



**Universidad de Buenos Aires**  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

**Estimulación y correlatos electrofisiológicos de circuitos  
procedurales en procesos de cognición corporizada:  
el caso del lenguaje de acción**

Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires  
en el área de Ciencias Biológicas

**Lic. Agustina Birba**

Director de Tesis: Dr. Adolfo M. García

Co-Director de Tesis: Dr. Máximo Zimmerman

Consejero de estudios: Dra. Haydeé Viola

Lugar de trabajo: Centro de Neurociencias Cognitivas (CNC), Universidad de San  
Andrés (UdeSA).

Fecha de defensa: 30 de marzo de 2021

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 30 de marzo de 2021

## Agradecimientos

Esta tesis nunca podría haberse llevado a cabo si no fuera por el apoyo y colaboración de muchas personas. A todos ellos quiero agradecerles.

En primer lugar, al Dr. Agustín Ibáñez por haber confiado en mí para realizar mi doctorado en su laboratorio. Gracias por siempre brindarme nuevas oportunidades que me hacen crecer como profesional y por darme el espacio y la libertad de plantear nuevas ideas.

A mi director, el Dr. Adolfo García por su apoyo, acompañamiento, y su ayuda incondicional tanto en el plano académico como personal. Gracias por siempre tener las palabras justas.

Al Dr. Máximo Zimmerman por sus múltiples enseñanzas y apoyo.

A la Dra. Jéssica Ferrari por haberme enseñado con paciencia y amor a evaluar pacientes.

Al Dr. Manuel de Vega y toda la gente del Neurocog por haberme recibido en Tenerife y hacerme sentir como en casa.

A Franci, por su ayuda y orientación invaluable.

A todos los participantes de esta tesis por su tiempo, y su confianza en mí y en la ciencia.

Agradezco a todos mis compañeros del laboratorio, los que están y los que se fueron, por todas las charlas, los mates y ayuda. De todos aprendí un montón.

Me quedaron muy buenos amigos de estos años: Adolf, Sol y Euge, gracias por cada momento compartido. Todo es más fácil gracias a Uds. Los quiero.

Quiero agradecer a mis amigos. A los *ya mamitas* porque siempre me sacan una sonrisa. A Pato, Dani, Tati y Lau por siempre estar cerca mío. Los quiero mucho.

A mi familia. Los quiero mucho.

A Andrea por tu dosis de locura, por tu paciencia, por tu apoyo y por esta hermosa aventura que empezó en Tenerife. Te amo.

Finalmente, quiero agradecer a mi mamá, mi papá y a mi hermano por siempre apoyarme y bancarme en *todo* con mucho amor. Los amo.

## Resumen general

En términos neurocognitivos, la comprensión verbal depende de la integridad e interacción de redes corticales y subcorticales que exceden las llamadas “áreas del lenguaje”. Entre ellas se encuentran los sistemas corporizados, constituidos por redes sensoriomotrices que se activan ante unidades lingüísticas que evocan experiencias corporales afines. En particular, los circuitos motores (especializados en la planificación, ejecución y monitoreo del movimiento) se asocian de modo crítico con el procesamiento del “lenguaje de acción” (expresiones verbales que denotan movimientos corporales). Ese lazo, de hecho, se reconfiguraría en función de variables individuales, como el grado de consolidación de la lengua y la integridad de los circuitos involucrados. Sin embargo, la evidencia hasta la fecha proviene de tareas que emplean estímulos atomísticos, artificiales y descontextualizados (a saber, listas aleatorizadas de palabras u oraciones aisladas). Dichos resultados no logran esclarecer el rol de los sistemas corporizados ante manifestaciones cotidianas del lenguaje, que suelen darse en torno a textos cohesivos, coherentes y con riqueza contextual. En este marco, el objetivo general de esta tesis es caracterizar los mecanismos neurocognitivos que subyacen a la comprensión de acciones a nivel discursivo desde un marco multidimensional, contemplando aspectos conductuales, anatómicos, hemodinámicos y electrofisiológicos, con especial énfasis en cómo estos se modulan según las experiencias lingüísticas y la integridad de los sistemas corporizados. De allí surgen las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿existe una relación directa entre la actividad de regiones motoras y la comprensión de acciones en textos naturalistas?; (2) ¿cómo se modulan dichos fenómenos corporizados en función de la experiencia lingüística?; y (3) ¿cómo se alteran estos procesos en función de la integridad de los sistemas corporizados? Para responder estas preguntas se realizaron tres experimentos independientes basados en una nueva tarea de textos naturalistas. Esta emplea narrativas simples altamente controladas que se diferencian por el predominio de verbos de acción o de no acción. Evaluamos diversos correlatos neurocognitivos del procesamiento de estos textos con técnicas de estimulación transcraneal por corriente continua, electroencefalografía de alta densidad (EEG-ad), y resonancia magnética nuclear estructural (RMN) y funcional (RMNf). En el primer estudio, realizado con participantes sanos, mostramos que al aplicarse estimulación anódica en la corteza motora primaria se disminuye selectivamente la comprensión de acciones en textos naturalistas. No se observó dicho efecto al aplicarse estimulación placebo en la misma región ni al

