deutsch, G., Levin, H. S. & Eisenberg, H. M. (1986). Evidence for right-hemisphere involvement in recovery from aphasia. *Archives of Neurology*, 45, 1025-1029.
- Piaget, J. (1971). *Seis estudios de psicología*. Barcelona: Barral.
- Pinker, S. (2000). *The language instinct. How the mind creates language*. New York: Harper Collins Publishers.
- Pinker, S. & Prince, A. (1988). On language and connectionism: Analysis of a parallel distributed processing model of language acquisition. *Cognition*, 28, 73-193.
- Pizzamaglio, L., Galati, G. & Comiteri, G. (2001). The contribution of functional neuroimaging to recovery after brain damage: a review. *Cortex*, 37, 11-31.
- Plaut, D. C. (1999). A connectionist approach to word reading and acquired dyslexia: Extension to sequential processing. *Cognitive Science*, 23, 543-568.
- Plaut, D. C. (1996). Relearning after damage in connectionist networks: Toward a theory of rehabilitation. *Brain & Language*, 52(1), 25-82.
- Plaut, D. C; McClelland, J. L., Seidenberg, M. S & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103(1), 56-115.
- Plunkett, K. (Ed.) (1998). *Language Acquisition and Connectionism*. London: Psychology Press.

- Plunkett, K. & Elman, J. L. (1997). *Exercises in Rethinking Innateness: A Handbook for Connectionist Simulations*. Cambridge, MA.: MIT Press.
- Plunkett, K., & Marchman, V. (1996). Learning from a connectionist model of the English past tense. *Cognition*, 61, 299-308.
- Plunkett, K. & Marchman, V. (1993). From rote learning to system building: Acquiring verb morphology in children and connectionist nets. *Cognition*, 48, 21-69.
- Plunkett, K., Sinha, C. G., Müller, M. F. & Strandsby, M. (1992). Symbol grounding or the emergence of symbols? Vocabulary growth in children and a connectionist net. *Connection Science*, 4, 293-312.
- Quartz, S. R. & Sejnowski, T. J. (1997). The Neural Basis of Cognitive Development: A Constructivist Manifesto. *Brain and Behavioral Sciences*, 20, 537-596.
- Radford, A. (1988). *Transformational grammar: a first course*. Cambridge, MA.: Cambridge University.
- Reggia, J., Ruppin, E. & Sloan-Berndt, R. (1997). Computer models: a new approach to the investigation of disease. *MD Computing*, 14(3), 160-168.
- Rhode, D. & Plaut, D. C. (1999). Simple recurrent networks can distinguish non-occurring from ungrammatical sentences given appropriate task structure. Reply to Marcus. *Cognition*, 73(3), 297-300.
- Rumelhart, D. E. & McClelland, J. L. (1987). Learning the past tenses of English verbs: Implicit rules or parallel distributed processing? En B. MacWhinney (Ed.) *Mechanisms of language acquisition*. (pp. 195-248). Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum Assoc.
- Seidenberg, M. S. (2005). Connectionist models of word reading. *Current Directions in Psychological Science*, 14, 238-242.
- Seidenberg, M. S. (1993). A Connectionist modeling approach to word recognition and dyslexia. *Psychological Science*, 4(5), 299-304.
- Shors, T. C., Ringaes, G., Beylin, A., Zhao, M., Rydel, T. & Ho, E. (2001). Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature* (410), 372-376.
- Small, S. L. (1997). Connectionist networks and language disorders. *Journal of Communication Disorders*, 27(4), 305-323.
- Snowling, M. J. (1998). Reading development and its difficulties. *Educational & Child Psychology*, 15(2), 44-58.
- Solorio, G. M. (2003). *Asignación de roles temáticos en función del uso de marcas lingüísticas: un estudio en preescolares hispanohablantes*. Tesis de Doctorado, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Stiles, J. (2000). Neural plasticity and cognitive development. *Developmental Neuropsychology*, 18(2), 237-272.
- Sutton, G., Reggia, J., Armenraut, S. & D'Auntrechy, C. (1993). Map reorganization as a competitive process. *Neural Computation*, 6, 1-13.
- Ter Keurs, M., Brown, C. M. & Hagoort, P. (2002). Lexical processing of vocabulary class in patients with Broca's aphasia: An event-related brain potential study on agrammatic comprehension. *Neuropsychologia*, 40(9), 1547-1561.
- Ter Keurs, M.; Brown, C. M., Hagoort, P. & Stegeman, D. F. (1999). Electrophysiological manifestation of open- and closed-class words in patients with Broca's aphasia with agrammatic comprehension. An event-related brain-potential study. *Brain*, 122(5), 839-854.
- Thomas, C., Altenmüller, E., Marckmann, G., Kahrs, J. & Dichgans, J. (1997). Language processing in aphasia: changes in lateralization patterns during recovery reflect cerebral plasticity in adults. *Electroencephalography and clinical neuropsychology*, 102, 86-97.
- Thompson, C. K., Shapiro, L. P., Kiran, S. & Sobecks, J. (2003). The role of syntactic complexity in treatment of sentence deficits in agrammatic aphasia: the complexity account of treatment efficacy (CATE). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 591-607.
- Tryon, W. W. (1999). A directional associative memory explanation of posttraumatic disorder. *Clinical Psychology Review*, 19(7), 789-818.
- Warburton, E., Price, C. J., Swinburn, K. & Wise, R. J. (1999). Mechanisms of recovery from aphasia: Evidence from positron emission tomography studies. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 66(2), 155-161.
- Wermter, S., Panchev, C. & Houlsby J. (1999). Language disorders in the brain: distinguishing aphasia forms with recurrent networks. *Proceedings of AAAI*99 Conference Workshop on Neuroscience and Neural Computation*, 93-98.

- Westermann, G. (1997). A constructivist neural network learns the past tense of english verbs. *Proceedings of the GALA '97 Conference on Language Acquisition*, 393-398.
- Westermann, G. & Mareschal, D. (2005) Connectionist modelling of development. En B. Hopkins, R. G. Barr, G. F. Michel. & P. Rochat (Ed.) *The Cambridge Encyclopedia of Child Development*. Cambridge, MA.: Cambridge University Press.
- Westermann, G., Willshaw, D. & Penke, M. (1999) A constructivist neural network model of german verb inflection in agrammatic aphasia. *Proceedings of the Ninth International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*, 916-921.
- Ziemann, U., Hallet, M. & Cohen, L. G. (1998). Mechanisms of deafferentation-induced plasticity in human motor cortex. *The Journal of Neuroscience*, 18(17), 7000-7007.
- Zohary, E., Celebrini, S., Britten, K. H. & Newsome, W. T. (1994, Marzo). Neuronal plasticity that underlies improvement in perceptual performance. *Science* (263), 1289-1291.
- Zorzi, M., Houghton, G. & Butterworth, B. (1998). The development of spelling-sound relationships in a model of phonological reading. *Language and Cognitive Processes*, 13(2/3), 337-371.
- Zurif, E. B. (1998). Neurological organization of some aspects of sentences comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, 27(2), 181-190.