

UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Filosofía y Humanidades
Centro de Estudios Cognitivos
Escuela de Postgrado

APLAUDIENDO CON LAS MANOS CERRADAS: MARCADORES NEURONALES DEL EFECTO DE COMPATIBILIDAD ACCIÓN-ORACIÓN

Tesis para optar al Grado de Magíster en Estudios Cognitivos

Por:

S. Pía Aravena

Director de Tesis: Guillermo Soto Co-Director Externo: Agustín Ibáñez

Santiago, Abril 2010

Dedicatoria . .	4
AGRADECIMIENTOS . .	5
1. Tabla de contenido . .	6
2. Resumen . .	7
3. Introducción al Problema de Investigación . .	8
4. Marco Teórico . .	13
4.1. Antecedentes en estudios de lenguaje y cognición . .	13
4.2. Lenguaje de acción corporeizado . .	18
4.2.1 Sistema motor y comprensión del lenguaje de acción . .	18
4.2.2 Efecto Compatibilidad acción-oración (ACE) . .	21
4.3. Técnica de Potenciales Relacionados a Eventos (ERPs) . .	24
4.3.1. N400-like . .	25
4.3.2. Potenciales Motores: MP y RAP . .	27
5. Objetivos de la Investigación . .	29
5.1. Objetivo general . .	29
5.2. Objetivos específicos . .	29
6. Marco Metodológico . .	30
6.1. Preguntas de investigación . .	30
6.2. Hipótesis de trabajo . .	30
6.3. Materiales y Métodos . .	31
6.3.1. Aspectos éticos . .	31
6.3.2. Participantes . .	31
6.3.3. Tarea . .	31
6.3.4. Estímulos . .	32
6.3.5. Medición de las respuestas . .	33
6.3.6. Procedimiento . .	33
6.3.7. Registro electroencefalográfico y pre-procesamiento de los datos . .	34
6.3.8. Procedimiento de Análisis de Datos . .	38
7. Resultados . .	40
7.1. Resultados conductuales . .	40
7.1.1 Efectos de contenido . .	40
7.1.2. ACE . .	40
7.2. Análisis de ERPs . .	41
7.2.1. Efectos relacionados al estímulo (N400-like) . .	41
7.2.2. Efectos relacionados a la respuesta (Potenciales motores) . .	42
8. Discusión . .	45
9. Conclusión . .	52
Referencias . .	53
Anexos . .	63

Dedicatoria

A Pepe y su pantano, a Juana y sus vacas.

AGRADECIMIENTOS

Primero, a la ocasión de tesis, por haberme llevado a buscar al Dr. Ibáñez.

Segundo, al Dr. Ibáñez. La sencilla inagotabilidad de razones no me permite sino abrir esta página en uno de sus nombres.

A Abufom, Feuerhake y Jaque, por la tierra que es saber que se cuenta con ustedes y por tempranamente haber dado formas a las inquietudes que me llevaron a la realización de este trabajo.

A Esteban Hurtado, por su enorme disposición y atención, y por lo inspirador que ha sido su creatividad y la fineza de su trabajo.

Al profesor Guillermo Soto por el impulso académico hacia estos horizontes.

1. Tabla de contenido

2. Resumen

Estudios conductuales han evidenciado la existencia de un efecto de compatibilidad entre la acción y la oración (ACE, del inglés *Action-Sentence Compatibility Effect*) que sugiere un acoplamiento de los mecanismos motores y la comprensión de oraciones de acción. Cuando ambos procesos son concurrentes, se espera que la oración de acción tenga un efecto de *facilitación* sobre el movimiento y, de igual manera, la acción afecte a la comprensión. El objetivo del presente estudio fue explorar los correlatos corticales de ACE, mediante la comparación de los potenciales evocados por el procesamiento semántico y la respuesta motora. Los participantes escucharon oraciones que describían acciones con la mano abierta, con la mano cerrada o ninguna acción manual. Se les pidió que presionaran un botón para indicar que comprendían la oración. A cada participante se le asignó una forma manual, cerrada o abierta, con la cual tenían que accionar el botón. Se crearon dos grupos (dependiendo de la forma manual asignada) y tres categorías (compatible, incompatible y neutra) de acuerdo a la compatibilidad entre la respuesta y la oración. Se encontró ACE en ambos grupos. Los marcadores del procesamiento semántico exhibieron un componente N400-like que distinguió entre condición compatible e incompatible, con una deflexión más negativa para la incompatible. La respuesta motora suscitó el potencial motor (MP, del inglés *Motor Potential*) y el potencial de re-aferencia (RAP, del inglés *Re-afferent Potential*), ambos más pronunciados en la condición compatible. Estos resultados proveen las primeras medidas corticales de ACE al nivel del procesamiento de oraciones y de la respuesta motora. Los efectos de N400-like sugieren que la incompatibilidad con los procesos motores interfiere en la comprensión de oraciones. La modulación de los potenciales motores reveló una facilitación multimodal de la respuesta. Ambos descubrimientos proveen evidencia neuronal de una relación bidireccional entre la oración y la acción, y de que ACE no es solo un epifenómeno del proceso post-comprensión, sino que da cuenta de una interacción cerebral lenguaje-acción genuina y en curso.

Palabras clave: ACE; N400-like; potenciales motores; comprensión de lenguaje; efectos de forma manual.

3. Introducción al Problema de Investigación

Las finas imbricaciones entre el lenguaje y la acción del cuerpo parecieran ser muy claras cuando por dichas acciones se entiende los gestos o el lenguaje emocional del cuerpo (LEC)¹ (de Gelder, 2006) utilizados durante el discurso natural. Así por ejemplo, cuando una persona, digamos Rosa, le cuenta a otra persona, Jaime, lo alto que está Juan, ella automáticamente y sin esfuerzo subirá su brazo con la mano horizontal al suelo en un gesto que significa que algo tiene mucha altura. Ahora bien, si Rosa hiciera un gesto contrario (Ej. Bajar el brazo hasta casi llegar al suelo) durante la misma oración, el significado total de la situación sería incongruente, y Jaime no comprendería que Juan está alto, sino probablemente lo contrario, e incluso que Rosa está siendo irónica. Pareciera ser que el cerebro acopla los procesos motores y semánticos para dar un sentido específico a toda la situación comunicativa. Por eso, decir que sí moviendo la cabeza “diciendo” que no, resulta difícil (al menos inicialmente), puesto que la incongruencia entre la información corporal y la información lingüística genera una interferencia. Sin embargo, este tipo de interacciones, a simple vista, no parece muy novedoso, probablemente debido a que ambos, el “sí” lingüístico y el “no” gestual, están en el nivel propiamente semiológico. Pero, ¿quiere esto decir que cuando la gestualidad o LEC no están presentes en el discurso se acaba la relación lenguaje-cuerpo?

Imaginemos que hay una banda de música, cuyo bajista además de tocar el bajo, hace los coros. Supongamos también que la banda toca una canción en la que el coro dice “uno, dos, tres, cuatro” y que justo en esta parte del tema, el bajista debe tocar una secuencia en la que el conteo de “uno, dos, tres, cuatro” se distribuye solo entre dos notas (re, re, la, la/uno, uno, dos, dos). Inevitablemente, lo que le sucede a nuestro bajista ante esta incongruencia es que tiende a cambiar de nota siguiendo sus propias palabras (y por eso a veces no se escucha coro alguno en esta parte). En este caso, no hay una relación uno a uno entre el cuerpo y el lenguaje (desde el punto de vista semiológico), y más bien lo que parece haber es una interacción entre un proceso motor en curso y un proceso lingüístico en curso, y entre ellos una interferencia, acaso debida a su desacuerdo. ¿Qué es lo que comparten ambos procesos? ¿Son ambos parte de un proceso más general de construcción de significado?

En trabajos teóricos previos, hemos argumentado a favor de un estudio más contextual del lenguaje y los procesos motores en neurociencias (Aravena, 2008; Barutta, Aravena & Ibañez, 2010; Marmolejo-Ramos et al., In preparation). A su vez, en trabajos empíricos en el campo de la neurociencia cognitiva (Aravena et al., 2010; Submitted; Cardona et al., 2010; Ibañez, Riveros & Aravena et al., 2010) hemos estudiado los efectos contextuales y motores en el lenguaje. La integración de modelos teóricos con diseños experimentales ha motivado el desarrollo de la presente tesis.

Diversos estudios tanto neurofisiológicos como conductuales (para revisiones, ver Glenberg, 2007; Pulvermüller, 2008) han demostrado que existe un sistemático involucramiento del sistema motor en el procesamiento del lenguaje. Esto ocurre de manera

¹ Emotional body language (de Gelder, 2006) son las posturas o acciones corporales que comunican acerca el estado emocional del que las adopta.

tal que cuando se comprende lenguaje de acción², inmediatamente se activan procesos motores. Así por ejemplo, se asume que cuando una palabra de acción como *patear*, que hace referencia a una actividad que se lleva a cabo con la pierna, al ser escuchada o leída activa un proceso motor específico de la pierna en el cerebro. Esta activación ocurre poco después de la presentación del estímulo, es decir, de manera automática³ (lo que explica el problema de nuestro bajista).

¿Cómo se produce neuronalmente este acoplamiento automático?, ¿un movimiento del cuerpo podrá ser modulado por el hecho de comprender una oración? y ¿un plan motor interferirá la comprensión lingüística?

Estas cuestiones han sido abarcadas parcialmente desde diversas perspectivas y técnicas de estudio (que revisaremos más detalladamente en apartados siguientes), que plantean que el procesamiento del lenguaje de acción no solo activa áreas motoras, sino que también puede “intervenirlas” afectando el planeamiento y la ejecución de las acciones. Se ha postulado la existencia de un *priming* semántico-motor (Tseng & Bergen, 2005), esto es, que la comprensión de verbos de acción facilitaría la realización de las mismas acciones denotadas. Los estudios sobre facilitación e interferencia motora durante la comprensión de oraciones miden el desempeño manual durante la escucha de lenguaje de acción que implica la utilización de las manos de manera compatible o incompatible (Ej., Borghi et al., 2004; Borreggine & Kaschak, 2006; De Vega, In press; Glenberg et al., 2008b; Havas et al., 2007; Kaschak et al., 2005; Tseng & Bergen, 2005; Wheeler & Bergen, In press; Zwaan & Taylor, 2006). Este paradigma, diseñado por Glenberg & Kashack (2002) tiene un nombre que en sí mismo describe el fenómeno resultante, *Action-Sentence Compatibility Effect* (ACE, en español Efecto de Compatibilidad entre Acción-Oración). Este paradigma sugiere que la comprensión de lenguaje tiene un efecto en la acción motora “directa”. Cuando la información de la comprensión no es compatible con la acción a efectuar o cuando es contraria a ella, el tiempo de reacción es más lento que cuando se trata de información compatible. Y cuando es compatible se facilita la acción (si nuestro bajista hubiera tenido que cantar “uno, uno, dos, dos” se le hubiera simplificado la tarea).

Si consideramos, entonces, que la comprensión de lenguaje de acción reactiva procesos motores, a tal punto que si se trata de los que están siendo utilizados para un movimiento determinado, puede interferir o facilitar este movimiento ¿los aspectos sutiles de los movimientos implicados en dichas acciones (como la forma manual que se usa en la ejecución de una acción) también implicarían interacciones semántico-motoras en el cerebro? Una respuesta positiva tendría alcances importantes para dilucidar el grado de especificidad de la interacción. Esta otorgaría respaldo a la idea de que la relación entre el lenguaje y la acción es propiamente semántica, en tanto los recursos compartidos utilizarían los mismos mecanismos de sub-categorización.⁴ Dicha idea se enmarca en el

² El lenguaje de acción en este estudio se entenderá por todas aquellas expresiones lingüísticas que impliquen acciones del cuerpo. Así por ejemplo, un verbo como “patalear” es un verbo de acción y una oración como “El espectáculo era digno de alabanza, Rocío aplaudió” es una oración de acción (ver sección de Materiales y métodos para aclaración sobre el término “oración” utilizado en este estudio para este tipo de enunciado).

³ Boulenger et al. (2006) reportaron que verbos de acción presentados subliminalmente durante la preparación para la acción de alcanzar algo afectaban el subsecuente movimiento, es decir, los procesos motores fueron modulados por procesos lingüísticos, a pesar de que las palabras no fueran conscientemente percibidas.

⁴ Un ejemplo muy básico de esto es que se puede hacer una categorización de verbos que implican acciones con las manos y verbos que implican acciones con los pies. Luego, dentro de la categoría de los verbos que implican acciones con las manos, una sub-categorización de verbos que implican acciones con la mano cerrada y verbos que implican acciones con la mano abierta. Esta

supuesto de que la comprensión y la significación parecen corresponder a un proceso cognitivo general, que no solo se encuentran en las bases del lenguaje, sino también, en la acción del cuerpo (Cornejo, Ibáñez & López, 2007; Davidson, 2001; Diamond et al., 2008; Diriwächter, 2004; Groeben & Scheele, 2000; Ibañez et al., 2010; Ibañez, Gleichgerrcht & Manes, 2010; Jeannerod, 2001; Koelsch, 2009; Wu & Coulson, 2005). Así, los recursos cerebrales relacionados con la acción corporal, incluso en niveles sutiles de la acción, deberían activarse durante la comprensión. Luego ahondaremos en estos asuntos.

Los recientes hallazgos en la relación entre el lenguaje y la acción han sugerido, tal vez apresuradamente, que el sistema motor jugaría un papel imprescindible en la comprensión del lenguaje. Que el lenguaje de acción “se funda” en el sistema motor es un argumento que se ha utilizado para crear diversas y radicales teorías motoras del lenguaje⁵ (Richardson et al., 2003; Glenberg & Kaschak, 2002; Zwaan, Stanfield, & Yaxley, 2002; Gallese & Lakoff, 2005; Bergen et al., 2007). Parece conveniente, si es que se quiere indagar en la relación bidireccional entre los procesos motores y del lenguaje, realizar estudios más precisos que permitan abordar los efectos bidireccionales entre el lenguaje y el sistema motor.

Por otra parte, las explicaciones situadas *entre* niveles de descripción cerebrales y psicológicos a menudo ha carecido de corpus meta-teóricos relativamente integrados (Barutta, Aravena & Ibáñez, 2010). Es por ello que la interpretación de los resultados acerca de las relaciones próximas entre lenguaje y acción a nivel conductual y neuronal motiva la confrontación de posturas teóricas acerca del rol que tiene el sistema motor en el lenguaje. Más específicamente, en la labor investigativa actual en relación con esta temática todavía se discute acerca de la implicación necesaria y suficiente de los sistemas motores en la comprensión de lenguaje, en lugar de dar cuenta de su co-operación o de describir con precisión la implicación bidireccional entre ambos procesos. Otro de los problemas presentes en la mayoría de estos trabajos es la sistemática oposición a viejos paradigmas de la lingüística y la cognición largamente criticados, en desmedro de la posibilidad de mayor discusión de la investigación más reciente. A saber, se critica el carácter abstracto de la representación conceptual, el significado como resultado de relaciones entre nodos, y en fin, la comprensión de los procesos cognitivos como sistemas de símbolos que usan representaciones abstractas y amodales manipuladas por reglas arbitrarias (Burguess & Lund, 1997; Chomsky, 1980; Fodor, 2000; Kintsch, 1988; Pinker, 1994). Si bien no se trata de asuntos completamente zanjados, sí resulta al menos deslucido hacer investigación para seguir únicamente discutiéndolos, descuidando todas las nuevas preguntas que han ido surgiendo en las últimas décadas. Mientras que nuevos paradigmas de investigación podrían ayudar a agudizar dichas preguntas sobre la naturaleza del lenguaje, parece ser que se los emplea para dar respaldo “empírico” a las posiciones teóricas afincadas en el nuevo extremo (anti-modular, anti-formalista; corporeizado, semanticista, etc.). A nuestro entender, la investigación científica debiera adaptarse a que la realidad ofrezca patrones mixtos menos perfilados de lo que reclaman los supuestos teóricos tradicionales en sus versiones más puristas.

En este sentido, más allá de aceptar o rechazar hipótesis (nuevas o viejas), proponemos una forma más balanceada de concebir las bases cerebrales del lenguaje y la cognición; considerarlas como una interacción entre múltiples áreas cognitivas. Las redes neurales a gran escala se encuentran formadas dinámicamente, incorporando las diversas

subcategorización puede seguir haciéndose hasta llegar a niveles muy sutiles. Lo interesante es que cada subcategoría tiene su correspondencia en la motricidad de las acciones diferenciadas en planes motores distintos a nivel cerebral.

⁵ Así por ejemplo, Gallese and Lakoff (2005) escriben: “The semantics of grammar is constituted by cogs—structuring circuits used in the sensory motor system”.

partes de la corteza que para cada tarea específica co-operan bajo distintas combinaciones (Fuster, 2003; Mesulam, 1990, 1998; Nachev, Kennard & Husain, 2008; *Toni et al., 2008*). El cerebro captura estados durante la percepción, la acción y la interocepción y reinstancia parte de estos estados como conocimiento cuando son necesitados (Ibañez, Gleichgerrcht & Manes, 2010; Niedenthal et al., 2005).

A nuestro saber, no existe hasta ahora un estudio que dé cuenta de la interacción bidireccional semántico-motora a nivel oracional, que reúna en un único perfil el aspecto conductual y el neuronal y que dé cuenta, además, de un aspecto sutil de la acción implicada por la oración y el movimiento. Es por ello, que para abordar estas temáticas, hemos diseñado un experimento cuyas características sirvieran para explorar el fenómeno integralmente. Se escogió la técnica de los potenciales evocados (ERPs⁶), pues se trata de un método muy agudo para la medición de la dinámica temporal de la corteza cerebral tanto en el procesamiento de los estímulos (lingüísticos) como de las respuestas (motoras).

El experimento de esta tesis consistió básicamente en hacerles escuchar listas de oraciones a los participantes, cada una describiendo bien una acción realizada con la mano abierta, bien una con la mano cerrada, o bien acciones que no se realizaban con las manos (Aravena et al., 2010; Submitted; ver también Cardona et al., 2010). A cada sujeto se le pidió presionar un botón para indicar el momento exacto en que comprendían la oración. Esto debían realizarlo con la mano abierta o cerrada, dependiendo del grupo al que fueron asignados inicialmente. Se consideraron dos grupos (dependiendo de la forma de la mano que les fue asignada – Mano Abierta/Mano Cerrada) y tres categorías (compatible, incompatible y neutral) según la compatibilidad entre la respuesta y la oración (ver apartado 6.3 Materiales y Métodos).

Si (a) el contenido semántico es compartido por el proceso motor automático y por el conocimiento lingüístico, cuando ambos procesos (motor y lingüístico) ocurran simultáneamente, los recursos neuronales comunes deberían co-operar, y es esperable que el lenguaje facilite (cuando es compatible), el movimiento. Por otra parte, si (b) el sistema motor es parte del proceso de comprensión, es posible que previamente a la respuesta, esto es, durante el procesamiento del estímulo lingüístico exista una interacción entre ambos procesos, manifestados, por ejemplo, en una incongruencia semántica en la condición de incompatibilidad. Como hemos revisado, hasta aquí sucintamente, el primero de los puntos (a) se ha estudiado conductualmente y por lo tanto, el presente experimento se propone corroborar el ACE proporcionando sus marcadores neuronales. El segundo punto (b), a nuestro saber, no ha sido investigado previamente, por lo cual resulta particularmente relevante, en tanto nos proponemos estudiar el fenómeno de la interacción bidireccionalmente.

En este experimento serán investigados tres componentes de ERP: uno para el procesamiento del estímulo lingüístico en relación con la subsecuente acción manual y dos asociados a la respuesta motora influida por la comprensión de la oración.

En primer lugar, asociado al procesamiento del estímulo, se espera obtener un componente llamado N400 (al que nos referiremos largamente en apartados siguientes) en el caso de incompatibilidad. Dicho componente corresponde a una amplia desviación negativa en el ERP que ocurre aproximadamente 400 ms después de la presentación del estímulo. Normalmente, el componente N400 tiene una mayor amplitud cuando un estímulo es difícil de integrar al contexto semántico previo (Kutas & Federmeier, 2000). Dado que

⁶ Por sus iniciales en inglés: event related potential. Los ERPs son una medida directa de la actividad cerebral eléctrica asociada a una tarea.

en este experimento uno de los elementos de la integración es una respuesta motora, esperamos encontrar una modulación similar a N400, pero no idéntica (N400-Like), pues no se trata de integración semántica solo a nivel lingüístico. Como veremos, se ha demostrado que el efecto N400-Like no se restringe solo a los estímulos lingüísticos. Si esto es cierto y si es el caso que el proceso motor afecta la comprensión lingüística, el componente N400-Like debería reflejar una mayor amplitud para las oraciones que son incompatibles con la acción.