estimularse activamente una región control (la corteza prefrontal ventrolateral). Así, los circuitos motores parecen cumplir un rol relevante en la comprensión de las acciones a nivel discursivo. En el segundo estudio, basado en registros de EEG-ad, se evaluó la influencia de la experiencia lingüística en el acoplamiento de sitios motores durante la lectura de textos con alto y bajo contenido de acción. Estratégicamente, convocamos a participantes bilingües que habían adquirido el español como primera lengua (en la infancia temprana) y el inglés como lengua extranjera (en distintos momentos de la vida). Mediante una métrica no lineal de conectividad funcional, mostramos que, en la primera lengua, el acoplamiento motor era mayor para el texto con alto contenido de acción. En la lengua extranjera no se advirtió tal efecto a nivel grupal. Sin embargo, la conectividad motora correlacionó positivamente con la competencia en dicha lengua y negativamente con su edad de apropiación. Esto sugiere que el reclutamiento de mecanismos motores durante la lectura de textos de acción varía en función del momento de apropiación de determinada lengua y de su nivel de consolidación. En el tercer estudio, se evaluó si la comprensión del lenguaje se modula por la afectación de los sistemas corporizados. Para tal fin, se investigó si la comprensión de acciones y sus correlatos neurales se alteran en personas con disfunciones motoras. Además, a modo de extensión de la hipótesis, se examinó si la comprensión de contenidos sociales se ve afectada en pacientes con alteraciones de cognición social. Para ello, convocamos a pacientes con enfermedad de Parkinson (EP, caracterizados por trastornos del movimiento) y pacientes con la variante conductual de la demencia frontotemporal (vcDFT, cuadro caracterizado por trastornos socio-comportamentales). A su vez, evaluamos dos grupos de comparación: controles sanos y pacientes enfermedad de Alzheimer (EA, como cuadro neurodegenerativo contrastivo). Implementamos una aproximación multidimensional, que integró medidas conductuales y registros de EEG-ad, RMN y RMNf, para estudiar cómo diversas alteraciones del sistema motor se asocian con la comprensión textual de acciones. Asimismo, mediante la incorporación de textos con alto y bajo contenido social, ampliamos el estudio de los sistemas corporizados a otro dominio pertinente. Los resultados muestran que los pacientes con EP presentan déficits específicos del procesamiento del lenguaje de acción, mientras que los pacientes con vcDFT exhiben dificultades en el texto social. Estas deficiencias correlacionaron con alteraciones estructurales y de conectividad funcional propias de cada patología. Por último, los pacientes con EA presentaron déficits en todos los textos, acompañados de patrones de atrofia y conectividad espacial inespecíficos. Tales resultados indican que la alteración

de los sistemas corporizados impacta de modo específico y selectivo en el procesamiento de dominios semánticos afines a nivel textual. En conjunto, los hallazgos de esta tesis evidencian que los mecanismos motores cumplen un rol relevante, específico, dinámico y multidimensional en la comprensión de acciones a nivel discursivo. Tales resultados abonan una corriente emergente de las neurociencias cognitivas que aboga por el empleo de materiales naturalistas para caracterizar procesos centrales del quehacer cotidiano con validez ecológica. Además, de ellos se desprenden implicancias teóricas (que propician la extensión y refinamiento de modelos de vanguardia en el campo), y aplicadas (de cara a la búsqueda y validación de posibles marcadores e intervenciones neurocognitivas específicas para distintas enfermedades neurodegenerativas). En suma, estas precisiones constituyen un faro no solo para guiar el desarrollo del área, sino también para comprender mejor los vínculos lingüístico-biológicos que nos identifican como especie.