En segundo lugar, asociados a la respuesta motora, esperamos obtener el potencial motor (MP) y el potencial de re-aferencia (RAP). El primer componente corresponde a una medida negativa sobre Cz, la cual comienza poco antes de la respuesta (-90 ms) (MP; Hatta et al., 2009; Late MRP; Deecke, 1987; Smith & Staines, 2006). Este componente, según ha sido reportado, representa, en la ejecución motora, la actividad de las neuronas piramidales en la corteza motora primaria (M1). La modulación de la amplitud de MP ha sido asociada a la rapidez y la precisión del movimiento (Slobounov et al., 2002; Hatta et al., 2009). Por ello, cabe esperar mayores amplitudes de MP para la condición compatible, en la medida en que estas debieran reflejar que los contenidos de las oraciones facilitan la precisión y rapidez de la acción compatible.

El segundo componente que observaremos corresponde a un pick sobre Cz y ocurre después del movimiento inicial (200-300 ms). El RAP ha demostrado ser un índice de retroalimentación sensorial relacionada al movimiento, con la corteza sensorio-motora primaria (Deecke, 1987) y ha sido considerado como un indicador de atención (Smith & Staines, 2006). De esta manera, se espera un pick de RAP más alto para la condición compatible, en tanto habría una facilitación de la atención *bottom-up* hacia la información relevante que optimizaría la realización del movimiento.

Antes de exponer con detalle el experimento y sus resultados, es conveniente considerar el marco de investigación en el que se encuadra, con el fin de esclarecer cuáles son las preguntas teóricas y metodológicas sobre las que se erige la motivación para explorar de esta manera específica la relación entre el lenguaje y la acción. Para ello se hará una breve contextualización que hace de cultivo de la problemática aquí tratada, y un desarrollo de los principales temas que se integran en ella.

4. Marco Teórico

4.1. Antecedentes en estudios de lenguaje y cognición

En esta sección se realizará una síntesis de las temáticas tratadas en el presente estudio. Si bien está presentada de manera histórica, dicha síntesis no pretende ser una revisión general del marco de estudio de la comprensión del lenguaje, sino más bien una manera de contextualizar y destacar algunas ideas y tópicos que han sido de relevancia para la gestación de los postulados de esta tesis.

En los últimos 30 años del siglo XX, la lingüística ha venido enfocando su objeto de estudio desde perspectivas que podrían ser clasificadas en dos grandes y acaso contrapuestas, corrientes, a saber, el formalismo y el funcionalismo⁷. Además de los modelos de estudio y las pretensiones de cada uno de estos enfoques, una de sus principales diferencias es la noción de lenguaje que utilizan. A grandes rasgos, la primera de estas direcciones lo concibe como forma de conocimiento, y la segunda como forma de comunicación (Soto, 2001). En cierto sentido, ambas constituyen un progreso respecto del estructuralismo tradicional, precisamente en cuanto a la definición del objeto de estudio, ya que se supera la idea de un lenguaje con existencia independiente en el ámbito “platónico” de la convención y se vislumbra la posibilidad más ecológica de insertarlo en el sujeto y su discurso, y en el mundo. No obstante este contraste, el lenguaje aparece a nuestra apreciación tanto como conocimiento cuanto como comunicación, por lo que puede resultar extraña la separación. Es por ello que una tercera corriente se ha constituido en el último tiempo, fruto de los avances y crisis de las dos perspectivas, para, en cierta medida, conciliarlas: la lingüística cognitiva. Lo que fundamenta de manera más básica esta aproximación es, por un lado, la consideración del lenguaje como facultad cognitiva y, a su vez, de las funciones que operan en él y las que él tiene en el discurso.

En primer lugar, fue el formalismo, pero más específicamente los trabajos de Noam Chomsky (1965) los que iniciaron el enfoque del lenguaje como facultad cognitiva⁸. Este enfoque permitió que posteriormente la lingüística mirara en las relaciones con aspectos que no podían quedar fuera del estudio del lenguaje, como son la memoria, la percepción, la acción y el aprendizaje. Luego, el funcionalismo potenció la inter y multidisciplinariedad entre la lingüística y otros campos de estudios humanos y sociales, en tanto en dicho enfoque se considera que las funciones comunicativas, pragmáticas y discursivas conducen el proceso de estructuración del lenguaje. De esta forma, las relaciones entre lenguaje, cultura y sociedad se vuelven fundamentales.

⁷ Es importante destacar que el Funcionalismo en lingüística es una corriente particular en el estudio del lenguaje y no una versión del Funcionalismo filosófico ni del Funcionalismo computacional. En breve, es el estudio del lenguaje considerando como fundamentales las funciones que intervienen en él.

⁸ Esta es la hipótesis más “psicologista” de Chomsky (la del 65, en “Aspectos de la teoría de la sintaxis”), que es donde aparece la famosa frase (que de hecho citaremos más adelante) acerca de que el objeto de la gramática es el conocimiento de la lengua que tiene un hablante oyente ideal que pertenece a una comunidad perfectamente homogénea, y que se suele citar, malentendiéndolo, para decir que los generativistas negaban la variación, lectura muy tergiversadora, pues lo que se pretendía era la idealización científica con el fin de hacer abarcable al objeto.

Junto con el desarrollo de estos aspectos en la lingüística, otro propulsor del estudio cognitivista del lenguaje fue el surgimiento de la ciencia cognitiva.

Durante la primera mitad del siglo XX la psicología era eminentemente conductista, perspectiva desde la cual cualquier noción que apelara a dimensiones no observables empíricamente, a saber; *espíritu*, *conciencia* y, por su puesto, *mente*, quedaba proscrita⁹. En este sentido, la psicología no podía dar cuenta de la complejidad del lenguaje como fenómeno cognitivo (Bechtel & Graham, 1998), de manera que, por ejemplo, para explicar la adquisición del lenguaje, en tanto se postulaba que el conocimiento se basa en la experiencia, se habría tenido que apelar a que los niños aprenden la gramática de su lengua únicamente aplicando principios inductivos a los datos de habla de su entorno.

Desde la década de 1960 el intento por abordar el tema de la conducta inteligente se extendió entre diversas disciplinas (y sus recientes avances), entre ellas la ciencia de la computación, lo que derivó en la elaboración de una herramienta metodológica que hizo posible volver a hablar de *mente* en términos científicos. Esta herramienta consistió en plantear una equivalencia funcional entre la mente y un computador, supuesto teórico a partir del cual era posible elaborar hipótesis más fiables sobre el funcionamiento de la mente. Además, se pensó que las neuronas eran procesadores de información discreta, tal como las funciones de un computador operan con valores binarios (bits) y todo parecía indicar que el cerebro era una máquina digital. Gracias a los trabajos de Turing, se evidenció que cualquier función formalizable podía ser procesada por una máquina sin intervención de un agente externo. En base a ello, el modelo de procesamiento de símbolos de la cognición asumió la idea de que dicha máquina podía ser programada de tal forma que fuera capaz de exhibir inteligencia (Hutchins, 1995). Del mismo modo, iba a poder capturarse la cognición humana, dado que era un sistema inteligente, tal como lo sugería la ley de estructura cualitativa de Newell y Simon: “un sistema de símbolos físicos cuenta con los medios necesarios y suficientes para realizar actos de inteligencia general” (Newell & Simon, 1976, p. 87).

En lo que respecta al lenguaje, esta metáfora se instaló en la base de los postulados de la lingüística de entonces. Así, para continuar con el ejemplo de la adquisición del lenguaje, si un mecanismo de base común sometido a instrucciones diferentes genera salidas distintas, entonces la capacidad de lenguaje expresada genéticamente sería análoga a este mecanismo que al recibir estimulación externa variada (una lengua particular), posibilita el uso del lenguaje mediante diversas salidas. La lingüística formalista concuerda además con este primer movimiento de la ciencia cognitiva en que metodológicamente hay que tratar con independencia el uso y el conocimiento. En los estudios de la cognición, esta distinción apela al principio del individualismo metodológico. Este principio establece que el sostén material del que depende la cognición es el cerebro y, que entre los múltiples factores que, de hecho, podrían incidir en que los seres humanos sean capaces de resolver problemas, solo interesarán, en la modelación de dicha conducta, aquellos aspectos que puedan ser circunscritos al dominio del cerebro, aun cuando lo que se modele tenga una legalidad independiente de la que rige en el cerebro mismo¹⁰. Esto, bajo la idea de que el intento de integrar *todas* las variables que podrían incidir en la cognición como sistema sostenido físicamente por el cerebro consistiría en un análisis sin límite alguno: se podrían integrar las

⁹ En el conductismo extremo de la lingüística no se toleraba ningún tipo de abstracción, por lo que no se podía hacer uso de las unidades del estructuralismo, como morfema o fonema, en tanto no constituían hechos comprobables.

¹⁰ En el cerebro mismo en cuanto objeto material; lo relevante es, así, la organización *funcional* a que da lugar cierta disposición material.

condiciones de luminosidad, la temperatura, lo que ha bebido el sujeto, el perro que acaba de ser parte de su campo visual, etc.

De esta manera, la mente se concibe como una potestad de modelos aislados del cuerpo y el entorno; una especie de *locus* interno de representaciones y procesos, de la que resulta un agente cuya relación con el mundo es fundamentalmente representacional, con ocasionales interacciones periféricas a través de la percepción y la acción¹¹. Además, la conducta se explica utilizando únicamente los recursos computacionales: reglas, algoritmos, procesamientos. Constituyéndose así una negación del cuerpo como fuente válida de conocimiento; se supone que el *conocer cómo* se explica en términos del *conocer qué*. El computacionalismo de la primera ciencia cognitiva, al adherir al cartesianismo en este respecto, tiene la obligación de desconectar la forma de los símbolos de su significado. En resumidas cuentas, la idea de la mente como sistema formal implica que habría un mundo de fenómenos que constituiría la información entrante en forma secuencial. A su vez, esta información se codifica mediante símbolos que son manipulados únicamente por su forma física, y las relaciones entre ellos están regidas por reglas de transformación. Así, la mente, en tanto computador, es sensible solo a las propiedades sintácticas de los símbolos, y es en virtud de ellas que tienen resultados. (Hutchins, 1995).

En lingüística, la manifestación de esta metodología se traduce en la controversial tesis de la autonomía de la sintaxis y de la gramática, esto es, la separación del conocimiento gramatical con respecto a otros factores, en especial de los fines sociales y comunicativos asociados al lenguaje. Así, la lingüística debiera ocuparse del conocimiento lingüístico de un hablante ideal en una comunidad lingüística homogénea sin la interferencia de factores externos que puedan incidir en su uso de la lengua (Chomsky, 1965). Esta idealización y su expresión en la dicotomía competencia/actuación, se entiende como una estrategia de división del problema científico que, tal como la ciencia cognitiva al tachar de la lista de problemas relevantes al perro que pasa por los ojos de su agente, permite enfrentarse a un objeto de estudio más manejable.

Inevitablemente, tanto en ciencias cognitivas (Ej. Anderson, 2003; Clark, 1997; Haugeland, 1995; Hutchins, 1995; Ibáñez, 2007a, 2007b, 2008; Tschacher & Dauwalder, 2003; Varela et al., 1991) como en lingüística (Ej. Croft, 2000; Dik, 1978; Givón, 1979; Halliday, 1985), las limitaciones de este principio metodológico recibieron severas críticas que terminaron por crear escuelas alternativas (Barutta, Aravena & Ibáñez, 2010).

En el caso de las respuestas a los supuestos del formalismo lingüístico, uno de los focos fue el rechazo de la pertinencia de hacer distinciones del tipo “competencia/actuación”. La crítica apuntaba a la vaguedad en la caracterización de estas nociones, puesto que no tendría sentido disociar el conocimiento gramatical de su uso, en tanto la motivación de la existencia misma de ese conocimiento está en el uso que de él se deriva. De esta manera, la corriente de la oposición, el funcionalismo, establece una especial consideración por el hecho de que muchos de los cambios que se producen en el sistema son motivados por el uso en la comunidad lingüística, con lo que la hipótesis de la autonomía, en sus dos versiones, no resultaba aceptable. Tal como explica Noonan (1998), para el funcionalismo es inadmisibles la utilización de categorías discretas. Esto, en primer lugar, por la evidencia psicológica de que las personas categorizan los objetos de su experiencia no en términos de categorías discretas, sino más bien de categorías de semejanza familiar, de prototipos,

¹¹ Las representaciones que el sujeto hace del mundo son independientes de este; es decir, por más que “interactúe” con el medio, el sujeto decide, planifica, en definitiva piensa, sin tener acceso *directo* al mundo, pues se conduce sobre la base de sus representaciones y símbolos internos. (Como si en vez de pedalear en bicicleta –intervenir en los pedales- jugáramos un juego de bicicletas en un juego de video –diéramos órdenes en el joystick-).

etc. Segundo, dado el carácter continuo no diferenciado de la realidad (el habla, el contexto físico y situacional, la variación, la intención comunicativa, etc.) que sustenta la investigación en gramaticalización, universales lingüísticos y los estudios sociohistóricos, no es pertinente usar categorías discretas.

A su vez, en ciencias cognitivas existe una larga tradición de críticas a la influencia de la metáfora del computador que ha derivado en una abundancia de paradigmas opuestos al principio del individualismo metodológico, tales como la cognición situada (Ej., Brighthon et al., 2003; Clark, 1997); la cognición corporeizada, (Ej., Anderson, 2003; Haugeland, 1995); la enacción (Ej., Varela et al., 1991, Thompson & Varela, 2001); la mente extendida (Ej., Clark & Chalmers, 1998; Clark 2001) ; la cognición distribuida (Ej., Cole & Engeström, 1991; Hutchins, 1995), las aproximaciones dinámicas de la cognición (Ej., Ibáñez, 2007a, 2007b, 2008; Tschacher & Dauwalder, 2003). Tal como muestran estas corrientes alternativas, la crisis de la ciencia cognitiva computacionalista tuvo su eje en la reconcepción del agente humano y de la *mente*. La atención se expande al contexto biológico y cultural, demostrándose hechos muy básicos que no podían si no generar grandes cambios conceptivos, como por ejemplo, que las rutinas inteligentes con alto grado de control sensorio-motor o en las que la organización de la tarea exige respuesta a las variaciones en tiempo real, implican una plena sensibilidad a las condiciones de la situación. De esta manera, se concebirá al agente como esencialmente embebido en el mundo y sobrellevando hábilmente la condición cambiante de éste y se concebirá a la *mente*, por tanto, en continuo lazo con las posibilidades corporales, ambientales y sociales.

De forma semejante a lo que sucedía en lingüística con las incompatibilidades metodológicas entre formalismo y funcionalismo, la integración de la cognición con la cultura, la historia, el contexto, la acción y las emociones resultaba también imposible mientras nos mantuviésemos en el marco computacionalista, porque, como se señaló más arriba, la hipótesis central de los modelos clásicos separa estos ámbitos por definición. La historia, el contexto y la cultura a lo sumo pueden considerarse *add-ons* del sistema, pero no partes integrales del proceso cognitivo, porque están fuera de los dominios de lo que se considera como sistema cognitivo (Hutchins, 1995).

La integración de las nuevas propuestas en ciencias cognitivas, críticas del paradigma computacionalista y que resaltan la “organicidad” de los fenómenos psicológicos, con la apertura del estudio del lenguaje como una facultad no separada de los demás procesos cognitivos, da lugar a una proliferación enorme de nuevas y productivas relaciones interdisciplinarias, además de importantes hallazgos integracionistas. Un ejemplo claro es la explosión de una gran cantidad de estudios fructíferos en neurociencia de fenómenos lingüísticos particulares.

La historia de la neurolingüística ofrece ejemplos interesantes desde muy temprana data. En el siglo XIX fueron publicados dos estudios en afasiología que representaron un momento decisivo para la investigación de las relaciones entre el cerebro y el lenguaje; los descubrimientos de Broca 1861 y Wernicke 1874. Estos dos estudios inspiraron la idea de que el área de Broca (esto es, el giro frontal interior izquierdo) y el área de Wernicke (esto es, la parte posterior del giro temporal superior/medial) estaban involucradas en la producción y la comprensión de lenguaje, respectivamente (Geschwind, 1970)¹².

En las postrimerías del siglo XX, debido al desarrollo de técnicas de neuroimagen (Ej. aquellas que relacionan la distribución del flujo sanguíneo cerebral con tareas específicas, esto es, *Tomografía por emisión de positrones -PET-* e *imagen por resonancia magnética*

¹² Hoy en día esta concepción ha sido ampliamente reconsiderada.

funcional -fMRI-), se ha podido estudiar la actividad cerebral específicamente asociada a procesamiento lingüístico. En particular, se confirmó que las áreas de Broca y de Wernicke, eran, efectivamente responsables de procesos lingüísticos, aunque no severamente disociadas en el tipo de función, como se había pensado. Así por ejemplo, se demostró que ambas tienen relevancia en diversos subprocesos en la comprensión de lenguaje (procesamiento de lexemas y de oraciones) y fue aclarado que tanto Broca como Wernicke estaban a su vez funcionalmente divididas en distintas sub-regiones (Newman et al. 2003). Posteriormente, los avances de la neuroimagen en el estudio del lenguaje han sugerido que (a) las bases neurales de la comprensión se traslapan con muchas otras regiones cerebrales, incluyendo las áreas de Broca y Wernicke, y (b) las áreas especializadas para el lenguaje son además centros de reprocesamiento de otras funciones cognitivas, tales como la memoria de trabajo, la memoria a largo plazo o la comprensión de la acción y la emoción. De esta manera, la activación cerebral durante tareas lingüísticas no se concentra en áreas específicas, sino que se distribuye funcionalmente en diversas áreas de la corteza, de forma tal que distintas regiones, e incluso ambos hemisferios, interactúan de manera interdependiente (Bookheimer, 2002). Esto sugiere que el lenguaje no es un módulo específico, sino que se sustenta en sistemas neuronales interconectados que sirven también para otras funciones (Plunkett et al., 1997).

Como vemos, una vez que se empieza a poner la mirada en las bases neurológicas y cognitivas del lenguaje surge la impresión de que su funcionamiento difícilmente podría ser explicado de manera computacional, y parece necesario echar mano de ideas interaccionistas, experiencialistas e incluso estocásticas. Es por ello que una de las ciencias que contribuyó decisivamente a la apertura de las ciencias cognitivas al estudio no solo del lenguaje sino de diferentes dominios, es la neurociencia.

Si bien es cierto que la dialogicidad con ciencias más empíricas en el estudio del lenguaje ha sido muy fructífera, la ilusión de que proveería algunas demarcaciones en cuanto a la evaluación de teorías y modelos de la lingüística ha sido descartada. Es necesario destacar que el resultado más evidente de la interdisciplinariedad no es precisamente la delimitación, sino más bien la apertura a nuevas discusiones y la severa complejización del objeto de estudio.

En virtud de estas nuevas proposiciones, la lingüística ha experimentado cambios que se orientan hacia nuevos enigmas, de los cuales destacan en la investigación del último tiempo el intento por comprender la dimensión semántica de los procesos cognitivos.

Ante la apertura, el lenguaje se presenta permeable a los principios de la cognición en general. De esta manera, si los nuevos enfoques sugieren que los procesos cognitivos interactúan con los procesos sensorio-motores y con nuestras experiencias, estas características potencialmente se aplican también al lenguaje. Precisamente, según la lingüística cognitiva, los procesos cognitivos comparten habilidades y estructuras (Cuenca y Hilferty, 1999). Ello constituye una de las ideas centrales de este enfoque; a saber, que el procesamiento del significado de una oración implica la activación de esferas de conocimiento acerca del mundo, es decir, uno o más dominios cognitivos. De esta manera, la construcción de significado como un proceso dinámico, sería un proceso corporeizado y situado, es decir, parte de una cognición situada en un cuerpo y un mundo. Esto es planteado por la lingüística cognitiva bajo la hipótesis de que la experiencia significativa está moldeada por la percepción y la acción, no por su correspondencia descriptiva con el mundo. Así planteado, este enfoque no trata de establecer equivalencias entre unidades simbólicas y el mundo real, sino que trata de explorar cómo los procesos sensorio-motores determinan el significado. El hecho de que a través del cuerpo nos relacionamos con el

entorno, pareciera indicar, bajo esta última perspectiva, que la manera en la que se percibe y la forma en que se experimenta el mundo es significativa en general para el ser humano, en particular, para el modo en que construye significado lingüístico. Más aún, parece que el proceso de significación es un todo complejo que está conectado e integrado a todo lo que le sea potencialmente “útil” para ser llevado a cabo. Esto último puede sugerirse bajo la idea de que la significación parece corresponder a un proceso cognitivo general, de manera que lo encontramos tanto en las bases del lenguaje como en la acción del cuerpo. El lenguaje es uno más de los procesos que son parte de la construcción del significado, pues las expresiones no significan por ellas mismas sino que desencadenan una comprensión que explota muchos otros recursos e implica muchas otras variables.

En este panorama, como tierra fértil de investigación, se vuelve necesario cuestionar y explorar la extensión y especificidad de las relaciones entre dominios cognitivos particulares, en este caso, con el fin de determinar cómo co-operan ciertos mecanismos específicos de la cognición en el proceso de la comprensión.

La relación del cuerpo y el lenguaje aparece entonces como un objeto a estudiar en el marco de un proceso integrativo de construcción de significado. Veremos a continuación cómo ha sido abordada esta temática en el marco de la investigación en neurociencia y la psicología cognitiva experimental.

4.2. Lenguaje de acción corporeizado

4.2.1 Sistema motor y comprensión del lenguaje de acción

En el campo de los estudios neurocognitivos y psico-conductuales del lenguaje, uno de los planteamientos más explotados en el último tiempo es la idea de que la comprensión del lenguaje de acción, entendida como un proceso dinámico de construcción de significado, es corporeizada. La idea básica es que cuando se comprende el lenguaje de acción se activan áreas neuronales específicas de procesamiento motor. Ello sugiere que cuando entendemos una palabra como *saltar*, el proceso del cerebro que se usa es semejante al que se activa cuando en realidad saltamos.

La tradición de estudios neurofisiológicos que se encuentra a la base de teorías sensorio-motoras del lenguaje proviene del estudio acerca del conocimiento conceptual y de la disociación neuronal que existe para diferentes tipos de conceptos. Uno de los primeros estudios en esta área fue el de Warrington y Shallice (1984), quienes reportaron que los atributos sensoriales fueron las características relevantes que consideraron los participantes del estudio para la identificación de animales o frutas. Mientras que los atributos funcionales (motores) fueron más relevantes que las características perceptuales para la identificación de herramientas. Este tipo de hallazgo significó la proliferación de una teoría *sensorio-motora* de la semántica de los objetos, sugiriéndose que las propiedades perceptuales y motoras determinan la semántica de los objetos en el cerebro.

Un nuevo estudio de las autoras citadas anteriormente demostró que esta diferencia no se encuentra presente solo entre las categorías (objetos orgánicos y herramientas), sino que también dentro de ellas, por ejemplo, la contribución específica del sistema motor dentro de la categoría de artefactos. Así, las pequeñas herramientas manipulables que podemos asociar con un repertorio de movimientos de habilidad (Ej. un martillo lo

asociamos con una forma de mover el brazo y la mano para utilizarlo normalmente en la acción de martillar) recaían más fuertemente en el sistema motor que lo que lo hacían artefactos grandes como un avión (McCarthy & Warrington, 1990; para revisiones ver Martin & Caramazza, 2003; Martin, 2007).

La subcategorización semántica dentro de las categorías conceptuales (como la categoría “herramientas manipulables” dentro de la categoría “artefactos”), tiene su correlato en el sistema sensorio-motor respecto de la experiencia previa con los objetos. Lo anterior se evidencia en la actividad motora más pronunciada para el concepto de un objeto manipulable como martillo que para uno no manipulable como avión, aunque ambos estén en la categoría de artefactos.

De esta manera, el repertorio motor co-opera con el repertorio semántico, puesto que la significación de los conceptos interactúa con la experiencia motora directa de los objetos. La experiencia con un martillo es diferente a la experiencia con un avión, lo que implica una diferenciación en la activación de canales motores y sensoriales para cada uno. También el concepto de martillo se diferencia del concepto de avión, particularmente en los correlatos de la activación de procesos motores y sensoriales para cada uno. La distinción que hace la experiencia se hace también semántica.

Estudios en neuroimagen han provisto mayor evidencia para sostener que hay una relación entre el conocimiento conceptual y los sistemas cerebrales para la percepción y la acción. En un estudio con tomografía de emisión de positrones (PET), Martin et al. (1996) hallaron que en una tarea de nombrar imágenes de animales y de herramientas, los nombres de animales activaron el lóbulo occipito-medial izquierdo, un área involucrada en el procesamiento visual. En cambio, los nombres de herramientas activaron el área pre-motora izquierda y el giro temporo-medial izquierdo, áreas cercanas a las que se activan cuando se utilizan objetos y cuando se percibe movimiento. Dichos hallazgos sugieren que los circuitos cerebrales que subyacen a los conceptos incluyen regiones que están adecuadas para el procesamiento de sus aspectos semánticos más salientes. Esta evidencia fue compatible con algunos estudios¹³ en pacientes con lesiones cerebrales cuya distribución dominante era bien en áreas para el procesamiento visual o bien en áreas motoras. Lo que presentaban estos sujetos eran desórdenes en la identificación de objetos animados, en el caso del primer tipo de lesión, y de artefactos en el caso del segundo (Gainoti et al., 1995).

Estos estudios sobre el conocimiento conceptual han sido recientemente tratados de manera específica en el ámbito del procesamiento del lenguaje de acción. De esta manera, investigaciones con técnicas electroencefalográficas, (Pulvermüller & Shtyrov, 2006; Shtyrov et al., 2004), han confirmado que las palabras de acción (Ej. *patear*, *aplaudir*) que refieren a acciones motoras de distintos efectores (Ej. piernas, brazos) activan un proceso cerebral de dicho efector, y esta activación ocurre poco después de la presentación del estímulo. Hauk et al. (2004) realizaron un estudio en el que los sujetos leían verbos de acción que se realizaban con los pies, las manos o la cara (Ej. *patear*, *tomar*, *lamer*). Luego los participantes llevaban a cabo acciones simples con estos mismos efectores activando la corteza motora primaria y pre-motora de manera somatotópica, es decir, diferenciando topográficamente distintas áreas para cada efector. Lo interesante entonces es que la lectura de verbos de acción tenía un patrón de activación somato-tópico similar.

En la literatura acerca de la comprensión del lenguaje, esta activación de modalidad específica durante el procesamiento lingüístico ha sido interpretada por diversos autores

¹³ Actualmente existe evidencia más matizada.

como evidencia de que durante la comprensión ocurre una simulación interna de la experiencia sensorio-motora (Borghi, Glenberg & Kaschak, 2004; Borreggine & Kaschak, 2006; Glenberg & Kaschak, 2002; Kaschak et al., 2005; Richardson et al., 2003; Zwaan, Stanfield & Yaxley, 2002; Zwaan & Taylor, 2006). La teoría de la simulación ha postulado que una representación interna es producida por áreas corticales que, usualmente, gobiernan la percepción y la acción. De esta manera, cuando un estímulo lingüístico es percibido, el sistema sensorio-motor re-activa los estados perceptuales almacenados, y estos adoptan la "codificación" neuronal de la experiencia misma respecto del contenido de dicho estímulo. Así, según estos enfoques, la comprensión lingüística se da mediante la reactivación de estados perceptuales y motores que sirven para construir una simulación de los referentes comprendidos.

La hipótesis de la simulación semántica propone que la simulación mental *permite* a los hablantes comprender las escenas y los eventos del contenido (Bergen & Chang, 2005; Glenberg & Robertson, 2000). En otras palabras, el proceso simulatorio de re-crear la escena sería *parte constitutiva* de la comprensión del lenguaje. En esta línea, se ha planteado que la construcción de la simulación es un requisito para la comprensión, o incluso su equivalente (Zwaan & Radvansky, 1998). Sin duda, teorías tan radicales como esta son muy cuestionables, considerando que la supuesta evidencia científica en la que se sostienen no constituye realmente una demostración directa de sus afirmaciones. De hecho, existen varias críticas que apuntan a la poca fiabilidad de la evidencia para argumentar que la resonancia motora es un mecanismo necesario, suficiente y causal para llevar la comprensión del lenguaje humano y la comunicación al campo del sistema motor (Ej. Louwerse & Jeuniaux, 2008; Mahon & Caramazza, 2008; Toni et al., 2008; Willems & Hagoort, 2007).

Si bien es tentador interpretar estos datos en términos de la teoría motora, hay que notar especialmente que no se trata de evidencia inequívoca, en tanto la mera activación de los circuitos sensorio-motores durante la comprensión no demuestra la necesidad y suficiencia de éstos para que exista comprensión. Estos datos, más bien, son evidencia de que existe una interacción entre el lenguaje y la acción en el cerebro.

Probablemente estas controversias perderían peso si se precisaran los estudios respecto del impacto en la conducta lingüística (en este caso la comprensión) de la actividad sensorio-motora inducida por el contenido. Sin embargo, no existen muchos estudios que directamente sirvan para determinar la relevancia del sistema motor en el lenguaje. Como hemos revisado, la mayoría de los datos que se interpretan a favor del involucramiento necesario de los sistemas sensorio-motores en el procesamiento del lenguaje, provienen de estudios con neuroimagen que muestran actividad sensorio-motora durante tareas lingüísticas. Se han basado también en experimentos conductuales, sobre los que ahondaremos en el próximo apartado, que muestran modulación de la realización motora durante el procesamiento de lenguaje de acción (Ej. Boulenger et al., 2006; Buccino et al., 2005; Gentilucci et al., 2000; Gentilucci & Gangitano, 1998; Glenberg & Kaschak, 2002; Glover et al., 2004; Nazir et al., In press; Oliveri et al., 2004; para una revisión ver Fischer & Zwaan, 2008). Sin embargo, si el punto de estas teorías es descubrir cuál podría ser la función de la activación motora para una oración de acción, y hasta qué punto esta activación podría contribuir a la comprensión de dicha oración, estos datos no van más allá de demostrar que procesos motores y lingüísticos son dominios que interactúan.

Sin embargo, esta interacción no es un dato trivial. La consideración de la comprensión como una interacción entre múltiples áreas cognitivas que co-operan y redes neurales formadas dinámicamente, incorporando diversas partes de la corteza, es una forma de

enfocar el estudio que parece más adecuada (Fuster, 2003; Mesulam, 1990, 1998; Nachev, Kennard & Husain, 2008; Toni et al., 2008).

Bajo este enfoque podría decirse que en cualquier tipo de comprensión, sea esta comprensión de lenguaje, de acciones, de emociones, etc., el sujeto accede a un fenómeno mayor que es la *comprensión*, y cada tipo podría ser una especie de campo de claves para la interpretación. De esta manera, la comprensión lingüística no es una comprensión separada de la comprensión de la acción o de la emoción. Existen estudios que podrían dar evidencia de esto, y vamos a describir uno de un dominio distinto al motor, a fin de resaltar la interacción de *diversos* dominios. En un estudio acerca de las interacciones entre el significado emocional del lenguaje y el tono emocional de la voz (Nygaard & Queen, 2008) se manipuló el contenido emocional de la prosodia y de las palabras para producir entre ellos congruencia o incongruencia de categorías emocionales. El hallazgo fue que el tono emocional de la voz facilitó el procesamiento lingüístico de las palabras en la condición congruente (cuando la palabra era “feliz” y el tono era “feliz”). Este efecto de facilitación en el caso de congruencia semántica entre la prosodia y el significado ayuda a clarificar que la comprensión pareciera ser un proceso que requiere de la integración de información que proviene de distintos dominios cognitivos, en este caso del emocional y el lingüístico. De esta manera, el espacio semántico no solo es un espacio lingüístico, en tanto otros dominios funcionan como repertorios para la comprensión. Así, por ejemplo, el repertorio motor sirve no solo a la comprensión de lenguaje, sino también a otros modos de comprensión, y a su vez el lenguaje juega un rol relevante al punto de poder dar forma a otros procesos, entre ellos los motores.

A continuación revisaremos los estudios conductuales que han explorado la modulación de procesos motores por procesos lingüísticos.

4.2.2 Efecto Compatibilidad acción-oración (ACE)

Un estudio conductual de especial interés para esta tesis fue llevado a cabo por Glenberg y Kaschack (2002) para estudiar cómo el procesamiento de lenguaje podía afectar el planeamiento y la ejecución de las acciones. El fenómeno que ellos reportaron fue llamado *Action-Sentence Compatibility Effect* (ACE), que evidencia que cuando se comprende una oración que implica una acción determinada (Ej. la oración *cierra el cajón* implica un movimiento de la mano que va desde el cuerpo hacia delante) ésta facilita la acción del cuerpo si es que éste es compatible (un movimiento desde el cuerpo hacia delante), y la interfiere si es que es en dirección opuesta (un movimiento de la extremidad superior desde el frente hacia el cuerpo). El diseño experimental para estudiar este fenómeno consistió en presentar a los participantes oraciones con sentido y sin sentido (*Él cerró el cajón* y *José hirvió el zapato*, respectivamente), y pedirles que indicaran, presionando uno de dos botones direccionales puestos verticalmente en una botonera, si la oración tenía o no sentido. Al comienzo de cada intento, los participantes dejaban su dedo en un botón neutral en el medio de la botonera y luego apretaban uno de los dos botones direccionales, esto es, hacia el cuerpo o desde el cuerpo.

Los resultados conductuales (tiempos de reacción) mostraron que los participantes eran más rápidos en responder las acciones hacia el cuerpo cuando la oración describía una acción que requería que la mano se moviera hacia el protagonista (Ej. *Él abrió el cajón*). De la misma manera, cuando la oración describía una acción que requería un movimiento desde el protagonista (Ej. *Él cerró el cajón*) los participantes fueron más rápidos en responder con la acción de movimiento de la mano hacia el botón de adelante. Como es

claro, los sujetos se demoraron más en responder cuando las acciones eran contrarias al contenido de las oraciones. Estos datos sugieren que cuando la dirección del movimiento en la oración es compatible con la dirección del movimiento requerido para la respuesta se facilita el proceso motor. Posteriormente Borreggine y Kaschak (2006) utilizaron el mismo diseño de ACE con pequeñas modificaciones. Mientras antes se usó una tarea de juicio "sí-no", ahora lo que se ocupó fue un paradigma de inhibición de respuestas (llamado en inglés *go/no-go*), con el fin de controlar a qué punto (temporal) los participantes sabían con qué botón responder (qué movimiento debían realizar).

Como discutiremos más adelante, si bien este último estudio se hizo para comprobar que el fenómeno se daba *durante* el procesamiento de la oración, no parece quedar totalmente zanjado el problema de la determinación temporal de ACE, en la medida en que de todas formas los tiempos de reacción se registran post-oracionalmente, por lo que no puede ser descontada la ocurrencia de procesos cognitivos secundarios¹⁴.

Tal como es plausible pensar que se trata de accesos semánticos tempranos, también lo es argumentar que pueden ser más bien re-procesamientos conceptuales tardíos. Al parecer, el problema solo puede ser resuelto utilizando métodos con gran resolución temporal como EEG o MEG.

Boulenger et al. (2006) hicieron un estudio que mostró que las palabras de acción afectaban el movimiento kinemático dentro de los primeros 200 ms después del comienzo de la palabra. Esto sugiere que las palabras pueden afectar los programas motores a latencias muy cortas, lo que demuestra que la información relacionada con la acción se hace disponible rápidamente cuando las palabras de acción son procesadas. Si bien estudios de este tipo se complementan con estudios conductuales con oraciones, no hay, según nuestra revisión, estudios con EEG de la compatibilidad lenguaje-acción al nivel oracional. Ya que las propiedades de las palabras (incluyendo sus atributos sensorio-motores) son dependientes del contexto y no son estáticos, resulta necesario ampliar la investigación al nivel oracional. De esta manera, para investigar cómo se accede al significado de una oración mediante la interacción entre el lenguaje de acción y el sistema motor, se necesita tomar en cuenta cómo el contexto modifica al verbo de acción.

En tanto se trata de una técnica que permite medir la dinámica temporal cortical en el estímulo y en la respuesta, el método de ERPs resulta particularmente útil para estudiar neurofisiológicamente varios fenómenos implicados en ACE. A saber, la especificidad de la activación motora, el rol de la perspectiva de la persona gramatical de la oración y, muy especialmente, si el efecto es bidireccional, esto es, si el plan motor afecta a la comprensión de la oración.

Respecto del primer punto, consideramos que si la activación del proceso motor durante la comprensión de oraciones interfiere con el proceso motor implicado por un movimiento, es necesario explorar si acaso esta activación reúne además de característica generales, tales como la dirección o el efector, características más específicas del programa motor, como la forma de la mano con la que se realiza el movimiento. Ello ha sido previamente explorado examinando la interacción entre el lenguaje y la forma manual o tipo de agarre (Ellis & Tucker, 2000; Klatzky et al. 1989). Wheeler y Bergen (In press) realizaron un experimento en el que los sujetos leían oraciones que denotaban acciones realizadas con formas manuales específicas y subsecuentemente debían hacer formas manuales

¹⁴ También llamados "Traducción post-comprensión" (Glenberg & Kaschack, 2002). Las oraciones serían "traducidas" a un patrón de acción después de la comprensión semántica, lo que implicaría una especie de imaginación después del proceso semántico (Boulenger, Hauk & Pulvermüller, 2009; DaVolta et al., 2009).

compatibles o incompatibles. Con esta tarea se pretendía medir hasta qué punto el sistema motor responsable de la ejecución de acciones era activado por la comprensión de lenguaje, (con cuánta “resolución” motora). Los resultados de este experimento mostraron que los participantes responden más rápidamente cuando la semántica de la oración y la forma manual de sus propias manos era compatible. Según los autores, esto provee evidencia de que los hablantes al comprender crean simulaciones mentales de la acción incluyendo detalles motores. Más allá de si se trata o no de simulaciones, es interesante al respecto plantear si acaso esta activación “fina” se da bidireccionalmente, es decir, si la comprensión del detalle motor de la oración es afectada por la forma manual real, y explorar sus correlatos corticales, dilucidando con ello, además, el problema temporal en el que caen este tipo de paradigmas conductuales.

Por otra parte, como la mayoría de los experimentos en ACE han utilizado oraciones en primera persona, bien podría pensarse que la activación de los procesos motores es producto de la imaginería, dado que (a) clásicamente la perspectiva de primera persona se ha considerado un componente crítico para la imaginería mental (Ruby & Decety, 2001) y (b) la imaginería motora involucra el área motora primaria y pre-motora (Ehrsson et al., 2003; Gerardin et al., 2000). Si la actividad motora en el cerebro durante la comprensión de oraciones de acción se debe mayoritariamente a imaginería inducida por la primera persona de la oración, se corre el riesgo de explicar el resultado por variables confundentes. De esta manera, utilizar oraciones en tercera persona, parece una vía más adecuada de estudio, pues atenúa la posibilidad de que intervengan efectos de imaginería en la activación motora. Además este método serviría para responder una pregunta básica de trabajo, esto es, si la activación ocurre o no cuando lo comprendido no involucra al que comprende.

Finalmente, si el plan motor al nivel de precisión de la forma manual afecta a la comprensión de la oración, es una cuestión que no ha sido abordada de manera precisa y, por el contrario, la falta de estudios en esta dirección ha dado lugar a confusiones conceptuales.

Como dijimos más arriba, mientras sí se ha demostrado que la actividad motora inducida por el lenguaje afecta el desempeño motor (Boulenger et al., 2006; Gentilucci & Gangitano, 1998; Glenberg & Kaschak, 2002; Glover et al., 2004; Zwaan & Taylor, 2006), no ha pasado lo mismo con la relación inversa, es decir si la actividad cortical en áreas motoras influye en los correlatos cerebrales de la comprensión del lenguaje. Pese a esta carencia de estudios, mucho se ha especulado sobre lo segundo, solo por la evidencia de lo primero.

Para poder observar esta relación de manera bidireccional, nos parece sensato focalizar la atención tanto en las tareas motoras como en las tareas de comprensión. Así por ejemplo, Myung et al. (2006) en un estudio muy sencillo, mostraron que en una tarea de decisión léxica¹⁵ (acerca de palabra/no-palabra) los participantes eran más rápidos en responder cuando la palabra crítica (Ej. *teclado*) era precedida por una que compartía sus características de manipulación (Ej. *piano*), en relación a cuando era precedida por una que no compartía dichas características (Ej. *frazada*). Como en este experimento no era requerido hacer ningún movimiento como “teclear”, se sugiere que el conocimiento acerca de cómo manipular objetos asociado a la palabra se activa en la comprensión a niveles muy tempranos. Sin embargo, se requieren más estudios como este, con mejores técnicas, que den cuenta de la participación del sistema motor en el lenguaje, ampliando la investigación al nivel oracional, a la indagación en el grado de especificidad y en general a los aspectos que hemos mencionado más arriba. Una adecuada descripción de los efectos

¹⁵ Las tareas de decisión léxica consisten básicamente en que al participante se le presenta un ítem y debe decidir si tal ítem es una palabra o no, pulsando la tecla correspondiente a “palabra” o “no-palabra” (sí-no).

bidireccionales motores y del lenguaje representa la vía ideal para dar cuenta del fenómeno de la interacción lenguaje-acción.

Como señalábamos más arriba, para estudiar la co-operación de los procesos motores y los de lenguaje, uno de los métodos disponibles más aptos para captar el *timing* cortical necesario para medir el procesamiento de los estímulos y de las respuestas motoras es el EEG. A continuación detallaremos esta forma de estudio del cerebro, en especial la técnica de los ERPs y su utilización en estudios del lenguaje.