*Palabras clave:* neurociencias cognitivas, circuitos motores, lenguaje de acción, circuitos motores, cognición corporizada, textos naturalistas, experiencia lingüística, disfunciones motoras, estimulación cerebral por corriente continua, electroencefalografía de alta densidad, neuroimágenes estructurales y funcionales.

# **Stimulation and electrophysiological correlates of procedural circuits in embodied cognition processes: the case of action language.**

## **Abstract**

In neurocognitive terms, verbal comprehension depends critically on the activity and interaction of brain networks that exceed the so-called “language areas.” These include embodied systems, namely, specific sensorimotor networks that are engaged by linguistic units evoking relevant bodily experiences. In particular, motor circuits (specialized in movement planning, execution, and monitoring) are critically associated with processing of action language (verbal expressions denoting bodily movements). This link is so critical, indeed, that it proves sensitive to individual variables, such as the level of entrenchment of the language and the subjects’ motor skills. However, most evidence comes from tasks that employ atomistic, artificial, and decontextualized stimuli (i.e., randomized series of disconnected and isolated words or sentences). Existing results are, thus, mostly moot about daily manifestations of language, mainly based on coherent, cohesive, context-rich texts. Against this background, the main goal of this dissertation is to characterize the neurobiological mechanisms that underlie action language comprehension at a discourse level. A multidimensional framework is proposed that includes behavioral, anatomical, hemodynamic, and electrophysiological measures, with special emphasis on how these are modulated according to linguistic experiences and the integrity of embodied systems. Three key questions are addressed: (1) is there a direct link between motor region activity and action understanding in naturalistic texts?; (2) how are these phenomena modulated by individual language experiences?; and (3) how do they vary depending on the integrity of embodied systems? To answer these questions, we employed a novel naturalistic action text task across three independent experiments and studied its neurobiological correlates with transcranial direct current stimulation (tDCS), high-density electroencephalography (hd-EEG), and structural (MRI) and functional (fMRI) magnetic resonance imaging. In the first study, with healthy participants, we show that anodal tDCS over the primary motor cortex selectively decreased text-level action comprehension. This effect was absent in groups receiving sham stimulation group of the same region or active stimulation of a control area (the ventrolateral prefrontal cortex). These results suggest that motor circuits play a putative role in action comprehension at a discourse level. In the second study, based on hd-EEG

recordings, we explored whether linguistic experience modulates the recruitment of motor mechanisms during the reading of narratives with high and low action content. Strategically, we evaluated bilingual participants who had acquired Spanish as their first language (in early childhood) and English as a foreign language (in different moments of their life). With a functional connectivity method that captures non-linear information sharing, we showed that, in the first language, action-text reading increased connectivity between left and right motor sites. In the second language, such effect was absent; however, motor connectivity correlated positively with proficiency in that language and negatively with its age of learning. These results suggest that embodied couplings during narrative reading depend on when and how competently a language has been appropriated. In the third study, we investigated whether text-level comprehension is altered when the embodied systems integrity is affected. To this end, we evaluated whether action language comprehension and its neural correlates are altered in persons with motor dysfunctions. Furthermore, we extended our hypothesis to test social language processing in patients with altered social cognition. We evaluated persons with Parkinson's disease (PD, characterized by motor impairments) and with the behavioral variant of frontotemporal dementia (bvFTD, characterized by socio-behavioral dysfunctions). We also evaluated two comparison groups: healthy controls and patients with Alzheimer's disease (AD, as a contrastive neurodegenerative disease). We implemented a multidimensional approach, comprising behavioral, hd-EEG, MRI, and fMRI measures. Likewise, we incorporated texts with high and low social content to extend our embodied hypothesis to another pertinent domain. The results showed that PD and bvFTD patients exhibited selective deficits in grasping action and social related discourse, respectively. Those deficits were associated with structural and functional disruptions specific of each disease. Conversely, AD patients were impaired in all texts relative to every other group, with unspecific patterns of atrophy and spatial connectivity. These results suggest that the alteration of embodied systems impacts discourse-level processing in a specific and selective fashion. Taken together, present findings indicate that motor mechanisms play a relevant, specific, dynamic, and multidimensional role in discourse-level action processing. Such results support an emerging trend in cognitive neuroscience that advocates the use of naturalistic materials to characterize central processes of daily life with ecological validity. Moreover, our findings carry theoretical implications (promoting the extension and refinement of current models in the field) and clinical innovations (for the search and validation of possible neurocognitive treatments

and markers of neurodegenerative diseases). Briefly, these contributions add to a thriving research field while boosting our understanding our species unique linguistic-biological links.