4.3. Técnica de Potenciales Relacionados a Eventos (ERPs)

En las últimas décadas se han llevado a cabo diversas investigaciones dedicadas a buscar relaciones entre el funcionamiento cerebral y el procesamiento lingüístico en los aspectos sintáctico, semántico, ortográfico y fonético (Kutas & Van Petten, 1988). El estudio de potenciales evocados relacionados a eventos (ERPs) ha resultado una de las mejores técnicas para este tipo de análisis y ha enriquecido notablemente el conocimiento existente en el dominio del lenguaje (Ej. Barber & Kutas, 2007; Hauk & Pulvermüller, 2004; Ibáñez et al., 2006; Osterhout & Holcomb, 1995; Pizzamiglio et al., 2005; Pulvermüller et al., 1999; Shtyrov et al., 2004; para una revisión ver Hauk et al., 2008). Además de la relativa accesibilidad en términos de disponibilidad del equipamiento necesario para la realización de ERPs, una de sus principales ventajas por sobre las técnicas de neuroimagen, es la posibilidad de examinar la fina dinámica temporal de los fenómenos lingüísticos y su correlato neuronal.

Los ERPs son una técnica de medición electrofisiológica basada en la electroencefalografía (EEG), la que podríamos definir sucintamente como un procedimiento capaz de medir la actividad eléctrica¹⁶ del cerebro. Esta medición es de carácter general, por lo que no puede ser utilizada para evaluar procesos neurales específicos. Sin embargo, dentro de la señal del EEG, existen respuestas neurales asociadas a eventos (ERPs), ya sea sensoriales, motores o cognitivos específicos que son posibles de extraer a través de técnicas de promediación y procesamiento de dicha señal.

De esta manera, los ERPs, en tanto actividad electroencefalográfica, resultan de la activación sincrónica de varias subpoblaciones neuronales (Hillyard & Picton, 1987) y son el resultado de la promediación y el procesamiento de la actividad de potenciales post sinápticos excitatorios e inhibitorios de neuronas mayoritariamente piramidales en la corteza, activadas en respuesta particulares a estímulos específicos. Como ya adelantábamos, esta técnica tiene una excelente resolución temporal del orden de los milisegundos; sin embargo, es menos precisa para la localización anatómica de generadores neurales en comparación con técnicas de neuroimagen (Kutas & Federmeier, 2000).

Para llevar a cabo un experimento con el fin de obtener ERPs (ver sección 6.3.), se utilizó un sistema de electrodos conectado a amplificadores eléctricos, en el que cada uno de ellos es ubicado en uno de varios puntos del cuero cabelludo usando

¹⁶ Lo que se mide son pequeñas diferencias de potencial eléctrico, que se generan entre electrodos colocados sobre el cuero cabelludo, las cuales son consecuencia, entre otras cosas, de la actividad eléctrica del cerebro y cuya magnitud es usualmente del orden de unos cuantos microvoltios.

referencias topográficas. Normalmente, este procedimiento implica registrar la actividad electroencefalográfica asociada a varias presentaciones de estímulos similares para luego promediar los registros. Éstos son sometidos a diferentes procesos de filtrado que tienen como finalidad la obtención de un registro que contenga actividad solo relacionada a los estímulos experimentales. De esta manera, se obtiene un registro con actividad menos “ruidosa” y más cercana a la relacionada a los eventos. En síntesis, las ondas de ERPs son el resultado de la suma y la cancelación de registros de actividad neural de un gran número de generadores de diferentes áreas del cerebro, que se promedian según conjuntos de estímulos específicos.

Los ERPs implican cambios de voltaje positivos o negativos que aparecen en latencias¹⁷ específicas desde la presentación del estímulo. Se piensa que la latencia de estos cambios de voltaje entrega una medida de la temporalidad del procesamiento cerebral. La mayoría de los componentes son nombrados por una letra que indica la polaridad (N de negativo o P de positivo) y un número que señala el tiempo de latencia en milisegundos. Por ejemplo, el componente de ERP llamado “N400” es descrito como una desviación negativa del voltaje que ocurre aproximadamente 400 ms (milisegundos) después del inicio del estímulo (Ibáñez et al., 2006).

Las características de las ondas eléctricas son descritas de acuerdo a:

- 1) latencia (cuánto tiempo después del evento ésta aparece)
- 2) dirección (polaridad positiva o negativa),
- 3) amplitud (la fuerza de cambio en el voltaje)
- 4) la distribución topográfica del componente en la superficie de la cabeza (frontal, parietal, occipital, etc.).

Mediante este procedimiento, diferentes condiciones de estímulo pueden ser contrastadas en términos de amplitud o latencia, entre otras medidas (Ibáñez et al., 2008). De acuerdo a estos parámetros, cuando existen diferencias estadísticas en la latencia, amplitud o morfología como resultado del cambio de la condición de los estímulos, es posible establecer que un ERP es “modulado por” o es “sensible a” diferentes factores.

A continuación describiremos los potenciales que serán analizados en este experimento.

4.3.1. N400-like

Uno de los componentes más robustos en el estudio semántico con ERPs es el N400. En 1980, Kutas y Hillyard (1980) demostraron la existencia de un componente originado por la incongruencia de una palabra respecto de un contexto previo en el que no hace sentido. El experimento consistió en que se presentaba una lista de oraciones, de las cuales las palabras aparecían secuencialmente, y se recogían los ERP sincronizados con la última palabra de la oración. Cuando la palabra era incongruente con el contexto, (Ej. *Yo/ saco/ a/ pasear/ a/ mi/ piure*), aparecía una amplia desviación negativa cerca de los 400 ms después de la presentación de la palabra, por lo cual fue denominado N400.

Posteriormente, se estudió el componente de manera más detallada y se llegó a la conclusión de que era específico para discrepancias semánticas y no una reacción a

¹⁷ En un ERP, la latencia corresponde al tiempo que transcurre desde el instante en que comienza a desplegarse el estímulo hasta que aparece el potencial.

cualquier estímulo inesperado. Así por ejemplo, un cambio gramatical inesperado, o un cambio del tamaño de los caracteres de una palabra en la oración (Kutas & Hillyard, 1980), no producen N400. En cambio, ante el efecto del contexto semántico que no es predecible para la integración de las palabras, la aparición del componente ha sido ampliamente estudiada en lenguaje escrito, hablado y en lenguaje de señas (Holcomb & Neville, 1990, 1991; Neville et al., 1992).

Además del factor contextual, se ha estudiado que la amplitud de la N400 también es modulada por diversas características léxicas. Un ejemplo muy común es el de la frecuencia de la palabra; las palabras menos comúnmente utilizadas suscitan mayores negatividades que las de alta frecuencia de uso. Pareciera ser que este efecto también tiene una base semántica, puesto que cuando las palabras de poca frecuencia son colocadas en un contexto semántico restrictivo que la requiere, el N400 no se incrementa (Van Petten, 1993).

Para definir el tipo de estímulo que modularía el N400 fue crucial que se hicieran estudios en los que las incongruencias presentadas ocurrieran dentro de sistemas diferentes al lenguaje o entre el lenguaje y otras modalidades. En un comienzo, trabajos como los de Besson y Macar (1987) que compararon los ERPs en distintas condiciones experimentales (melodías, figuras geométricas ordenadas de forma creciente, escalas musicales en orden ascendente), los estímulos que terminaban con una incongruencia (una nota no-pertinente, una figura más pequeña, una nota más baja) no presentaron N400. De esta manera, podría pensarse que el N400 solo aparece ante incongruencias de carácter verbal. Sin embargo, hoy en día existen variados experimentos que muestran efectos de incongruencia semántica en otros estímulos con significado, tales como imágenes, caras, videos o melodías musicales¹⁸. (Guerra et al., 2009; Gunter & Bach, 2004; Ibañez et al., 2010; Koelsch et al., 2004). El efecto N400 en estos casos se ha llamado más precisamente N400-like, puesto que si bien es muy parecido al N400 “lingüístico” en la forma de la onda y en el *timing*, no es idéntico y sus fuentes cerebrales generadoras parecen ser no totalmente idénticas

De esta manera, se sugiere que el N400 lingüístico y el N400-like reflejan procesos corticales similares que ocurren en poblaciones neuronales parcialmente traslapadas (Van Petten & Luka, 2006). En resumidas cuentas, el componente N400 se piensa como un índice de activación amodal de la memoria semántica (McPherson & Holcomb, 1999). Podría decirse entonces, que el N400-like suscitado por estímulos no-verbales, también estaría reflejando violaciones de expectativa semántica, aunque en un dominio no-lingüístico.

Como se explicará en la sección de Materiales y Métodos, en el experimento de esta tesis, el contenido de las oraciones estaba relacionado a la forma manual de la respuesta. Consecuentemente, las condiciones de compatibilidad e incompatibilidad estaban dadas por una combinación del significado de la oración y del de la realización del movimiento. Como una de las partes con significado de la condición incompatible era no-lingüística, lo que esperamos encontrar fue una modulación de N400-like, en tanto, como hemos revisado, los efectos de este componente no están restringidos a estímulos lingüísticos (Van Petten & Luka, 2006). De esta manera, las oraciones incompatibles con la acción debieran presentar una amplitud mayor del componente N400-like, demostrándose por

¹⁸ Solo por dar un ejemplo de N400 no-lingüístico, citemos el experimento de Olivares e Iglesias (2010). Estos autores investigaron N400-like en rostros. En este experimento se presentaban estímulos a los sujetos que contenían partes de una cara, funcionando como “contexto” para crear expectativas acerca del rostro completo. Como se pretendía acceder a una activación de la memoria semántica, las caras utilizadas fueron las de personajes famosos. Tras haber mostrado la parcialidad del rostro, se completaba la imagen. En los casos en que se trataba de una cara inesperada se generó una N400-like.

primera vez, que el proceso motor afecta al proceso cortical de comprensión de la oración tempranamente y de manera semántica.

4.3.2. Potenciales Motores: MP y RAP

Los procesos cerebrales relacionados a movimientos motores pueden ser estudiados de forma no-invasiva con el método descrito de los ERPs. Los potenciales de este tipo se conocen como potenciales corticales asociados a movimiento (MRCP, del inglés *Motor-related Cortical Potential*). Cuando se relaciona al movimiento voluntario los MRCP son considerados una medida de excitabilidad de la corteza motora (Karl et al., 2004), lo que permite la exploración de cambios corticales relacionados a la preparación y ejecución de la acción motora. Se ha descrito en la literatura que hay diferentes fases en MRCP conformando cada una un componente que puede ser estudiado de manera independiente. El inicio del movimiento está acompañado por un pick de negatividad que ha sido llamado Potencial Motor (MP, del inglés *Motor Potential*; Hatta et al., 2009) o Potencial Tardío Asociado al Movimiento (LMRP del inglés *Late Motor-related Potential*; Deecke, 1987; Smith & Staines, 2006), y se ha postulado que lo que estaría representando sería la actividad de las neuronas piramidales en la corteza motora primaria (M1) durante la ejecución motora.

Nishihira et al., (1989) examinaron la relación entre el MP y varios tipos de tareas de movimiento, y mostraron que hay una estrecha relación entre este componente y la respuesta cerebral motora, directamente asociado a la fuerza y la rapidez de la acción. Además, Slobounov et al. (2002) encontraron que el desarrollo del grado de fuerza, esto es, la precisión de los movimientos, influía también la amplitud del MP.

Así, estos autores reportaron que en tareas con los dedos anular e índice, sujetos pianistas profesionales (que usan de manera muy rápida y precisa los dedos anular e índice en su actividad) generan grandes activaciones electro-corticales, con amplitudes mayores de MP en comparación con sujetos no-pianistas. De esta manera, las amplitudes mayores de MP se asocian a movimientos más veloces y exactos.

Dadas las características de este potencial, en este experimento se esperó encontrar mayores amplitudes de MP para la condición compatible, pues reflejarían que los contenidos de las oraciones facilitan la precisión y rapidez del movimiento de respuesta.

Después del MP se ha observado una fase positiva, con una amplitud máxima entre los 50 y los 300 ms después de la respuesta. Este componente ha sido reportado por varios estudios (Deecke, 1987; Smith & Staines, 2006) y se le ha llamado potencial re-aferente (RAP, del inglés *Re-afferent Potential*, llamado *Reafferente Potentiale* por primera vez en alemán; Kornhuber & Deecke, 1965) puesto que se piensa que es originado en la corteza somato-sensorial y que estaría ligado a los procesos de *feedback* sensorial que necesitan los movimientos para ser ajustados. Durante el movimiento de las extremidades, por ejemplo, para el ajuste preciso de la inervación muscular es necesario que exista información somato-sensorial (Bötzel et al., 1997) sobre la posición del miembro, que es mediada por diferentes clases de receptores periféricos. De esta manera, RAP es un índice de retroalimentación sensorial relacionado a procesos de la corteza sensorio-motora primaria (Deecke, 1987). Se ha estudiado que uno de los moduladores de este componente es la atención, en tanto el *feedback* propioceptivo aumenta en el caso de movimientos que requieren demanda atencional (Smith & Staines, 2006).

En este estudio se esperó hallar amplitudes de RAP mayores para la condición compatible, pues en el caso de la ejecución compatible de la acción motora se pensaría que hubo una facilitación de la atención *bottom-up* hacia la información relevante (la que calza con el plan motor), con el fin de que el movimiento se llevara a cabo de manera más rápida y precisa.

Patrones básicos de facilitación e inhibición, característicos de los cambios atencionales ante claves concientes, han demostrado obtenerse también inconscientemente, mediante procesos *bottom-up* (Mulckhuyse & Theeuwes, 2010). Así, en una tarea donde existen demandas de respuesta, el foco de la atención puede ser redirigido a las señales prominentes del estímulo previo, en este caso las compatibles, con el fin de optimizar (facilitar) dicha demanda (Buschman & Miller, 2007).

5. Objetivos de la Investigación

5.1. Objetivo general

- Investigar el *Action-Sentence Compatibility Effect* mediante el análisis del impacto bidireccional entre procesos lingüísticos y procesos motores, tanto en los tiempos de reacción como en los marcadores cerebrales del procesamiento del estímulo semántico y de la respuesta motora.

5.2. Objetivos específicos

1. Determinar la dinámica temporal precisa del efecto ACE, a fin de dar luces sobre el problema temporal de los paradigmas conductuales. Ello permitirá evaluar si son procesos cognitivos post-oracionales los que explican el ACE o si existe un proceso real de integración entre sistema motor y comprensión de lenguaje durante la presentación de los estímulos.
2. Investigar si existe, y en caso positivo su grado de especificidad, la activación motora en la comprensión de lenguaje y viceversa; para dar cuenta de la influencia bidireccional de los procesos semánticos y motores a una resolución particular.
3. Investigar las respuestas corticales de ACE en estímulos que no implican a una primera persona. Ello permitirá estudiar si en condiciones de reducción de procesos de imaginación, este efecto es robusto.
4. Determinar si el N400-like distingue entre condiciones compatible, incompatible y neutral.
5. Determinar si el MP es modulado por la compatibilidad de la oración y la acción en la respuesta motora.
6. Determinar si el RAP es sensible a la compatibilidad entre la oración y la acción en la respuesta motora

6. Marco Metodológico

6.1. Preguntas de investigación

I. ¿Existirá a nivel conductual y cortical una interacción multimodal entre la comprensión de oraciones de acción y la realización de acciones corporales, en términos de efectos compatibilidad acción-oración?

a. ¿La compatibilidad-incompatibilidad estará dada por aspectos sutiles de la acción, como lo es la forma de la mano implicada por el movimiento?

b. ¿Las oraciones en tercera persona, anularan el efecto de compatibilidad acción-oración?

II. ¿Se dará esta interacción bidireccionalmente? Esto es, ¿son capaces de intervenir mutuamente el proceso semántico y el motor a nivel conductual y neuronal?

a. ¿Un movimiento del cuerpo podrá ser modulado por el hecho de comprender una oración?

i. ¿Existirá efecto de modulación en los potenciales motores (MP y RAP) causados por la compatibilidad-incompatibilidad de oraciones respecto a las acciones de respuesta?

b. ¿Un proceso motor interferirá la comprensión lingüística?

i. ¿Distinguirá el componente N400-like entre acciones compatibles y acciones incompatibles con el contenido de las oraciones?

6.2. Hipótesis de trabajo

H1: La comprensión de oraciones de acción y los procesos motores comparten recursos neuronales cuando activan un mismo tipo de acción, específicamente manual.

H2: Si el contenido semántico es compartido por procesos motor y lingüístico, cuando ambos procesos ocurran simultáneamente, los recursos neuronales comunes deberían cooperar bidireccionalmente.

H3: La comprensión de oraciones facilitará el movimiento en el caso de compatibilidad acción-oración, siendo los TR más cortos en esta condición y los potenciales motores (MP y RAP) de mayor amplitud.

H4: Si el sistema motor es parte del proceso de comprensión de oraciones de acción, durante el procesamiento de un estímulo lingüístico incompatible con el movimiento existirá una incongruencia semántica manifestada por el componente N400-like.

H5: Si el efecto de compatibilidad acción-oración es independiente de los procesos de imaginación reportados en diseños con oraciones en primera persona, dicho efecto debería ser igualmente robusto en el paradigma propuesto.

6.3. Materiales y Métodos

6.3.1. Aspectos éticos

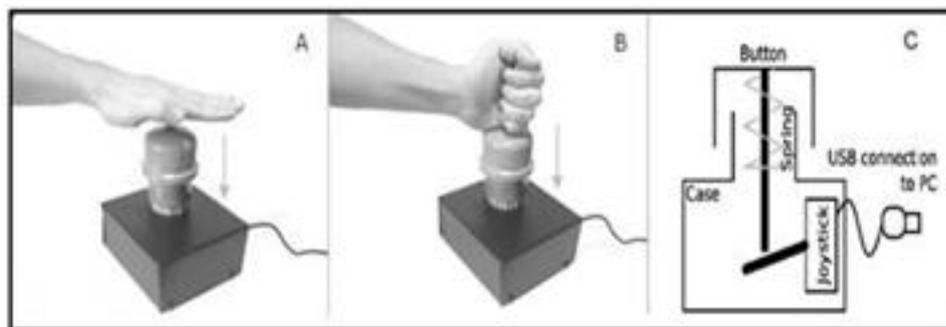
Todos los participantes de este experimento leyeron y firmaron un consentimiento informado de acuerdo con la declaración de Helsinki antes de comenzar el estudio (ver ANEXO 6). El comité de ética del laboratorio de neurociencias cognitivas de la Universidad Diego Portales y el comité de ética de la Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad de Chile aprobaron esta investigación.

6.3.2. Participantes

En este estudio participaron 26 voluntarios hablantes nativos de español (14 mujeres), cuyas edades se encontraban entre los 18 y 31 años ($M= 22.4$ años, $SD= 3.7$). Todos los participantes eran estudiantes no graduados, diestros según los criterios del Inventario de Lateralidad de Edimburgo (Oldfield, 1971), también poseían una agudeza auditiva normal, visión normal o corregida y no tenían historial de enfermedades psiquiátricas o neurológicas, evaluado con cuestionario ad hoc. Se crearon dos grupos balanceados aleatoriamente en relación a la forma de la mano (abierta [MA] o cerrada [MC]): un grupo respondía al estímulo con la mano abierta (grupo de mano abierta [GMA]) y el otro grupo respondía al estímulo con la mano cerrada (grupo de mano cerrada [GMC]). No se encontraron diferencias de edad ($F(1, 24)=0.005$, $p=0.94$), género [$X^2=0.05$; $p=0.82$], ni nivel educacional ($X^2=0.05$; $p=0.82$) entre los grupos.

6.3.3. Tarea

Los participantes escuchaban oraciones¹⁹ (Ej. *El espectáculo era digno de alabanza, Rocío aplaudió*, ver Tabla 1 para más ejemplos) y luego indicaban lo más rápido posible cuando comprendían cada una de ellas. Tenían que indicar la comprensión de la oración presionando un botón con la mano abierta o cerrada (ver Figura 1.A y 1.B), según el grupo que se les fue asignado anteriormente. Se ha reportado previamente la modulación de respuestas de MA y MC por el contenido de la oración (Wheeler & Bergen, In press).



¹⁹ Se llamará “oraciones” a los estímulos, en tanto para los fines de este estudio todos los sintagmas de cada estímulo constituyen la unidad de sentido que permite comprenderla como una situación total. Reconocemos que para evadir ciertas discusiones lingüísticas, un mejor término hubiese sido “enunciados”.

Figura 1. Botón de respuesta y formas manuales pre-asignadas. A) Respuesta motora con MA durante la tarea de comprensión de oraciones. B) Respuesta motora con MC durante la tarea de comprensión de oraciones. C) Botón fabricado para los fines específicos de este estudio. Un joystick común con salida USB con palanquitas análogas fue adaptado para detectar cuando el participante iniciaba la respuesta.