*Keywords:* cognitive neurosciences, motor circuits, action language, embodied cognition, naturalistic texts, linguistic experience, motor skills, transcranial direct current stimulation, high-density electroencephalography, structural and functional neuroimages.



# Publicaciones

Los siguientes trabajos surgieron durante la realización de esta tesis.

## 1. Trabajos publicados

**Birba A.**, Beltrán Guerrero D, Martorell Caro M, Trevisan P, Kogan B, Sedeño L., Ibañez, A., and García A.M. Motor-system dynamics during naturalistic reading of action narratives in first and second language. (2020) *NeuroImage*, 216, 116820. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116820>

**Birba A.**, Vitale F., Padrón I., Dottori M., de Vega M., Zimmerman M., Sedeño L., Ibañez A., and García A.M. Electrifying discourse: Anodal tDCS of the primary motor cortex selectively reduces the appraisal of actions in naturalistic narratives. (2020) *Cortex*, 132, 460-472. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.08.005>

**Birba A.**, García-Cordero I., Kosono G., Legaz A., Ibañez A., García A.M. (2017). Losing ground: Frontostriatal atrophy disrupts language embodiment in Parkinson's and Huntington's disease. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*. 80, 673-687. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.011>

García A. M.\* , Hesse E\*., **Birba A\***., Adolffi F., Mikulan E., Martorell Caro M., Petroni A., García, M., Silva, W., Ciralo, C., Vaucheret, E., Lew, S., Sedeño, L. & Ibañez, A. Time to face language: embodied mechanisms underpin the inception of face-related meanings in the human brain. (2020) *Cerebral Cortex*. 30(11), 6051-6068. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa178>. \*Igual contribución

**Birba A.**, Hesse E., Sedeño L., Mikulan E. P., García M. D. C., Ávalos J. & Parra M. (2017). Enhanced working memory binding by direct electrical stimulation of the parietal cortex. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 178. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00178>

**Birba A.**, Ibañez A., Sedeño L., Ferrari J., García A. M., & Zimmerman M. (2017). Non-invasive brain stimulation: A new strategy in mild cognitive impairment? *Frontiers in Aging Neuroscience*. vol. 9, p. 16. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00016>

## 2. Trabajos enviados

**Birba A.**, Fittipaldi S., Cediél Escobar JC., Gonzalez Campo C., Legaz A., Galiani A., Diaz Rivera M.N., Martorell Caro M., Alifano F., Salamone P., Piña-Escudero SD., Cardona JF., Neely A., Forno G., Carpinella M., Slachevsky A., Serrano C., Sedeño L., Ibañez A., & García AM. (2021). Multimodal neurocognitive markers of ecological discourse typify diverse neurodegenerative diseases.

**Birba A.**, Hesse E., Ibáñez A. & García A. M. (aceptado). Lenguaje y habla. *Fisiología de Houssay*. Buenos Aires: El Ateneo.

### 3. Colaboraciones

García A. M., Bocanegra Y., **Birba A.**, Orozco-Arroyave J. R., Sedeño L. & Ibáñez A. (2020). Disruptions of frontostriatal language functions in Parkinson's disease. En C. Martin y V. R. Preedy (ed.), *The Neuroscience of Parkinson's Disease: Genetics, Neurology, Behavior, and Diet*. (pp. 413-430) Ámsterdam: Elsevier Academic Press.