6.3.4. Estímulos

Ciento cincuenta y seis oraciones en español previamente validadas (ver *Validación de estímulos* más abajo) se utilizaron como estímulos (en el ANEXO 7. se presenta la lista de todas las oraciones incluidas en este estudio). Ciento cuatro oraciones denotaban acciones manuales; la mitad de las cuales se realizan con la mano abierta y la otra mitad con la mano cerrada. Además, se utilizaron 52 oraciones neutrales, es decir oraciones que bien no describen acciones, o bien describen acciones que no son realizadas con las manos. Las oraciones se clasificaron en: oraciones con MA (OMA), oraciones con MC (OMC) y oraciones neutrales (ON) (Tabla 1).

Tabla 1. Ejemplos de estímulos utilizados. Las oraciones fueron categorizadas de acuerdo a la forma manual de la acción denotada; Oraciones MA (OMA), Oraciones MC (OMC) y Oraciones neutrales (ON). El verbo crítico aparece subrayado.

Categoría	Oración
OMA	<i>El espectáculo era digno de alabanza, Rocío <u>aplaudió</u> .</i>
OMC	<i>Tenía que clavar el clavo muy derecho, José lo <u>martilló</u>.</i>
ON	<i>Hace tiempo que quería ver a su abuela, Amaro la <u>visitó</u>.</i>

Todas las oraciones se construyeron en tercera persona. Los verbos críticos estaban en tiempo pretérito indefinido y siempre se encontraban como palabra final de la oración. Las variables lingüísticas relevantes fueron balanceadas entre listas (como transitividad, aspecto de situación, y contenido del contexto; ver ANEXO 1 A). Además, el número de sílabas de la palabra final (M= 2.46 sílabas, SD= 0.08 en OMA; M= 2.53 sílabas, SD= 0.08 en OMC; y M= 2.53 sílabas, SD= 0.08 en ON; $F(2,3\ 153)= 0.25$, $p= 0.77$) así como también su frecuencia de uso (niveles moderados) fueron variables controladas. El largo total de duración de las oraciones fue 4.57 s (SD=0.06 s). Los archivos de audio de cada intento fueron editados con 400 ms de silencio al principio y 200 ms al final. El *onset* del verbo crítico fue a 4.05 s del comienzo de la oración (SD= 0.06; 2.92 s mínimo, 5.64 s máximo).

Validación de los estímulos

Las listas de OMC, OMA y ON fueron controladas en cuanto al largo de la oración y la predictibilidad. La palabra final fue controlada en cuanto a la duración y a la frecuencia de uso. En particular, las OMC y OMA fueron validadas además, en cuanto al grado de la especificidad manual y a la prototipicidad de la acción implicada por la oración, para lo cual se diseñó un estudio de clasificación (en ANEXO 1.B. se presenta el análisis del estudio de clasificación y en el ANEXO 8. los cuestionarios utilizados para dicho estudio).

Solo se consideraron oraciones con un verbo final altamente predecible. Las ON, comparadas con las OMA y OMC, presentaron mayores niveles de predictibilidad estadísticamente significativos. No se observaron diferencias entre OMA y OMC.

La prototipicidad fue definida como qué tan representativa de la forma de la mano pertinente (MC o MA) era la acción descrita por la oración. El grado de especificidad manual

fue relacionado a qué tan abierta o cerrada debía estar la mano para realizar la acción determinada por la oración.

Todas las acciones manuales descritas por las oraciones (OMA y OMC) fueron altamente prototípicas de su forma. Sin embargo, las OMC se clasificaron como más prototípicas que las OMA, en el sentido de que eran más difíciles de realizar con la forma incompatible (MA). Consecuentemente, esperamos una respuesta ACE más acentuada en CHG. Esto, pues la acción más prototípica de su forma manual implica una mayor facilitación para el movimiento compatible, puesto que la información sobre la forma de la mano que lleva la acción es fuertemente reforzada por el contenido específico de la forma de la mano en la oración. El proceso detallado de la validación puede ser encontrado en el ANEXO 1.B.

6.3.5. Medición de las respuestas

Las respuestas fueron captadas utilizando un botón fabricado para propósitos del experimento (Figura 1), que podía bajar 4 cm y estaba montado sobre un resorte lo suficientemente duro para sostener el botón y la mano en la posición normal. El tamaño del botón permitió que la mano pudiese descansar cómodamente, tanto abierta como cerrada. Se adaptó mecánicamente un Joystick con salida USB con palancas análogas (ver Figura 1.C) de manera de que el eje de una de las palancas pudiese medir cuán profundo era apretado el botón, permitiendo detectar cuando el participante iniciaba la respuesta. Este diseño permitió un énfasis en la característica de la acción manual de la respuesta.

Se hizo un estudio de la sensibilidad de las medidas de respuesta: a 8 bits de resolución por eje, la palanca mide valores entre -128 y 127, 0 siendo centrado y -128 siendo completamente bajado (la mitad del rango de la palanca no fue usado). Cuando la medición era más negativa que el umbral pre-establecido (para evadir falsas respuestas debidas al ruido de medición) se detectaba la respuesta. Esta manera permitía detectar tanto las bajadas cortas como las completas.

6.3.6. Procedimiento

El experimento se realizó en una habitación con luz tenue, aislada acústica y eléctricamente. Los sujetos se sentaban cómodamente frente a una pantalla de computador que se encontraba sobre un escritorio. El botón fue colocado al lado derecho del escritorio de manera en que los sujetos pudieran presionarlo fácilmente. Se les pidió que escucharan atentamente las oraciones y que indicaran, presionando el botón, el momento exacto en que comprendieran la oración de la forma más rápida posible. También se les pidió que durante el experimento mantuvieran ambas manos con la forma asignada inicialmente (ver Figura 1.A y 1.B); la mano derecha debía estar sobre el botón y la izquierda sobre el escritorio. Además, para asegurar que los participantes estuvieran atentos al estímulo, se les dijo que al final del experimento se les iba a preguntar acerca del contenido de cada oración. Los sujetos tuvieron una sesión de ensayo (5 ensayos) para que se familiarizaran con la tarea.

Cada intento empezaba con una cruz de fijación ocular (a fin de reducir los artefactos en el EEG causados por movimientos oculares) presentada en el centro del monitor. La cruz aparecía 300 ms antes de que empezara la oración y desaparecía 800 ms después de la respuesta. Un intervalo inter-estímulos se fijó a ± 150 ms. Las oraciones fueron grabadas por una hablante nativa de español. Se utilizó el software Audacity 1.2.6 para grabar y ajustar los estímulos auditivos. Se utilizó el software Python para la presentación de los

estímulos, el registro de respuestas motoras, el envío de marcas al amplificador de EEG y la captura de datos (el programa diseñado para este paradigma se presenta en el ANEXO 9). Los 156 intentos se distribuyeron entre las tres condiciones de las oraciones en una lista contrabalanceada, para así asegurar que la misma condición no apareciera más de dos veces consecutivas (ver tabla 2).

Tabla 2. Condiciones del experimento. La interacción entre el tipo de respuesta (GMA o GMC) y el contenido de las oraciones (OMA, OMC, ON) derivó en tres categorías (compatible, incompatible y neutral).

	OMA	OMC	ON
GMA	<i>Condición Compatible</i>	<i>Condición Incompatible</i>	<i>Condición Neutral</i>
GMC	<i>Condición Incompatible</i>	<i>Condición Compatible</i>	<i>Condición Neutral</i>

6.3.7. Registro electroencefalográfico y pre-procesamiento de los datos

La señal electrofisiológica se registró mientras los sujetos realizaban la tarea, usando el sistema GES300 de 128 canales. El sistema se compone por sensores HydroCel de Electrical Geodesic Inc., con esponjas insertadas en cada uno de los 128 canales. Estas esponjas mantienen en el espacio virtual entre el cuero cabelludo y el electrodo una solución salina que permite un registro de 2 horas de duración aproximadamente. El registro electrofisiológico se realizó con un amplificador DC con una impedancia de 200 MΩ, que amplifica y filtra las señales electroencefalográficas recogidas por los electrodos para mostrarlas en intervalos de milisegundos, de manera digitalizada. Las señales fueron muestreadas a 500 Hz. La referencia fue registrada por defecto en vértex²⁰, pero luego fue re-referenciada de modo *off-line* al promedio de mastoides (para respuestas motoras) y al promedio de los todos los electrodos (para N400-like). La señal fue transferida a un computador en tiempo real que tiene incorporado el software Net Station TM.

a) Toma de registro electroencefalográfico.

Para la instalación de la malla de electroencefalografía se siguieron los siguientes pasos:

- Medición del perímetro craneal y ubicación de vértex: para medir el perímetro craneal se rodea la cabeza del sujeto con una huincha de medir usando como puntos de referencia la glabella²¹ y el inión²² (ver Figura 2). Para ubicar vértex se debe medir la distancia entre el nasión²³ y el inión (ver Figura 2) y la distancia entre los puntos peri-auriculares (zonas adyacentes a las aletas de los pabellones auriculares; bajo las articulaciones témporo-mandibulares). Se realiza una marca en el punto donde se intersectan ambas mediciones. Es en este punto donde se debe ubicar el electrodo de referencia (Cz).

²⁰ Vértex: punto medio más alto del cráneo en el plano sagital medio. En el Sistema Internacional 10 – 20 se le denomina Cz.

²¹ Glabella: punto más prominente del frontal en el plano sagital medio. Se ubica en la convergencia de los arcos superciliares.

²² Inión: punto de encuentro de la línea occipital superior con el plano sagital medio. Se corresponde generalmente con la protuberancia occipital externa.

²³ Nasión: intersección de las suturas frontonasal e internasal



Figura 2: Nasión, glabella vértex e inión, puntos de referencia para ubicación de la malla de electrodos.

- Preparación de solución salina: en un recipiente de 2 litros de capacidad, se mezclan 10 gramos de cloruro de potasio, 2 litros de agua destilada tibia y 4 miligramos de shampoo neutro. Posteriormente se sumerge la malla en la solución por cinco minutos.

- Colocación de malla: se coloca la malla en la cabeza del sujeto desde arriba hacia abajo (ver Figura 3.A) distribuyendo uniformemente los electrodos en toda la zona craneal (ver Figura 3.B)

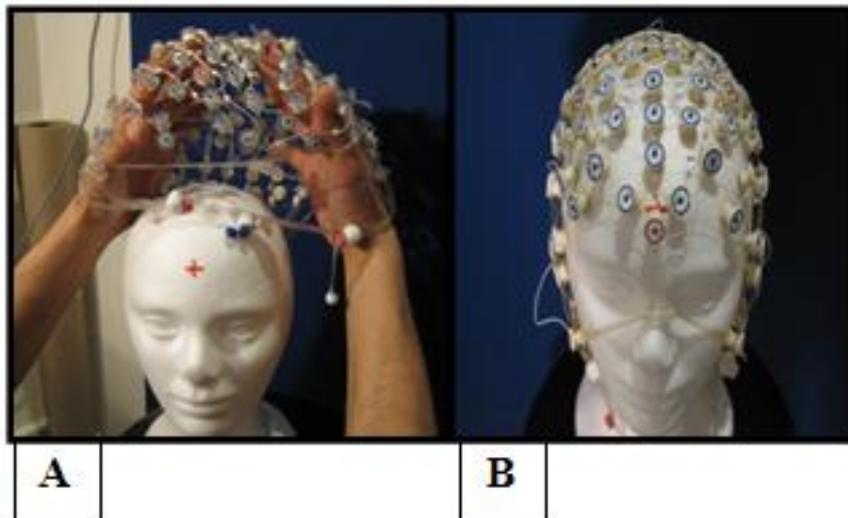


Figura 3: A) colocación de la malla. B) distribución uniforme de los electrodos en el cuero cabelludo.

- Conexión de la malla: una vez puesta la malla de electrodos en la cabeza del sujeto, se lo lleva a la sala de toma de registros y se conecta la malla a amplificadores eléctricos.

- Medición de impedancia de los electrodos: para que exista una buena calidad de la señal, debe generarse un excelente contacto de los electrodos en la cabeza. Medir la impedancia, es decir, la oposición al paso de la corriente, contribuye a lograr el contacto requerido. Los electrodos deben tener una impedancia menor a 50 k Ω , ya que se trata de un sistema de alta impedancia. Cada electrodo debe ser ajustado para alcanzar la impedancia

requerida agregando en su parte basal una gota de la solución salina utilizada anteriormente mediante una pipeta plástica.

Tras haber ajustado la malla, se pone en marcha el paradigma experimental: los sujetos realizan la tarea descrita en la sección 6.3.3.

b) Pre-procesamiento de datos.

Luego de tomar el registro electroencefalográfico se trabajó sobre cada registro continuo con el fin de obtener los ERPs de interés: N400-Like, MP y RAP para cada sujeto. Este pre-procesamiento consistió en:

- Filtrado: los filtros digitales son procedimientos matemáticos que son aplicados a representaciones numéricas discretas de ondas discretas o continuas con el propósito de atenuar selectivamente ciertas frecuencias que no son de interés para la investigación particular (Handy, 2005). En este experimento se aplicó un filtro de paso de banda digital, entre 0.5 y 30 Hz., para remover componentes de frecuencia indeseada.

- Segmentación: este paso consiste en fraccionar el registro continuo del EEG de manera *off-line* en eventos delimitados (la ventana temporal de la presentación de la palabra y la de la respuesta motora). En este experimento los datos continuos fueron segmentados en segmentos de 1000 ms. Los segmentos asociados al inicio del verbo final de cada oración fueron considerados desde los 200 ms antes del estímulo hasta los 800 ms después del estímulo. Los segmentos asociados a el inicio de la respuesta motora fueron considerados desde -500 ms respecto al milisegundo 0 de la respuesta motora hasta 1000 ms después de esta.

- Detección de artefactos: Esta herramienta detecta y marca automáticamente canales y segmentos defectuosos. Específicamente elimina los canales que presentan parpadeos y movimientos oculares; excluye los segmentos con parpadeos cuando se marcan canales defectuosos del registro completo y elimina canales marcados como malos en registros completos cuando se marcan segmentos malos (Electrical Geodesics, Inc. Net Station Waveform Tools Technical Manual, 2006).

En la presente investigación esta herramienta operó a través de los siguientes parámetros de la detección de Artefactos:

- Umbral de canal defectuoso: voltaje máximo – voltaje mínimo > 200 μ V. Segmento completo. Realizar una media móvil de 20 muestras.
 - Umbral de parpadeo: voltaje máximo – voltaje mínimo > 140 μ V. Tamaño de ventana: 160 muestras. Realizar una media móvil de 20 muestras. No excluir canal ocular derecho inferior, ni superior.
 - Umbral de movimientos oculares: voltaje máximo – voltaje mínimo > 55 μ V. Tamaño de ventana: 160 muestras. Realizar una media móvil de 20 muestras.
 - Marcar como canal defectuoso, si un canal se encuentra malo en más del 20% de los trials.
 - Marcar un segmento como defectuoso si contiene más de 10 canales defectuosos.
 - Marcar un segmento como defectuoso si contiene parpadeos.
 - Marcar un segmento como defectuoso si contiene movimientos oculares.
- Reemplazo de Canales Defectuosos: esta herramienta se utiliza para reemplazar los canales defectuosos en segmentos buenos. En cada uno de ellos reemplaza todas las muestras de los canales que están defectuosos con datos interpolados a partir de los canales restantes. Finalmente desactiva el estado de “canal defectuoso” (Electrical Geodesics, Inc. Net Station Waveform Tools Technical Manual, 2006). La interpolación

de datos consiste en utilizar una simulación esférica con dimensiones espaciales representadas por el azimut (ángulo que describe la posición en el plano del ecuador de la esfera) y la elevación (describe la posición con respecto a norte o sur). Las frecuencias espaciales en la esfera se definen en términos de las funciones de base ortogonal de las superficies esféricas, que se denominan Armónicos Esféricos. Estos armónicos esféricos son análogos a las funciones de seno y coseno de la descomposición de Fourier usada en el análisis espectral de las series de tiempo del electroencefalograma (Luu et al., 2001). La simulación esférica se basa en tres esferas concéntricas en donde las regiones correspondientes al cerebro, cráneo y cuero cabelludo tienen una única conductancia (Handy, 2005). Es necesario destacar que este instrumento genera una onda que es solo una aproximación de la señal original, ya que existe una limitación por la frecuencia espacial del sistema de electrodos y de la señal subyacente real actual. A mayor cantidad de electrodos, mayor precisión en el canal reconstruido. Con 128 electrodos (los utilizados en esta investigación) la reconstrucción de las señales defectuosas se considera excelente (Electrical Geodesics, Inc. Net Station Waveform Tools Technical Manual, 2006).

- Detección Visual de artefactos: los canales del EEG con artefactos visualmente detectables (Ej. Parpadeo, movimientos gruesos, etc.) fueron marcados como malos usando una herramienta de Net Station. Es el paso más extenso del pre-procesamiento de los registros electroencefalográficos, pues se examinan para cada sujeto, todos los segmentos de cada categoría (52 estímulos y 52 respuestas por cada una de las categorías –compatible, incompatible, neutral), marcando los canales con artefactos uno a uno (ver Figura 4).

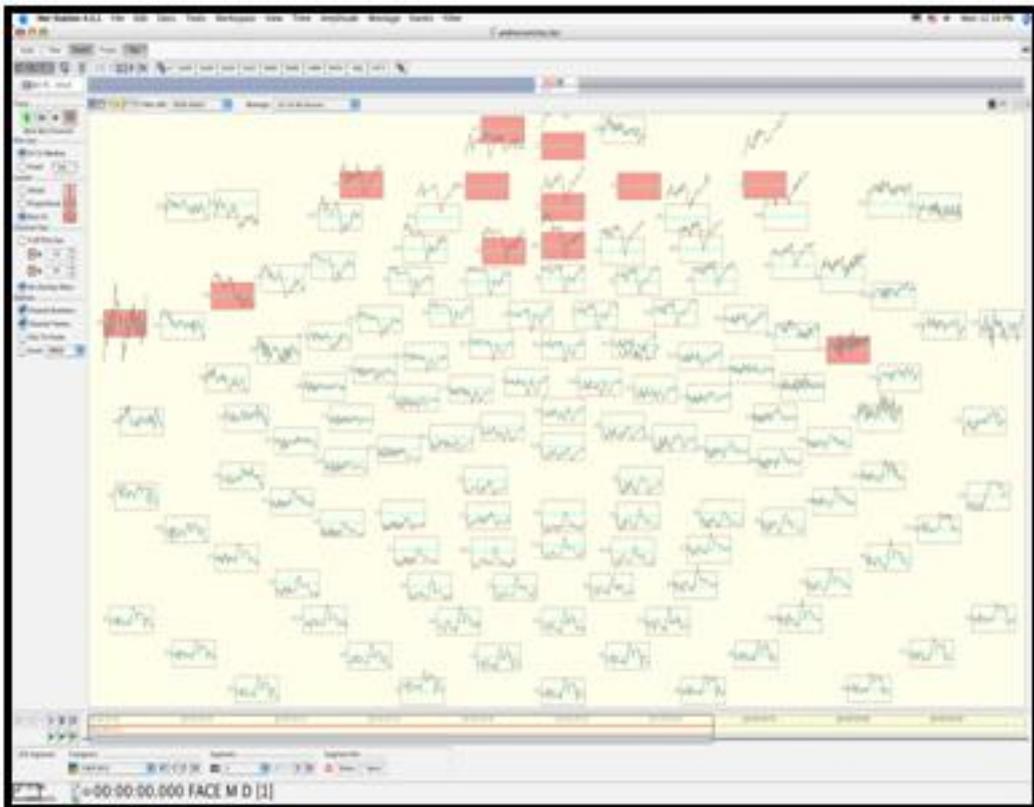


Figura 4. Ejemplo de rechazo de artefactos mediante la detección visual en un segmento.

Además, se aplicó un análisis de componentes independientes (ICA) y modelamiento adaptativo auto-regresivo para descartar artefactos y recuperar porciones de la señal.

- Promediación: En este paso se calcula un único segmento que es el promedio de todos los segmentos que no fueron marcados como defectuosos en cada una de las categorías creadas durante la segmentación.

- Corrección de línea de base: en este paso, se establece un nuevo valor de voltaje cero el que se basa en un intervalo de línea de base que el investigador selecciona. En este caso, la corrección (desde -200 a 0 ms) solo se utilizó para los segmentos de los estímulos (dado que los segmentos de la respuesta motora la señal del componente MP comienza alrededor de los -100 ms, por lo que estaría dentro de la ventana temporal de la línea de base).

6.3.8. Procedimiento de Análisis de Datos

Los tiempos de reacción (TR) fueron calculados para cada sujeto sobre la base de sus tiempos de respuesta en cada condición (compatible, incompatible y neutral). Los valores extremos de TR superiores a $+2.5$ SD fueron eliminados.

Para los ERPs, siguiendo una estrategia para la ubicación de canales reportada previamente (Ej. Gehring & Willoughby, 2002; San Martin et al., 2010), se llevó a cabo el análisis del curso temporal de nueve electrodos representativos (11(Fz), 24(F3), 36(C3), 52(P3), 62(Pz), 92(P4), 104(C4), 124(F4) y 129(Cz)) en las condiciones compatible, incompatible y neutral, para GMA y GMC. Luego de un análisis electrodo x categoría (ver ANEXO 2), para todos los ERPs, el sitio seleccionado fue vértex, ya que en esta ubicación se presentaron las mayores amplitudes y las diferencias entre categorías. La región Cz ha sido previamente reportada como el sitio principal para N400 (Lau et al., 2008) y para respuestas motoras (Smith & Staines, 2006). Aunque las figuras muestran electrodos individuales, para analizar los ERPs fue escogida una región de interés (ROI) conformada por los seis electrodos alrededor de la máxima de los MRCP y de N400 (vértex); consistentemente con previos reportes sobre la ubicación de la máxima de las respuestas motoras (Smith & Staines, 2006) y de N400-like (Kutas & Hillyard, 1980). La Figura 7 muestra la ubicación de los canales seleccionados.

Los ERPs fueron analizados considerando valores promedio. Los MRCP consistieron en dos componentes (similares a los reportados en Smith & Staines, 2006); un MP cuyo pick se dio entre los -90 y 50 ms que apreció inmediatamente después del *inicio* del movimiento. Siguiendo a este componente, una deflexión positiva, de morfología consistente con el RAP, tuvo su amplitud máxima entre los 200 y 300 ms después del inicio del movimiento. El componente N400-like fue analizado entre los 350-650 ms después del inicio del estímulo (el verbo crítico final).

Análisis estadístico

Para las medidas conductuales y las de ERP se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) con el grupo como factor entre-sujetos (GMA y GMC) y la categoría como factor intrasujeto (compatible, incompatible, y neutral). Por ejemplo, OMC en el GMA, y OMA en el GMC fueron consideradas como las categorías incompatibles (ver tabla 2). Un factor adicional, llamado contenido del estímulo (ON, OMA, OMC) se introdujo cuando fue necesario. El software Matlab y EEGLab fueron utilizados para el procesamiento *off-line* y para el análisis de los datos de ERP. Los resultados fueron corregidos con los métodos de Greenhouse-Geisser y Bonferroni para ajustar los resultados univariados

del ANOVA de medidas repetidas por violación del supuesto de uniformidad o simetría compuesta. El método HSD de Tuckey fue usado para calcular contrastes post hoc.

7. Resultados

7.1. Resultados conductuales

7.1.1 Efectos de contenido

Independiente de cualquier efecto de compatibilidad, un efecto del contenido del estímulo resultó significativo ($F(2, 48)=8.07$; $p<0.001$). Comparaciones post hoc ($MS= 776.34$; $df= 48.00$) mostraron que las ON produjeron respuestas más cortas ($M= 611$ ms, $SD=50$) en comparación a OMA ($M= 920$ ms, $SD=70$; $p< 0.001$) y OMC ($M= 793$, $SD=60$; trend: $p= 0.58$). No se encontraron diferencias entre OMA y OMC ($p=0.23$). Un efecto de grupo mostró una tendencia ($F(1, 24)= 3.48$, $p= 0.07$), sugiriendo un procesamiento más rápido de GMC ($M= 698$ ms, $SD= 58$) en comparación a GMA ($M= 852$ ms, $SD=58$).

7.1.2. ACE

Se encontró un fuerte efecto de categoría en ACE ($F(2, 48)= 8.07$, $p< 0.001$). La categoría incompatible presentó mayores TR ($M= 1034$ ms, $SD= 102$) comparada con la categoría compatible ($M= 679$ ms, $SD= 92$) y con la neutral ($M= 611$ ms, $SD= 70$). Respecto a las diferencias grupales (Figura 5), una interacción grupo x categoría fue significativa ($F(2, 48)= 10.57$, $p< 0.001$).

Ambos grupos presentaron ACE, aunque más acentuado en GMC. Las comparaciones post hoc realizadas sobre esta última interacción ($MS= 96.21$, $df= 67.00$), mostró que en GMC, las respuestas incompatibles ($M= 1015$ ms, $SD=99$) produjeron mayores TR comparadas con las compatibles ($M= 533$ ms, $SD= 85$; $p<0.001$) y neutras ($M= 545$ ms, $SD= 70$; $p< 0.005$). No se observaron diferencias entre los estímulos compatibles y neutrales ($p= 0.99$).

En GMA, las respuestas ante estímulos compatibles ($M= 826$ ms, $SD= 99$) fueron más cortas que en incompatibles ($M= 1053$ ms, $SD= 85$; $p< 0.05$). Los estímulos neutros ($M= 677$ ms; $SD= 70$) evidenciaron respuestas más cortas que las incompatibles ($p< 0.05$).

En resumen, los efectos conductuales en relación al contenido de los estímulos sugieren que las oraciones de verbos más predecibles (ON) implican respuestas más cortas comparadas con OMA y OMC.

El GMC presentó una tendencia hacia respuestas más rápidas.

Lo relevante fue que se encontró ACE en los dos grupos, aunque más acentuado en GMC.

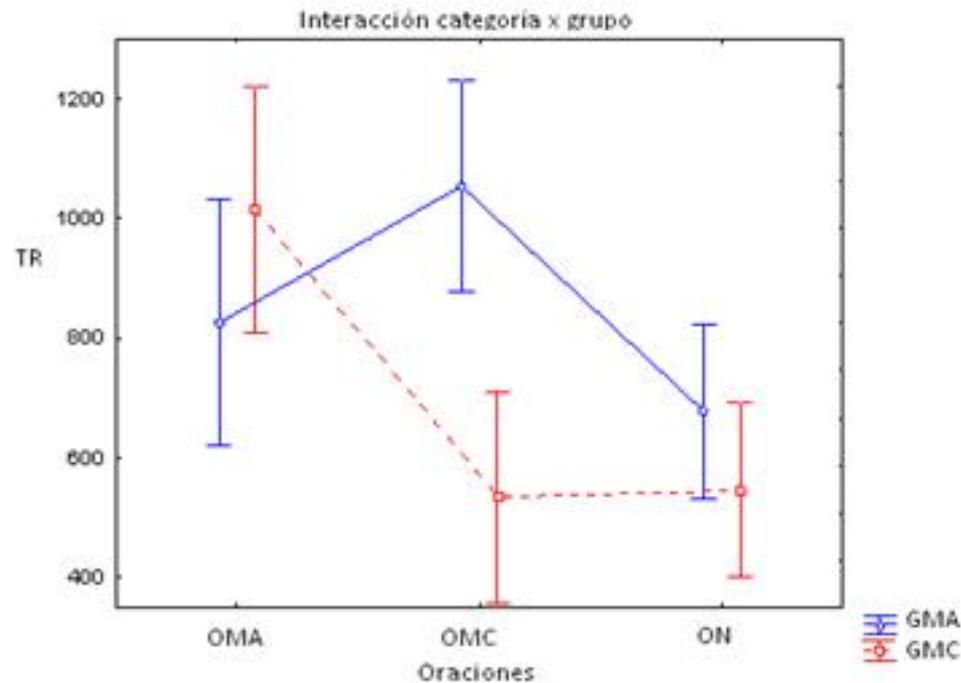


Figura 5: TR de ACE para GMA y GMC. En GMC, la categoría compatible es respecto de OMC y la incompatible de OMA. En el GMA, los efectos de compatibilidad e incompatibilidad fueron los opuestos. Las barras verticales indican intervalos de confianza del 0.95%.

7.2. Análisis de ERPs

7.2.1. Efectos relacionados al estímulo (N400-like)

Como muestra la Figura 6, los estímulos incompatibles exhibieron un componente N400-like alrededor de Cz, en ambos grupos. Un ANOVA con la categoría como factor intra-sujetos y el grupo como factor inter-sujetos produjo solo un efecto de categoría ($F(2, 48) = 65.27, p < 0.001$). La categoría incompatible ($M = -3.04 \mu V, SD = 0.33$) presentó valores más negativos comparados a las categorías compatible ($M = 0.06 \mu V, SD = 0.38$) y neutra ($M = 0.01 \mu V, SD = 0.14$). Las comparaciones post hoc mostraron diferencias estadísticas entre categorías compatible e incompatible ($p < 0.001$), como también entre las categorías neutral e incompatible ($p < 0.001$). Sin embargo, no se observaron diferencias entre las categorías neutral y compatible ($p = 0.99$). Tampoco se encontró un efecto de grupo ($F(1, 24) = 0.79; p = 0.38$) ni uno de interacción grupo x categoría ($F(2, 48) = 0.84; p = 0.43$).

Con el fin de evaluar si el contenido del estímulo afectaba también al componente N400-like, se introdujo un ANOVA con los factores contenido del estímulo y grupo. Como se expone en el ANEXO 3, las oraciones con contenido manual (OMA y OMC) evidenciaron mayores amplitudes de N400-like en comparación a ON, pero este efecto fue afectado por el tipo de respuesta (efecto de grupo). Ya que las ON fueron clasificadas como más

predecibles, este efecto puede ser explicado por la predictibilidad, un robusto modulador del componente N400 (Dambacher et al., 2006).

Los resultados generales de la amplitud de N400-like sugieren la existencia de un ACE que discriminó los estímulos incompatibles de los compatibles y de los neutrales. Además, este componente parece ser afectado por la predictibilidad de las oraciones, en tanto que OMA y OMC implicaron amplitudes más negativas que ON. No se encontraron diferencias de grupo en este componente.

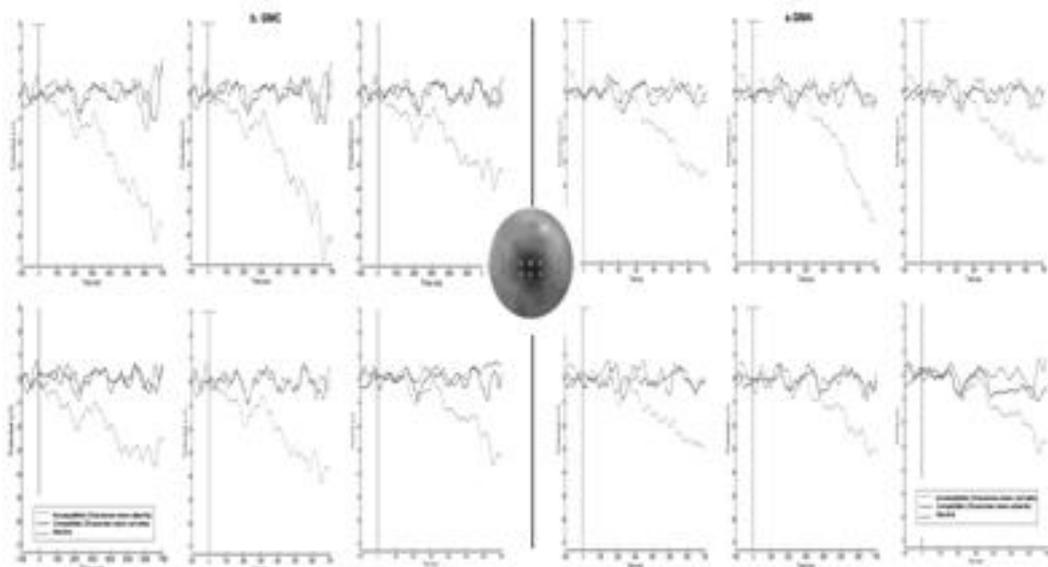


Figura 6 Efecto N400-like para GMA y GMC. La ubicación de los electrodos seleccionados sobre Cz se muestra en el círculo gris. Note que los estímulos incompatibles que implican mayores amplitudes de N400-like son OMA en GMC (Figura 6.A) y OMC en GMA (Figura 6.B)

7.2.2. Efectos relacionados a la respuesta (Potenciales motores)

MP (-90 a 50 ms)

En la ventana temporal temprana relacionada a la respuesta se observó un efecto de categoría ($F(2, 48) = 32.85$; $p < 0.001$). En oposición a los componentes N400-like, los efectos post hoc ($MS = 28.01$, $df = 48$) indicaron una amplitud mayor para la categoría compatible ($M = -21.39 \mu V$, $SD = 1.75$; $p < 0.001$), comparada con la incompatible ($M = -11.14 \mu V$, $SD = 1.36$; $p < 0.001$) y comparada con la neutra ($M = -11.03 \mu V$, $SD = 0.91$). No se observaron diferencias entre estas últimas categorías ($p = 0.99$). La Figura 7.A muestra los efectos de compatibilidad y el potencial de diferencia, y la Figura 7.B ilustra los mapas de voltaje.

Además, se observó una interacción de categoría x grupo ($F(2, 48) = 8.21$, $p < 0.001$). Aunque los dos grupos presentaron el mismo patrón, esto es, que las categorías compatibles implicaron mayores amplitudes, este efecto fue más pronunciado en el GMC (ver Figura 7.C). Contrastes post hoc realizados sobre esta última interacción confirmaron que los efectos de compatibilidad fueron mayores en GMC (ver ANEXO 4). Solo en este grupo los efectos de compatibilidad post hoc resultaron estadísticamente significativos.

En resumen, el MP producido por la respuesta motora fue modulado por efectos de compatibilidad, sugiriendo una facilitación de compatibilidad acción-oración. Además, este efecto fue más acentuado en GMC.

RAP (200-300 ms)

El análisis de los efectos motores tardíos (RAP) dio resultados similares a MP. Nuevamente, se observó modulación por compatibilidad ($F(2, 48) = 44.56, p < 0.001$). Contrastes post hoc ($MS = 12.11, df = 48$) sobre este efecto indicaron que los estímulos compatibles produjeron una mayor positividad ($M = 13.79 \mu V, SD = 1.007$) que los incompatibles ($M = 5.92 \mu V, SD = 0.86; p < 0.001$) y los neutros ($M = 5.88 \mu V, SD = 0.56; p < 0.001$). También se encontró un efecto de interacción de grupo x categoría ($F(2, 48) = 12.7; p < 0.001$). Contrastes post hoc ($MS = 13.47, df = 70.54$) mostraron efectos similares a los obtenidos por GMC y GMA en el MP (ver ANEXO 5)

En conclusión, RAP pareciera ser afectado por la compatibilidad, sugiriendo una mayor facilitación motora en respuesta a estímulos compatibles. Sin embargo, cuando se consideró un contraste de grupos, este efecto solo fue significativo en GMC.

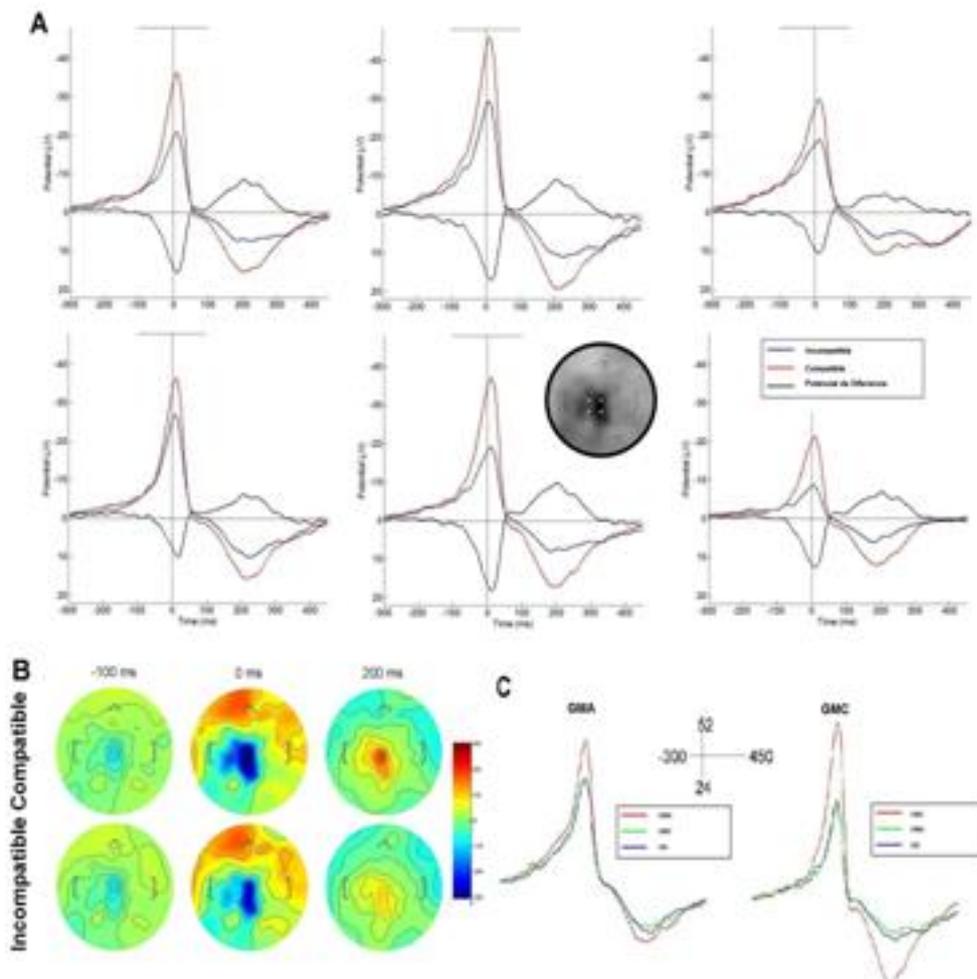


Figura 7. ERPs de la respuesta motora. A) efectos de compatibilidad y potencial de diferencia para MP y RAP B) mapas de voltaje de las categorías compatible e incompatible en los -100, 0 y 200 ms. C) electrodos seleccionados

(Cz) mostrando los efectos de compatibilidad en GMA y GMC. La ubicación de los electrodos seleccionados se muestra en el círculo gris dentro de la figura.

8. Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo estudiar la interacción entre la comprensión de oraciones de acción y los procesos motores, mediante el análisis de los TR y de los correlatos neurofisiológicos del procesamiento de estímulos semánticos y respuestas motoras.

Este trabajo se realizó bajo la hipótesis de que el procesamiento de oraciones de acción y la actividad motora comparten redes neuronales comunes que están a la base del proceso cognitivo general de la comprensión²⁴.

Los resultados de nuestro experimento revelaron, coincidiendo con investigaciones previas en el área (Bergen & Chang 2005; Glenberg et al., 2008a, 2008b; Glenberg & Kaschak, 2002; Taylor & Zwaan, 2008; Wheeler, & Bergen, In press; Zwaan & Taylor, 2006) la existencia de un efecto de compatibilidad acción-oración. En este diseño, el efecto de compatibilidad estuvo basado en la interacción entre la forma de la mano al responder (MC o MA) y la forma de la mano implicada en la acción contenida por la oración.

En primer lugar, respecto de los resultados conductuales, tal como se esperaba, los sujetos respondieron más rápido cuando la forma de la mano requerida al responder era compatible con la forma de la mano implicada en la oración. En esta misma línea, los TR fueron significativamente más lentos cuando la acción y la oración eran incompatibles. Esto puede ser interpretado como una evidencia de que el efecto de compatibilidad acción-oración produce un *priming* bidireccional en la ejecución y en la comprensión, incluso al nivel de características específicas del movimiento (como la forma de la mano) y con oraciones en tercera persona (ver también Wheeler & Bergen, In press). Respecto de las ON, los datos conductuales mostraron que este tipo de oración produjo respuestas más rápidas que las oraciones con acción manual implicada. Como se explicó anteriormente, es probable que la mejor explicación para la rapidez de respuesta en la condición neutra sea que se debe a un efecto de predictibilidad.

Ahora bien, respecto de los ERPs analizados, estos no solo revelaron que (a) el proceso semántico tiene un impacto sobre la acción, como ya pregonaban los estudios conductuales en ACE, sino también que (b) el proceso motor afecta la comprensión: (a) las mayores amplitudes de MP y RAP en la condición compatible mostraron que el *priming* semántico ocurre de forma bimodal afectando el programa motor. En primer lugar, ya que la amplitud de MP está asociada con la rapidez y la precisión del movimiento, los componentes de mayor amplitud encontrados en la condición compatible sugieren que la respuesta es facilitada por el contenido de la oración. En segundo lugar, RAP, como un indicador de procesos atencionales, evidenció una facilitación semántica. Ello sugiere que las respuestas optimizadas de la condición compatible podrían estar mediadas por una atención *bottom-up* focalizada en la información relevante de la tarea. (b) Por otro lado, también encontramos un efecto N400-like en la condición incompatible, lo que sugiere que

²⁴ La construcción del sentido completo de una situación, en tanto depende de diferentes variables, como por ejemplo, la lingüística o la corporal (*online*, como tonos, gestos, sintaxis, etc., y *offline*, como conocimiento semántico-motor), genera una coordinación de funciones cognitivas en una actividad intencional, la comprensión. Y el sentido, en tanto se accede a él a través del proceso intencional de comprensión tendría una base experiencial en el sujeto que lo construye.

el sistema motor, activado por la preparación de la mano, produce una interferencia con los procesos semánticos implicados en la comprensión de la oración. Por lo tanto, el verbo final, (que completa el sentido de la acción implicada por toda la oración y con ello determina la forma manual), fue más difícil de integrar cuando no era compatible con la forma real de la mano requerida por la respuesta. En conjunto, los tres componentes sugieren que la información semántica y la información motora son integradas de manera bidireccional.