Abrevaya S., Fittipaldi S., García A.M., Dottori M., Santamaria-Garcia H., **Birba A.**, Yoris A., Hildebrandt M.K., Salamone P., De la Fuente L. (2020). At the heart of neurological dimensionality: Cross-nosological and multimodal cardiac interoceptive deficits. *Psychosomatic Medicine*. 82, 850-861. DOI: 10.1097/PSY.0000000000000868

Kogan B., García-Marco E., **Birba A.**, Cortés C., Melloni M., Ibáñez A., García A.M. (2020). How words ripple through bilingual hands: Motor-language coupling during L1 and L2 writing. *Neuropsychologia*. 146, 107563. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815950-7.00026-6>

Fittipaldi S, Abrevaya S, de La Fuente A, Pascariello G, Hesse E, **Birba A**, Salamone P, Hildebrandt M, Alarco Martí S, Pautassi R; Huepe D, Martorell M, Yoris A, Roca M, García AM, Sedeño L, Ibanez A. (2020). A multidimensional and multi-feature framework for cardiac interoception. *NeuroImage*. 212, 116677. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116677>

Trevisan P., Sedeño L., **Birba A.**, Ibáñez A., & García A. M. (2017). A moving story: Whole-body motor training selectively improves the appraisal of action meanings in naturalistic narratives. *Scientific Reports*, 7(1), 12538. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12928-w>

Melloni M., Billeke P., Baez, S., Hesse E., De la Fuente L., Forno, G., **Birba A.**, García-Cordero I., Serrano C., Plastino A., Slachevsky A., Huepe D., Manes M., Sigman M., García A.M., Sedeño L., Ibañez A., (2016). Your perspective and my benefit: multiple lesion models of self-other integration strategies during social bargaining. *Brain*. 139(11), 1-19. <https://doi.org/10.1093/brain/aww231>

# Índice de contenido

<b>NÓMINA DE ABREVIATURAS</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Introducción general	4
1.2. Las neurociencias como ventana a la biología de la comprensión lingüística	5
1.3. Mecanismos de acción y simulación motoras en el cerebro humano	8
1.3.1. Modulación de las bases corporizadas del lenguaje de acción	11
1.3.2. La experiencia lingüística y su impacto en el procesamiento corporizado	13
1.3.3. La alteración de los mecanismos motores y su impacto en el procesamiento corporizado	14
1.4. La brecha ecológica	16
1.5. Preguntas y esquema de la tesis	17
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Objetivos</b>	<b>20</b>
2.1. Objetivo general	20
2.2. El rol de los circuitos motores en la comprensión de acciones en textos naturalistas: Efectos de tDCS sobre M1	20
2.3. Impacto de la experiencia lingüística en la conectividad motora durante el procesamiento de textos de acción: un estudio electroencefalográfico en bilingües	20
2.4. Impacto de las alteraciones en los sistemas corporizados en el procesamiento semántico: evidencia multidimensional de pacientes con EP, vcDFT y EA	21
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>Tarea de textos naturalistas</b>	<b>22</b>
Resumen	22
3.1. Introducción	22
3.2. Control lingüístico y construcción de las narrativas naturalistas	23
3.3. Cuestionarios	25
3.4. Adaptaciones de la tarea de textos naturalistas según el estudio	26
3.5. A modo de cierre	28
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>Estudio 1: Impacto de la estimulación cerebral de regiones motoras en el lenguaje de acción</b>	<b>29</b>
Resumen	29
4.1. Introducción	29

4.2. Métodos	31
4.2.1. Participantes	31
4.2.2. Materiales	32
4.2.2.1. Tarea de textos naturalistas	32
4.2.3. Sesiones experimentales	34
4.2.3.1. Fase de estimulación <i>offline</i>	34
4.2.3.2. Fase de evaluación comportamental	35
4.2.3.3. Evaluación complementaria	36
4.2.4. Análisis del desempeño conductual	37
4.2.5. Análisis clasificatorio con máquinas de vectores de soporte	38
4.2.6. Análisis de covarianza	38
4.3. Resultados	39
4.3.1. Comprensión de textos	39
4.3.2. Resultados de MVS	40
4.3.3. Impacto de la memoria de trabajo y el nivel de vocabulario	40
4.4. Discusión	43
4.5. Limitaciones e investigaciones futuras	47
4.6. Conclusiones	47

## CAPÍTULO V

<b>Estudio 2: Modulación de la conectividad funcional durante la lectura de textos de acción según la experiencia lingüística</b>	<b>49</b>
Resumen	49
5.1. Introducción	49
5.2. Métodos	51
5.2.1. Participantes	51
5.2.2. Materiales	51
5.2.3. Procedimiento	53
5.2.4. Métodos de EEG	54
5.2.4.1. Preprocesamiento	54
5.2.4.2. Método wSMI	55
5.2.5. Análisis de datos	56
5.3. Resultados	57
5.3.1. Tarea en L1	57
5.3.1.1. Análisis de clúster en L1	57
5.3.2. Tarea en L2	57
5.3.2.1. Análisis de clúster en L2	57
5.3.2.2. Correlaciones entre hiper-conectividad de TA en L2 y medidas de consolidación de la L2	57
5.4. Discusión	60
5.5. Limitaciones y proyecciones de la investigación	64
5.6. Conclusión	65

## CAPÍTULO VI

<b>Estudio 3: Modulación de la comprensión del lenguaje de acción según la integridad de los sistemas corporizados</b>	<b>66</b>
Resumen	66
6.1. Introducción	67
6.2. Métodos	69
6.2.1. Participantes	69
6.2.2. Protocolo experimental	70
6.2.3. Tarea de textos naturalistas	72
6.2.3.1 Textos	72
6.2.3.2. Procedimiento	74
6.2.3.3. Análisis conductual	74
6.2.4. Métodos de RMN/RMNf	75
6.2.4.1. Adquisición de datos y preprocesamiento	75
6.2.4.2. Análisis de MBV	75
6.2.4.3. Análisis de CFr en FMRI	76
6.2.5. Métodos de EEG-ad	76
6.2.5.1. Adquisición de datos y preprocesamiento	76
6.2.5.2. Análisis de CFr EEG-ad	76
6.3. Resultados	77
6.3.1. Resultados conductuales	77
6.3.1.1. Análisis intra-texto	77
6.3.1.2. Análisis inter-texto	79
6.3.2. Resultados de RMN/RMNf	81
6.3.2.1. Asociación entre MBV y desempeño conductual	81
6.3.2.2. Asociaciones entre desempeño y la CFr espacial (derivada de RMNf)	82
6.3.3. Resultados de EEG-ad	83
6.3.3.1. Clústeres de wSMI específicos de cada enfermedad	83
6.3.3.2. Asociaciones entre CFr (EEG-ad) y desempeño	83
6.4. Discusión	85
6.4.1. Déficits selectivos para contenidos de acción en pacientes con EP	85
6.4.2. Déficits selectivos para contenidos sociales en pacientes con vcDFT	87
6.4.3. Déficits trans-categoriales en pacientes con EA	88
6.5. Limitaciones y futuras líneas de investigación	89
6.6. Conclusión	89

## Capítulo VII

<b>Discusión general</b>	<b>90</b>
Resumen	90
7.1. Recapitulación y síntesis	91
7.2. Respuestas pormenorizadas a las preguntas centrales de la tesis	91
7.2.1. Bases críticas del procesamiento del lenguaje de acción a nivel textual	91
7.2.2. Impacto de la experiencia lingüística en el procesamiento del lenguaje de acción a nivel textual	93

7.2.3. Rol de la integridad de los sistemas corporizados en el procesamiento del lenguaje de acción a nivel discursivo	94
7.3. Implicancias	96
7.3.1. Implicancias metodológicas	96
7.3.2. Implicancias teóricas	97
7.3.3. Implicancias aplicadas	98
7.4. Limitaciones generales y futuras investigaciones	99
7.5. Conclusiones	100

<b>REFERENCIAS</b>	<b>102</b>
--------------------	------------

<b>ANEXO</b>	<b>123</b>
--------------	------------

### **Índice de figuras**

Figura 1.1. Mecanismos de acción y simulación motora	9
Figura 4.1. Sesión Experimental	36
Figura 4.2. Resultados de la tarea de textos naturalistas	42
Figura 5.1. Diseño experimental y resultado	59
Figura 6.1. Protocolo experimental y análisis de datos	71
Figura 6.2. Resultados conductuales y asociaciones con resultados de MBV	80
Figura 6.3. Resultados de CFr	84