Resultados generales

El análisis de los datos conductuales y de los ERPs, revelaron que la comprensión de oraciones de acción tuvo un efecto de compatibilidad en el proceso motor en curso. Además, el análisis de ERPs, como una excelente herramienta para investigar los mecanismos temporales y funcionales que sostienen la comprensión del lenguaje, contribuyó a una mejor comprensión de ACE y reveló que la relación entre el sistema motor y el lenguaje no es unidireccional.

La latencia más corta del tiempo de reacción en la condición compatible es un indicador de que la acción fue facilitada efectivamente por la oración, provocando un movimiento más rápido y preciso. Esto fue confirmado a nivel cortical con una mayor amplitud de MP, asociada con la rapidez motora y el control de la fuerza (Hatta et al., 2009; Slobounov et al., 2002) que ocurrió en dicha condición. Como será abordado más adelante, este efecto de facilitación también tuvo una correspondencia cortical, ya que se encontraron RAP de mayor amplitud cuando la acción y la oración coincidían, sugiriendo un incremento de los recursos de atención *bottom-up* para facilitar la precisión y rapidez de la respuesta.

Con respecto a la relación entre los datos conductuales y los de ERPs en la condición neutral, se encontró un efecto de N400-like similar a la condición compatible y también tiempos de reacción más cortos. Estos resultados pueden explicarse porque, en primer lugar, las ON no presentan dificultades de integración semántica de la acción, puesto que en su procesamiento no hay sustratos neuronales compartidos con el movimiento (de forma compatible/incompatible). Además, como hemos detallado en la sección de Materiales y Métodos, la lista de ON posee oraciones con finales más predecibles que las otras dos listas. Entonces, si se asume que durante la comprensión, la información motora compatible produce un efecto de predictibilidad, es decir, que el verbo final se vuelve más predecible, la condición compatible se acercará a las condiciones de mayor predictibilidad de ON. Así, considerando estos dos argumentos, es posible dar cuenta de la aproximación entre la condición compatible y la neutral, sobre todo teniendo en cuenta que la predictibilidad modula el N400, pues cuando esta es mayor se facilita la integración semántica (Dambacher et al., 2006; Kleiman, 1980; Kliegl et al., 2004, 2006).

Efectos Semánticos

La negatividad suscitada por los estímulos incompatibles, tanto en el GMA como en el GMC, es similar al componente N400 que usualmente se ha observado en las incongruencias semánticas (Kutas & Federmeier, 2000; Van Petten, 1995). Así, cuando los sujetos se preparaban para la acción (Ej. teniendo la mano en el botón con MC), la presentación de la oración cuyo contenido implicaba una forma manual incompatible (Ej. *El espectáculo era digno de alabanza, Rocío aplaudió*) provocó un componente N400 más amplio que las oraciones compatibles (MC en el ejemplo *Tenía que clavar el clavo muy derecho, José lo martilló*). Este componente podría estar dando cuenta de una interferencia entre los recursos de la comprensión de oraciones de acción y los de la activación del sistema motor. El proceso semántico no se encuentra relacionado solo con el estímulo lingüístico, sino que también con las propiedades motoras de la tarea, generando así una

activación bi-dimensional que podría haber influido en el procesamiento durante la aparición del verbo relevante. Como revisamos en apartados anteriores, existen varios reportes de efectos N400-like que no se restringen únicamente a estímulos lingüísticos (Holcomb et al., 1994; Ibañez et al., 2010; Koelsch et al., 2004; para una revisión ver Van Petten & Luka, 2006). En consecuencia, los efectos de N400 sugieren una integración bimodal de estímulos con significado.

Efectos Motores

En la etapa temprana de la respuesta motora (entre -90 ms y 50 ms), reportamos mayores amplitudes de MP en la condición compatible. Previos estudios han señalado que existe una relación cercana entre el MP y la respuesta motora cerebral (asociada a fuerza, precisión del movimiento y rapidez; Hatta et al., 2009; Slobounov et al., 2002;). Así, las mayores amplitudes del MP indicaron que en la condición compatible hubo mayor actividad de la corteza motora debido a que el movimiento fue realizado de forma más rápida y precisa. Esto podría sugerir que el *priming* semántico facilita las acciones compatibles. Más aún, este efecto de acción-oración fue modulado por una característica muy específica del movimiento, como lo es la forma de la mano. Las diferencias entre las condiciones de este experimento, no se relacionaron con aspectos generales de la acción motora, como los efectores o la dirección del movimiento, utilizados en la mayoría de los estudios de ACE (Glenberg & Kaschak, 2002). Por el contrario, la diferencia recayó en un fino aspecto de la acción manual (forma de la mano) que quedó demostrado en la modulación de MP.

El RAP, un potencial de re-aferencia, también se incrementó en la condición compatible. Se ha demostrado en otros estudios que el incremento del *input* aferente es indicador de una mayor atención y de un *feedback* propioceptivo (Eversheim & Bock, 2001; Seitz & Roland, 1992). Durante el movimiento de la extremidad, la información somatosensorial es necesaria para el ajuste preciso de las inervaciones musculares (Bötzel et al., 1997). Como dedujimos de los datos de MP, la condición compatible pareciera haber producido movimientos de respuesta más precisos, probablemente debido a la facilitación del programa motor. En este caso, el *priming* semántico involucró una atención *bottom-up* bimodal: cuando el contenido de la acción de la respuesta motora fue compatible con el contenido de la oración, los estados de preparación motora selectivamente se modularon en base a la información compatible de la tarea, mejorando el rendimiento del movimiento. En consecuencia, el efecto de facilitación de la información semántica podría ser inducido por una focalización de la atención automática hacia aspectos semánticamente relacionados. Se ha probado que el incremento de aspectos atencionales de una tarea de movimiento aumenta la magnitud de RAP (Dirnberger et al. 2000).

Efectos grupales.

En el GMC, encontramos TR más bajos en la condición compatible y una tendencia a movimientos más rápidos para todas las categorías. Esto puede ser explicado por un efecto de fuerza. Muscularmente, MC involucra la contracción de los flexores del antebrazo, similar a lo que sucede en la acción de *agarrar algo*, implicando más fuerza muscular que MA (Tops, 2006). La contracción de los músculos está relacionada a la actividad preparatoria que normalmente incrementa la fuerza del movimiento y por lo tanto la velocidad de la respuesta.

Los valores absolutos mayores del MP en GMC también pueden ser entendidos en base a la fuerza que implica la contracción muscular y la precisión de MC en comparación con MA. Esto, en tanto, como ya hemos visto, la mayor amplitud de MP es un indicador de la fuerza de contracción muscular (Colebatch, 2007).

Ambos componentes, MP y RAP, presentaron mayores amplitudes en el GMC. Como fue detallado en la sección de Materiales y Métodos, las acciones de OMC fueron clasificadas como más prototípicas en relación a la forma de la mano. Cuando esta mayor prototipicidad se combina con la compatibilidad entre la oración y la acción podría esperarse una intensificación del efecto facilitador, debido al reforzamiento de la misma información acerca de cómo es la forma de la mano del movimiento. Aunque en las oraciones menos prototípicas (OMA) el efecto facilitador también estuvo presente en la condición compatible (realizada por el GMA), este efecto fue menor que en el caso de la compatibilidad de la acción con los estímulos más prototípicos (OMC). En consecuencia, las OMC fueron más fáciles de realizar con el movimiento compatible de la mano (GMC) que las OMA realizadas con su movimiento compatible (GMA), debido a las diferencias de prototipicidad.

Aportes relevantes de este estudio

Nuestra investigación es la primera en proveer los correlatos electrofisiológicos de ACE. El paradigma de ACE fue diseñado para respaldar la idea de que el sistema motor se encuentra a la base de la comprensión del lenguaje (Glenberg & Kaschak, 2002). Sin embargo, como hemos revisado anteriormente, los resultados conductuales de ACE solo reportan evidencias de un efecto de *priming* del conocimiento semántico en la acción motora a nivel conductual. Por tanto el ACE tal como ha sido previamente reportado, no brinda evidencia suficiente para argumentar el efecto inverso (que la acción motora modula la comprensión de oraciones).

Glenberg et al. (2008a) reportaron una modulación en la actividad de los músculos de la mano durante la lectura de oraciones que describían la transferencia de objetos con la mano (*Le das una pizza a Andy*). Este reporte parece sugerir que el procesamiento en curso del lenguaje activa el sistema motor. Así, se ha propuesto que la relación acción-oración no es solo unidireccional, de tal manera que además de existir una facilitación motora por la oración, también habría un impacto en la comprensión de oraciones producido por la activación motora. No obstante, la sola activación del sistema muscular periférico no logra dar cuenta de un real impacto sobre la comprensión del lenguaje.

Los hallazgos de nuestro estudio proveen un correlato electrofisiológico de la semántica de la acción bajo la forma de un efecto N400-like. De esta manera, nuestros resultados sugieren que la incompatibilidad del proceso motor afecta la comprensión de la oración de manera semántica. Así, la activación multidimensional puede influenciar el procesamiento ocurrido justo después de la aparición de la palabra crítica de la oración. En consecuencia, los marcadores cerebrales de ACE reportados por esta investigación otorgan una evidencia respecto del procesamiento semántico, que no fue claramente alcanzada en los previos estudios conductuales de ACE.

Mientras numerosos trabajos han demostrado que la comprensión de lenguaje de acción afecta la conducta motora (Ej. Boulenger et al., 2006; Gentilucci & Gangitano, 1998; Glenberg & Kaschak, 2002; Wheeler & Bergen, In press), el presente estudio también muestra que la actividad motora contribuye a la comprensión de oraciones de acción. El efecto N400-like sugiere la existencia de una interferencia semántica en la acción codificada por la oración si la acción motora es incompatible. El procesamiento semántico específico es afectado por la forma real de la mano. Así, en este experimento nos enfocamos tanto en la tarea motora, como también en la comprensión del lenguaje, para revelar la genuina integración entre el proceso motor y la comprensión de la oración. Ambos procesos parecen reforzarse mutuamente, dando forma a una combinación bimodal en tiempo real. En este sentido, nuestros resultados muestran medidas cerebrales en curso (y no post-oracionales) de la activación de procesos motores durante la comprensión de lenguaje (ver Glenberg

et al., 2008a). Ya que en el paradigma de ACE los tiempos de reacción son medidos solo después de que la oración es completamente presentada, estos estudios no pueden descontar la posibilidad de un epifenómeno posterior al proceso de comprensión; por ejemplo, la preparación para la acción (en lugar de un proceso real de integración entre recursos motores y del lenguaje *durante* la comprensión). Nuestro estudio muestra que la interacción acción-oración implica una integración *online* (durante la ventana del N400-like) y no solo post-oracional en la etapa de la respuesta motora (MP y RAP). Podríamos sostener entonces que ACE implica una auténtica interacción cerebral en curso entre el lenguaje y el sistema motor.

Si bien existen previos reportes de marcadores neuronales de la interferencia acción-lenguaje, estos han sido únicamente a nivel de lexemas. Para investigar cómo se accede al significado de una oración mediante la interacción entre el lenguaje de acción y el sistema motor, se necesita tomar en cuenta cómo el contexto modifica al verbo de acción. Al respecto hemos previamente reportado que el N400 se modula en función de distintos grados de incongruencia semántica contextual en una oración; y que dicha modulación está afectada en patologías neuropsiquiátricas que presentan déficits acentuados en aspectos contextuales y pragmáticos del lenguaje (Ibañez, Riveros, Aravena et al., 2010).

En este estudio reportamos los correlatos corticales a nivel oracional para dar cuenta de la extensión del efecto desde el nivel léxico a un nivel contextualizado. Comprender la especificidad de la acción descrita por el nivel léxico del verbo (Ej. *mostrar*) requiere una integración semántica *online* con el resto de la oración (*La gitana le iba a leer la mano, Josefa se la mostró*). Así, para determinar las propiedades específicas y para suscitar la forma manual pretendida del verbo *mostrar* es necesario integrarlo en la constelación verbal donde interactúa con el objeto directo *manoy* con la situación denotada por el contexto.

Otra contribución particular de nuestro estudio es que, como ya hemos detallado, mientras la mayoría de la investigación en ACE ha evaluado aspectos generales de las acciones motoras, como el efector o la dirección del movimiento (pero ver Wheeler & Bergen, In press), nosotros manipulamos aspectos más finos de la acción (forma de la mano) a nivel conductual y cortical.

Además, en contraste con la mayoría de los experimentos previos en ACE, en este estudio solamente fueron utilizadas oraciones referidas a una tercera persona. No se usaron oraciones en primera persona con el fin de evadir la posibilidad de explicar las interacciones lenguaje-acción mediante la imaginería mental. Consideramos que para explorar el rol del sistema motor en la comprensión de oraciones, es importante atenuar la posibilidad de que esta actividad provenga de la imaginería mental inducida por el contenido de la oración en primera persona. Si el proceso motor cortical activado por la oración fuera resultado de la imaginería, su rol funcional en la comprensión seguiría siendo vago y ambiguo (Boulenger et al., 2008). Las oraciones en tercera persona del presente estudio atenúan la posibilidad de que existan efectos de imaginería sobre la activación motora, evadiendo la perspectiva de primera persona, que ha sido mostrada como un componente crítico de la imaginería mental de acciones (Ruby & Decety, 2001).

Finalmente, nuestros resultados abren muchas vías de investigación novedosas. Por ejemplo, podría ser muy interesante el estudio de los efectos de compatibilidad acción-oración en patologías neurodegenerativas motoras. En un estudio preeliminar (Cardona et al., 2010) hemos encontrado que pacientes con diagnóstico temprano de enfermedad de Parkinson (EP; una patología que afecta estructuras motoras subcorticales) y pacientes con Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA; una patología de la motoneurona cortical), presentan déficits marcados en tareas de compatibilidad acción-oración. Dichos resultados

no se explican por otros déficits cognitivos y están correlacionados con la capacidad de comprensión de lenguaje de acción. Los déficits en ELA son mayores que en EP, sugiriendo que en la interacción lenguaje-sistema motor las áreas corticales motoras son más relevantes que las subcorticales motoras. Futuros trabajos, con paradigmas de acción-oración para estudiar marcadores cerebrales como los presentados en esta tesis, podrán arrojar datos precisos sobre el rol causal de redes neuronales motoras anormales en el lenguaje.

Limitaciones

Cuán necesaria y esencial es la contribución del proceso motor para la comprensión de lenguaje, es una cuestión que aún no está clara. En primer lugar, la evidencia de los efectos del sistema motor en la comprensión, sostenida por esta investigación, da cuenta de un fenómeno necesario, pero no suficiente para argumentar una postura radical de la corporeización del lenguaje. Más bien, estos resultados son solo una demostración de que múltiples áreas del cerebro están involucradas sistemáticamente en la comprensión, lo que sugiere una co-operación de los recursos semánticos y motores. Por lo tanto, se requieren investigaciones sobre la implicación causal del sistema motor en ACE, así como también, acerca de efectos semánticos más específicos en el sistema motor.

Por otra parte, un problema en el diseño experimental de este estudio fue la dificultad de lograr un completo balance entre categorías en relación a la prototipicidad. Durante el proceso de la construcción de oraciones encontramos que muchos verbos de MC implicaban la forma manual de manera más inherente sin necesitar restricción contextual (Ej. el verbo *martillar* no necesita un objeto directo para que se comprenda la MC implicada por la acción). Contrariamente, muchas acciones que requieren MA implican verbos cuya semántica intrínseca promueve menos acentuadamente la forma manual específica. Así, en general, la restricción contextual debe ser mayor para denotar MA que para denotar MC. Por sí mismo un verbo como *llevar* no necesariamente implica MA. Uno bien puede *llevar una bandeja*, situación que sí implica MA, pero en muchos otros marcos contextuales *llevar* puede no implicar esta forma manual (Ej. *llevar pasajeros un tren*, *llevar mucho tiempo separados unos amantes*, *llevar al triunfo una jugada*, *llevar la cuenta de oraciones con el verbo llevar*). De esta manera, un verbo que refiera una acción prototípica tendrá, en este sentido, restricciones predicativas o seleccionales mucho más fuertes, o al menos, cuando tomen otros sujetos u objetos habrá lecturas más polisémicas.

En ambos grupos y en las dos categorías se presentó ACE, por lo que probablemente los efectos motores inducidos por el lenguaje fueron modulados por la totalidad de la oración (cuando la información es integrada). Sin embargo, si el efecto de compatibilidad es incrementado por el nivel léxico de los verbos críticos o por el evento de la oración completa, constituye aún un enigma. Futuros trabajos deberán investigar las diferencias entre el contexto de la oración de acción y la semántica inherente del verbo, en relación a la modulación de los efectos motores inducidos por el lenguaje.

Otra restricción de este estudio es que no muestra directamente que la activación motora es evocada durante la comprensión "normal" de lenguaje sin la necesidad de realizar una acción (apretar el botón). En nuestro diseño, las respuestas eran requeridas con el fin de obtener ERPs motores. No obstante, diseños que no contemplen movimientos explícitos se podrían comparar con los presentes resultados al nivel motor (midendo la actividad periférica muscular) y a nivel semántico (N400).

Otra salvedad es que este diseño no nos permitió determinar la etapa temprana del MRP, conocido como Bereitschaftspotential (BP). Primero, porque la variabilidad inter-

individuo para este componente es tan extrema que este último puede incluso estar ausente en algunos participantes (Colebatch, 2007; Deecke et al., 1976). Además, como nuestro paradigma no poseía una ventana de 2 s inter-estímulos necesaria para el registro del BP, no era esperable evidenciar tal componente. Por otra parte, para observar el BP en la forma clásica, los participantes deben moverse irregularmente, no repetitivamente y no tan rápido (Colebatch, 2007), características claramente ausentes en este diseño. Futuros experimentos, bien diseñados para el estudio de BP, podrían dar cuenta de una posible modulación de este componente por ACE.

9. Conclusión

El presente estudio es el primero en proveer los marcadores cerebrales de ACE al nivel del procesamiento del estímulo y de la respuesta motora. Un efecto N400-like asociado a la categoría incompatible fue identificado, sugiriendo que la incongruencia de los procesos motores interfiere en la comprensión de la oración a nivel semántico. Mayores amplitudes de MP y RAP en la condición compatible sugirieron que el *priming* semántico facilita el movimiento para responder. Así, nuestros resultados demuestran, mediante la comparación de los ERPs del procesamiento de la oración y de la respuesta motora, la interacción entre el procesamiento de oraciones de acción y los procesos motores. Juntos, los tres ERPs investigados, indican que los procesos semánticos de la oración y la acción motora son integrados de manera bidireccional.

Referencias

- Anderson, M. (2003). Embodied cognition: A field guide. *Artificial Intelligence*, 149, 91-130.
- Aravena, P. (2008) Lenguaje de Acción y Acción, un continuum. Anuario de Posgrado 8 de la Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad de Chile.
- Aravena P., Hurtado E., Riveros R., Cardona F., Ibañez A. Applauding with closed hands. Neural signature of action sentence compatibility effects. Plos One (Submitted).
- Barber, H. & Kutas, M. (2007) Interplay between computational models and cognitive electrophysiology in visual word recognition, *Brain Res. Brain Res. Rev.* 53 pp. 98–123.
- Barutta J., Aravena P., Ibañez A. (2010. In press). The Machine Paradigm and Alternative Approaches in Cognitive Sciences. *Integrative Psychological and behavioral Sciences*, 23, DOI: 10.1007/s12124-010-9116-9[Epub ahead of print]
- Bechtel, W. y Graham, G. (1998). *A companion to cognitive science*. Oxford, Blackwell.
- Bergen, B., & Chang, N. (2005). Embodied construction grammar in simulation based language understanding. In J.-O. Östman & M. Fried (Eds.), *Construction*
- Bergen, B.K., Lindsay, S., Matlock & Narayanan, S. (2007). Spatial and linguistic aspects of visual imagery in sentence comprehension. *Cognitive Science.*, 31, 733–764.
- Besson M, Macar F. (1987) An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*; 24: 14-25.
- Bookheimer S. (2002). Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annu Rev Neurosci*, 25:151-88.
- Borghi, A. M., Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2004). Putting words in perspective. *Mem.Cognit.*, 32, 863-873.
- Borreggine, K. L., & Kaschak, M. P. (2006). The action–sentence compatibility effect: It's all in the timing. *Cognitive Science*, 30, 1097–1112.
- Bötzel, K., Ecker, C., & Schulze, S. (1997). Topography and dipole analysis of refferent electrical brain activity following the Bereitschaftspotential. *Exp.Brain Res.*, 114, 352-361.
- Boulenger, V., Roy, A. C., Paulignan, Y., Deprez, V., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2006). Cross-talk between language processes and overt motor behavior in the first 200 msec of processing. *J.Cogn Neurosci.*, 18, 1607-1615.
- Boulenger, V., Silber, B. Y., Roy, A. C., Paulignan, Y., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Subliminal display of action words interferes with motor planning: a combined EEG and kinematic study. *J.Physiol Paris*, 102, 130-136.

- Brighton, H., Smith, K., & Kirby, S. (2003). Situated cognition and the role of multi-agent models in explaining language structure. In D. Kudenko, E. Alonso, D. Kazakov (Eds), *Adaptive agents and multi-agents systems: adaptation and multi-agent learning*. NY: Springer.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 24, 355-363.
- Burgess, C., & Lund, K. (1997). Modeling parsing constraints with high dimensional context space. *Language & Cognitive Processes*, 12, 177-210.
- Buschman, T.J. and Miller, E.K. (2007) Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315: 1860-1862
- Cardona J., Manes F., Chade A., Roca M., Sierra N., Pose M., Dubrosky A., Aravena P., Ibañez A. (2010) Early motor-dependent impairments of verbal processing in Parkinson Disease and Amyotrophic Lateral Sclerosis. 14th international Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MIT Press.
- Chomsky, N. (1980). Rules and representations. New York: Columbia University Press.
- Clark, A. & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58, 10-23.
- Clark, A. (1997). *Being there: Putting brain, body and world together again*. Cambridge: MIT Press.
- Clark, A. (2001). Reasons, robots and the extended mind. *Mind and language*, 16, 121-145.
- Cole, M. & Engeström, Y. (1991). A cultural historical approach to distributed cognition. In G. Salomon (Ed.), *Distributed Cognition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Colebatch, J. G. (2007). Bereitschaftspotential and movement-related potentials: origin, significance, and application in disorders of human movement. *Mov Disord.*, 22, 601-610.
- Cornejo, C., Simonetti, F., Ibañez, A., Aldunate, N., Ceric, F., Lopez, V. et al. (2009). Gesture and metaphor comprehension: electrophysiological evidence of cross-modal coordination by audiovisual stimulation. *Brain Cogn*, 70, 42-52.
- Croft, W. (2000). *Explaining language change: an evolutionary approach*. NY:
- Cuenca M. & Hilferty H. (1999) *Introducción a la lingüística cognitiva*, Barcelona, Ariel.
- Dalla Volta R, Gianelli C, Campione GC, Gentilucci M. (2009). Action word understanding and overt motor behavior. *Exp Brain Res*;196(3):403-12.
- Dambacher, M., Kliegl, R., Hofmann, M., & Jacobs, A. M. (2006). Frequency and predictability effects on event-related potentials during reading. *Brain Res.*, 1084, 89-103.
- Davidson, D., (2001), *Subjective, intersubjective, objective*, Oxford University Press, New York.
- De Gelder, B. (2006). Towards the neurobiology of emotional body language. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 242–249.

- De Vega, M. (in press). Levels of embodied meaning: From pointing to counterfactuals. In A. M. Glenberg, M. de Vega, & A. C. Graesser (Eds.), *The Garachico Workshop on Symbols and Embodiment*. Oxford, England: Oxford University Press
- Deecke, L. (1987). Bereitschaftspotential as an indicator of movement preparation in supplementary motor area and motor cortex. *Ciba Found.Symp.*, 132, 231-250.
- Diamond, M. E., von, H. M., Knutsen, P. M., Kleinfeld, D., & Ahissar, E. (2008). 'Where' and 'what' in the whisker sensorimotor system. *Nat.Rev.Neurosci.*, 9, 601-612.
- Dik, S. (1978). *Functional Grammar*, North-Holland: Amsterdam.
- Diriwächter, R. (2004). Völkerpsychologie: the synthesis that never was. *Culture & Psychology*, 10(1), 85-109.
- Dirnberger, G., Reumann, M., Endl, W., Lindinger, G., Lang, W., & Rothwell, J. C. (2000). Dissociation of motor preparation from memory and attentional processes using movement-related cortical potentials. *Exp.Brain Res.*, 135, 231-240.
- Ehrsson, H. H., Geyer, S., & Naito, E. (2003). Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. *J.Neurophysiol.*, 90, 3304-3316.
- Electrical Geodesics, Inc. (2007) Geodesic Sensor Net Technical Manual.
- Electrical Geodesics, Inc. (2006) Net Station Waveform Tools Technical Manual.
- Ellis R, Tucker M. (2000). Micro-affordance: the potentiation of components of action by seen objects. *Br J Psychol*, 91 (Pt 4):451-71.
- Eversheim, U., Bock, O., (2001). Evidence for processing stages in skill acquisition: a dual-task study. *Learn. Mem.* 8, 183–189.
- Fischer, M. H. & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: a review of the role of the motor system in language comprehension. *Q.J.Exp.Psychol.(Colchester.)*, 61, 825-850.
- Fischler, I. & Bloom, P. A. (1979). Automatic and attentional processes in the effects of sentence contexts on word recognition. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 1-20.
- Fodor, J. (2000). *The mind doesn't work that way*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fuster, J. M. (2003). *Cortex and mind*. New York: Oxford University Press
- Gainoti, G. (1985). Constructional apraxia. In: P.J. Vinken, G.W. Bruyn and H.L.
- Gehring, W. J. & Willoughby, A. R. (2002). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science*, 295, 2279-2282.
- Gentilucci, M. & Gangitano, M. (1998). Influence of automatic word reading on motor control. *Eur.J.Neurosci.*, 10, 752-756.
- Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C, Agid Y, Le Bihan D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex*, 10(11):1093-104.
- Geschwind N. (1970). The organization of language and the brain. *Science*, 27;170(961):940-4.
- Givon (1979). *On understanding grammar*. NY: Academic Press.

- Glenberg, A. M. & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychon.Bull.Rev.*, 9, 558-565.
- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L. (2008b). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology*, 18, R290-R291.
- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., & Buccino, G. (2008a). Processing abstract language modulates motor system activity. *Q.J.Exp.Psychol. (Colchester.)*, 61, 905-919.
- Glenberg, A.M., Robertson, D.A., (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43, 379-401.
- Glover, S., Rosenbaum, D. A., Graham, J., & Dixon, P. (2004). Grasping the meaning of words. *Exp.Brain Res.*, 154, 103-108.
- Goldberg, R. F., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2006). Perceptual knowledge retrieval activates sensory brain regions. *J.Neurosci.*, 26, 4917-4921.
- grammar(s): *Cognitive grounding and theoretical extensions*. Amsterdam: Benjamin 147–190.
- Groeben, N. & Scheele, B. (2000). Dialog-Konsens-Methodik im Forschungsprogramm Subjektive Theorien. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2), Art. 10.
- Guerra, S., Ibáñez, A., Martín, M., Bobes, M. A., Reyes, A., Mendoza, R. et al. (2009). N400 deficits from semantic matching of pictures in probands and first-degree relatives from multiplex schizophrenia families. *Brain Cogn*, 70, 221-230.
- Gunter, T. C. & Bach, P. (2004). Communicating hands: ERPs elicited by meaningful symbolic hand postures. *Neurosci.Lett.*, 372, 52-56.
- Halliday, M. (1985). *An introduction to functional grammar*. NY: Pregon.
- Hatta, A., Nishihira, Y., Higashiura, T., Kim, S. R., & Kaneda, T. (2009). Long-term motor practice induces practice-dependent modulation of movement-related cortical potentials (MRCP) preceding a self-paced non-dominant handgrip movement in kendo players. *Neurosci.Lett.*, 459, 105-108.
- Handy, T. (2005) *Event Related Potentials A Methods Handbook*. Massachusetts Institute of Technology.
- Haugeland, J. (1995). *Having thought: essays in the metaphysics of mind*. Harvard: Harvard University Press.
- Hauk, O. & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Hum.Brain Mapp.*, 21, 191-201.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41, 301-307.
- Hauk, O., Shtyrov, Y., Pulvermüller, F. (2008) **The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology** *Journal of Physiology Paris* , 102 (1-3), pp. 50-58.
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., & Rinck, M. (2007). Emotion simulation during language comprehension. *Psychon.Bull.Rev.*, 14, 436-441.

- Hillyard, S. A., & Picton, T. W. (1979). Event-related brain potentials and selective information processing in man. In J. Desmedt (Ed.), *Progress in clinical neurophysiology: Vol. 6. Cognitive components in cerebral event-related potentials and selective attention*. Basel, Switzerland: Karger.
- Holcomb, P. J. & McPherson, W. B. (1994). Event-related brain potentials reflect semantic priming in an object decision task. *Brain Cogn*, 24, 259-276.
- Holcomb, P. J., & Neville, H. J. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5, 281–312.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT Press.
- Ibanez A, Riveros R, Aravena P, Vergara V, Cardona JF, García L, Hurtado E, Martin Reyes M, Barutta J, Manes F. (2010, In press). When context is hard to integrate: cortical measures of congruency in schizophrenics and healthy relatives from multiplex families. *Schizophrenia Research*, DOI 10.1016/j.schres.2010.04.008
- Ibañez A., Gleichgerrcht, E., Manes, F. (2010, In Press). Clinical Effects of Insular Damage in Humans. *Brain Structure and Function*
- Ibañez A., Hays A., González R., Hurtado E., Henríquez R. (2009) Multi-level analysis of Cultural Phenomena: The Role of ERPs Approach to Prejudice. *Journal for the Theory of Social Behaviour* 39:1.
- Ibañez, A. (2007a). Complexity and Cognition: Mind and Brain as a Topological Dynamical System. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 11(1):51-90.
- Ibañez, A. (2007b). The Dynamic Core of Consciousness and Neural Darwinism. *Journal of Neurology*, 1-15;45(9):547-55.
- Ibañez, A. San Martín, M. E Hurtado & V. López,(2008a). Methodological considerations related to sleep paradigm using event related potentials. *Biological Research, Biol Res* 41: 271-275.
- Ibañez, A., Manes, F., Escobar, J., Trujillo, N., Andreucci, P., & Hurtado, E. (2010). Gesture influences the processing of figurative language in non-native speakers: ERP evidence. *Neurosci.Lett.*, 471, 48-52.
- Ibañez, A.; Cosmelli, D. (2008). Moving Beyond Computational Cognitivism: Understanding Intentionality, Intersubjectivity and Ecology of Mind *Integrative Psychological and Behavioral Sciences*, 42, 2129-136
- Ibañez, A; San Martín, R; Hurtado, E; López, V. (2008b). ERP studies of cognitive processing during sleep. *International Journal of Psychology*, 44(4), 290 – 304. DOI: 10.1080/00207590802194234
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage.*, 14, S103-S109.
- Karl, A.; Muhlneckel, W.; Kurth, R.; Flor, H. (2004), Neuroelectric source imaging of steady-state movement-related cortical potentials in human upper extremity amputees with and without phantom limb pain, *Pain*110 (1-2): 90–102
- Kaschak, M. P., Madden, C. J., Theriault, D. J., Yaxley, R. H., Aveyard, M., Blanchard, A. A. et al. (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, 94, B79-B89.

- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Klatzky RL, Lederman S, Reed C. (1989). Haptic integration of object properties: texture, hardness, and planar contour. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 24, 234-246.
- Kleiman, G. M. (1980). Sentence frame contexts and lexical decisions: sentence-acceptability and word-relatedness effects. *Mem.Cognit.*, 8, 336-344.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., Engbert, R., (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *Eur. J. Cogn. Psychol.* 16, 262–284.
- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: the influence of past, present, and future words on fixation durations. *J.Exp.Psychol.Gen.*, 135, 12-35.
- Koelsch, S. (2009). Music-syntactic processing and auditory memory: similarities and differences between ERAN and MMN. *Psychophysiology*, 46, 179-190.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nat.Neurosci.*, 7, 302-307.
- Kornhuber H., Deecke L. Hirnpotentialänderungen bei Willkurbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflugers Archiv* 1965;284:1–17.
- Kutas M, Van Petten C, Besson M. (1988). Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*,69(3):218-33.
- Kutas, M. & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends Cogn Sci.*, 4, 463-470.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Lau, E. F., Phillips, C., & Poeppel, D. (2008). A cortical network for semantics: (de)constructing the N400. *Nat.Rev.Neurosci.*, 9, 920-933.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hulsmann, E., Flor, H., Klose, U. et al. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *J.Cogn Neurosci.*, 11, 491-501.
- Louwerse, M.M., & Jeuniaux, P. (2008). How fundamental is embodiment to language comprehension? Constraints on embodied cognition. In B. C. Love, K. McRae, & V. M. Sloutsky (Eds.), *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.1313-1318). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Luu P., Tucker D., Englander R., Lockfeld A., Lutsep H., Oken B. (2001) Localizing Acute Stroke – related EEG Changes: Assessing the Effects of Spatial Undersampling. *Journal of Clinical Neurophysiology*; 18(4): 302 – 317.
- Mahon, B. Z. & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *J.Physiol Paris*, 102, 59-70.

- Marmolejo-Ramos F., Aravena P., Ibañez A., Fujiki D., Mishra R. (In preparation) *Towards a neurocognitive architecture of language, visual and emotion comprehension.*
- Martin A, Wiggs CL, Ungerleider LG, Haxby JV. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379(6566):649-52.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, 58, 25-45.
- Martin, A., and Caramazza, A. (2003). *The Organization of Conceptual Knowledge in the Brain*. Philadelphia, PA: *Psychology Press*.
- McCarthy, R. & Warrington, E. K. (1990). The dissolution of semantics. *Nature*, 343, 599.
- McPherson, W. B. & Holcomb, P. J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology*, 36, 53-65.
- Mesulam, M. M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Ann.Neurol.*, 28, 597-613.
- Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121 (Pt 6), 1013-1052.
- Mulckhuysen M. & Theeuwes J. (2010) Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta Psychol (Amst)*.
- Myung JY, Blumstein SE, Sedivy JC. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano: manipulation knowledge of objects. *Cognition*, 98(3):223-43.
- Nachev, P., Kennard, C., & Husain, M. (2008). Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nat.Rev.Neurosci.*, 9, 856-869.
- Neville HJ, Mills DL, Lawson DS. (1992). Fractionating language: different neural subsystems with different sensitive periods. *Cereb Cortex*, 2(3):244-58.
- Newell, A. & Simon, H. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Commun. Assoc. Comput. Machinery* 19:111-26.
- Newman JD. (2003). Vocal communication and the triune brain. *Physiol Behav*, Aug;79(3):495-502. Newmeyer, M Noonan and K Wheatley (eds), *Functionalism and formalism in linguistics: General papers*, vol. 1, 11-31. Amsterdam / Philadelphia: John Benjamins.
- Niedenthal, P.M., Barsalou, L.W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, 9, 184–211
- Noonan, M. (1998). Non-structuralist syntax. In M Darnell, E Moravcsik, F Nygaard LC, Queen JS. (2008). Communicating emotion: linking affective prosody and word meaning. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 34(4):1017-30.
- Obleser, J., & Kotz, S. A. (2008). Semantic constraints on degraded speech: Fine-tuning the speech comprehension network. *Journal of Cognitive Neuroscience, Supplement*, S231
- Obleser, J., & Kotz, S. A. (2009). Expectancy constraints in degraded speech modulate the language comprehension network. *Cerebral Cortex*, 20(3): 633 – 640

- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Olivares, E. I., & Iglesias, J. (2010). Brain potential correlates of the "internal features advantage" in face recognition. *Biological Psychology*, 83(2), 133-142.
- Oliveri, M., Finocchiaro, C., Shapiro, K., Gangitano, M., Caramazza, A., & Pascual-Leone, A. (2004). All talk and no action: a transcranial magnetic stimulation study of motor cortex activation during action word production. *J.Cogn Neurosci.*, 16, 374-381.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1995). Event-related brain potentials and language comprehension. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford: Oxford University Press. Pearson Education.
- Pinker, S. (1994). *The language instinct*. New York: Harper Collins.
- Pizzamiglio L, Aprile T, Spitoni G, Pitzalis S, Bates E, D'Amico S, Di Russo F. (2005). Separate neural systems for processing action- or non-action-related sounds. *Neuroimage* 1;24 (3):852-61.
- Plunkett K, Karmiloff-Smith A, Bates E, Elman JL, Johnson MH. (1997). Connectionism and developmental psychology. *J Child Psychol Psychiatry*. Jan;38(1):53-80.
- Pulvermuller, F. & Shtyrov, Y. (2006). Language outside the focus of attention: the mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Prog.Neurobiol.*, 79, 49-71.
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nat.Rev.Neurosci.*, 6, 576-582.
- Pulvermüller, F. (2008). Grounding language in the brain. In M. de Vega, A. Graesser & A. M. Glenberg (Eds.), *Symbols, embodiment, and meaning* (pp. 85-116). Oxford: Oxford University Press.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *Eur.J.Neurosci.*, 21, 793-797.
- Pulvermüller, F., Lutzenberger, W. & Preissl, H. (1999) Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses, *Cereb. Cortex* 9 (5), pp. 497–506.
- Richardson, D., Spivey, M., Barsalou, L., & McRae, K. (2003). Spatial representations activated during real-time comprehension of verbs. *Cognitive Science*, 27, 767-780.
- Ruby, P. & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nat.Neurosci.*, 4, 546-550.
- San Martín, R; Manes, F, Hurtado, E, Isla, P; Ibáñez, A. (2010, In Press). Size and probability of rewards modulate the feedback error-related negativity associated with wins but not losses in a monetarily rewarded gambling task. *Neuroimage*, 10.1016/j.neuroimage.2010.03.031
- Seitz, R. J. & Roland, P. E. (1992). Vibratory stimulation increases and decreases the regional cerebral blood flow and oxidative metabolism: a positron emission tomography (PET) study. *Acta Neurol.Scand.*, 86, 60-67.

-
- Shtyrov, Y., Hauk, O., & Pulvermuller, F. (2004). Distributed neuronal networks for encoding category-specific semantic information: the mismatch negativity to action words. *Eur.J.Neurosci.*, 19, 1083-1092.
- Slobounov, S., Johnston, J., Chiang, H., & Ray, W. J. (2002). Motor-related cortical potentials accompanying enslaving effect in single versus combination of fingers force production tasks. *Clin.Neurophysiol.*, 113, 1444-1453.
- Smith, A. L. & Staines, W. R. (2006). Cortical adaptations and motor performance improvements associated with short-term bimanual training. *Brain Res.*, 1071, 165-174.
- Smith C. (1997) *The parameter of aspect*. Dordrecht: Kluwer
- Soto, G. (2001). Perspectivas para la lingüística: más allá de la dicotomía formalismo/funcionalismo. *Revista Chilena de Humanidades*, 21, 115-154.
- Taylor, L. J. & Zwaan, R. A. (2008). Motor resonance and linguistic focus. *Q.J.Exp.Psychol.(Colchester.)*, 61, 896-904.
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P. et al. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J.Cogn Neurosci.*, 17, 273-281.
- Thompson, E., & Varela, F. (2001). Radical embodiment: Neural dynamics and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences* 10, 418-425.
- Toni, I., de Lange, F. P., Noordzij, M. L., & Hagoort, P. (2008). Language beyond action. *J.Physiol Paris*, 102, 71-79.
- Tops M. (2006) Posing for success: clenching a fist facilitates approach. *Psychon Bull Rev* 13: 229-234.
- Tschacher W., & Dauwalder JP. (Eds.) (2003). *The dynamical systems approach to cognition*. Singapore: World Scientific
- Tseng, M., & Bergen, B. (2005). Lexical processing drives motor simulation. In *Proceedings of the twenty-seventh annual conference of the cognitive science society*.
- Van Petten, C. & Luka, B. J. (2006). Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies. *Brain Lang*, 97, 279-293.
- Van Petten, C. (1993). A comparison of lexical and sentence-level context effects in event-related potentials. *Language and Cognitive Processes*, 8, 485-53.
- Van Petten, C. (1995). Words and sentences: event-related brain potential measures. *Psychophysiology*, 32, 511-525.
- Varela, F., Thompson, E. & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Warrington, E. K. & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107 (Pt 3), 829-854.
- Wheeler, K., & Bergen, B. (in press). Meaning in the palm of your hand. In Sally Rice & John Newman (Eds.), *Empirical and experimental methods in conceptual structure, discourse, and language*. Stanford: CSLI

Willems, R. M. & Hagoort, P. (2007). Neural evidence for the interplay between language, gesture, and action: a review. *Brain Lang*, 101, 278-289.

Wu, Y. C. & Coulson, S. (2005). Meaningful gestures: electrophysiological indices of iconic gesture comprehension. *Psychophysiology*, 42, 654-667.

Zwaan RA, Radvansky GA. (1998). Situation models in language comprehension and memory. *Psychol Bull.* 1998 Mar;123(2):162-85.

Zwaan, R. A. & Taylor, L. J. (2006). Seeing, acting, understanding: motor resonance in language comprehension. *J.Exp.Psychol.Gen.*, 135, 1-11.

Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychol.Sci.*, 13, 168-171.

Anexos

Ver anexos en:

Texto completo en: www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2010/fi-aravena_s/pdfAmont/fi-aravena_s_anexos.pdf