### **Índice de tablas**

Tabla 3.1. Ejemplos de textos naturalistas utilizados en los tres estudios de la tesis	25
Tabla 4.1. Características lingüísticas de los textos	33
Tabla 5.1. Características lingüísticas de los TA y TnA para la tarea en L1 (español)	52
Tabla 5.2. Características lingüísticas de los TA y TnA de la tarea en L2 (inglés)	53
Tabla 6.1. Información demográfica y neuropsicológica	70
Tabla 6.2. Características lingüísticas de los textos	73

## Nómina de abreviaturas

A continuación, se presenta el listado de abreviaturas empleadas en la tesis, ordenadas alfabéticamente:

**ACE:** área corporal extraestriada

**AMS:** área motora suplementaria

**CCA:** corteza cingulada anterior

**CFr:** conectividad funcional en reposo

**CO:** corteza occipital

**COF:** corteza orbitofrontal

**CP:** corteza piriforme

**CPFVL:** corteza prefrontal ventrolateral

**CPM:** corteza premotora

**EA:** enfermedad de Alzheimer

**EEG:** electroencefalografía

**EEG-ad:** electroencefalografía de alta densidad

**EP:** enfermedad de Parkinson

**FDR:** del inglés *false discovery rate*

**GA:** giro angular

**GF:** giro fusiforme

**GFM:** giro frontal medial

**GFS:** giro frontal superior

**GL:** giro lingual

**GPI:** giro parietal inferior

**GpostC:** giro postcentral

**GpreC:** giro precentral

**GR:** giro recto

**GTI:** giro temporal inferior

**GTM:** giro temporal medio

**GTS:** giro temporal superior

**HANDLE:** del inglés *Hand-Action-Network Dynamic Language Embodiment*

**IFS:** del inglés *INECO Frontal Screening*

**L1:** primera lengua/lengua materna  
**L2:** segunda lengua  
**M1:** corteza motora primaria  
**MBV:** morfometría basada en vóxeles  
**MoCA:** del inglés *Montreal Cognitive Assesment*  
**PDID:** primer dorsal interóseo derecho  
**PPVT-III:** Test de vocabulario de imágenes Peabody III (por sus siglas en inglés)  
**RdI:** región de interés  
**RMN:** resonancia magnética nuclear  
**RMNf:** resonancia magnética nuclear funcional  
**RND:** red neuronal por defecto  
**ROC:** característica operativa del receptor (por sus siglas en inglés)  
**MVS:** máquinas de vectores de soporte.  
**TA:** texto de acción  
**tDCS:** del inglés *transcranial direct current stimulation*  
**TMS:** del inglés *transcranial magnetic stimulation*  
**TnA:** texto de no acción  
**TnS:** texto no social  
**TS:** texto social  
**vcDFT:** variante conductual de la demencia frontotemporal  
**wSMI:** del inglés *weighted symbolic mutual information*



# Capítulo I

## Introducción

Parte de los contenidos del presente capítulo se encuentran parcialmente publicados en los siguientes artículos:

**Birba A.**, García-Cordero I., Kozono G., Legaz A., Ibáñez A., Sedeño L., & García AM. (2017) Losing ground: frontostriatal atrophy disrupts language embodiment in Parkinson's and Huntington's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 673-687. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.011>

García AM.\*, Hesse E.\*, **Birba A.\***, Adolffi F., Mikulan E., Martorell Caro M., Petroni A., García M., Silva W., Ciruolo C., Vaucheret E., Lew S., Sedeño L. & Ibáñez A. (2020). Time to face language: Embodied mechanisms underpin the inception of face-related meanings in the human brain. *Cerebral Cortex*, 30(11), 6051-6068. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa178>  
*\*Igual contribución.*

### Resumen

Este capítulo resume los principales hallazgos sobre el rol de los sistemas corporizados en el procesamiento semántico, con especial foco en la relación entre el sistema motor y el procesamiento del lenguaje de acción (expresiones verbales que denotan movimientos corporales). Se describen los correlatos neuroanatómicos, hemodinámicos y electrofisiológicos de los mecanismos de planificación, ejecución, simulación y comprensión de acciones, con énfasis en tareas que involucran lenguaje de acción. A su vez, se presenta evidencia de la reconfiguración de estos mecanismos según variables individuales, como la experiencia lingüística y las alteraciones de los circuitos motores. A pesar de su relevancia, la evidencia disponible carece de validez ecológica y resulta poco informativa para comprender el rol de estos mecanismos en manifestaciones cotidianas del lenguaje. En este sentido, se enfatiza la necesidad de caracterizar la comprensión del lenguaje de acción desde una perspectiva ecológica, con evaluaciones ricas en contexto y de carácter naturalista, sin sacrificar un propicio control de los estímulos. Por último, se plantean tres estudios para abordar sendos interrogantes pertinentes: (1) ¿existe una relación directa entre la actividad de regiones motoras y la comprensión de acciones en textos naturalistas?; (2) ¿cómo se modulan dichos fenómenos corporizados en función de la experiencia lingüística?; y (3) ¿cómo se alteran estos

procesos en función de la integridad de los sistemas corporizados? La tesis busca responder estas preguntas.

### **1.1. Introducción general**

Todas las especies animales, sin importar la complejidad de su sistema nervioso, poseen habilidades comunicativas. Sin embargo, la capacidad de interactuar mediante un sistema verbal es privativa de los humanos (Schilhab et al., 2012). En particular, nuestra especie ha desarrollado sistemas neurobiológicos que nos permiten comprender significados verbales (Schilhab et al., 2012) mediante sistemas multimodales (mecanismos que integran varias vías perceptuales para evocar conceptos abstractos) (Ralph et al., 2017) y sistemas corporizados (mecanismos sensoriomotores que reactivan información específica de distintas modalidades, como el movimiento, el gusto o el olfato) (Barrós-Loscertales et al., 2012; González et al., 2006; Pulvermüller, 2013a). Las neurociencias cognitivas son un campo fundamental para indagar en estos fenómenos.

Varias líneas de investigación han contribuido a caracterizar las bases neuroanatómicas, hemodinámicas y electrofisiológicas de dichos sistemas, revelando su distribución espacial, su dinámica temporal y su adaptabilidad experiencial (Tzourio-Mazoyer et al., 2017; Vigliocco et al., 2011). No obstante, la mayoría de la evidencia proviene de estímulos atomísticos, aislados y descontextualizados (secuencias de palabras u oraciones inconexas), que poco reflejan la riqueza y complejidad del discurso cotidiano. Un nuevo marco conceptual, que aboga por una mayor ecologicidad, ha comenzado a abordar esta problemática mediante el uso de narraciones naturalistas controladas, a saber: textos que resultan indiferenciables de relatos reales aun cuando se encuentran altamente controlados en un gran número de variables lingüísticas (p. ej., sintaxis, cantidad y tipo de palabras, familiaridad, frecuencia) (Trevisan & García, 2019). Sin embargo, ningún trabajo ha evaluado las bases cerebrales de la comprensión de dichos materiales, ni tampoco cómo se ven moduladas por las circunstancias lingüísticas y sensoriomotoras que atraviesan las personas. Esta brecha socava la formulación de propuestas ecológicas y dinámicas para el avance teórico y aplicado de las neurociencias cognitivas.

De cara a tal desafío, la presente tesis investiga las bases neurocognitivas de la comprensión de textos naturalistas desde un marco multidimensional. El abordaje contempla correlatos anatómicos, electrofisiológicos y hemodinámicos, con especial énfasis en cómo éstos se relacionan con las experiencias lingüísticas y motoras de los

individuos. Para tal fin, nos focalizamos en diversos mecanismos motores (que incluyen, pero exceden a los sistemas procedurales)<sup>1</sup> y su rol en la comprensión de textos de acción (TA, a saber, narrativas centradas en los movimientos corporales de los personajes), en comparación con textos de no acción (TnA, narrativas centradas en estados internos de los personajes). Nos ocupan tres preguntas centrales para impulsar esta nueva agenda de investigación. En primer lugar, examinamos si los mismos circuitos que sustentan la comprensión de acciones en diseños atomistas cumplen un rol directo en la comprensión de TA, mediante el uso de estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS, del inglés *transcranial direct current stimulation*). En segundo lugar, evaluamos si el acoplamiento de redes motoras durante la lectura de dichos textos se modula según el momento y el nivel de apropiación de la lengua, empleando métricas de conectividad funcional basadas en registros electroencefalográficos de alta densidad (EEG-ad). Por último, evaluamos cómo se altera la comprensión de textos cuando los sistemas corporizados devienen disfuncionales, combinando registros de resonancia magnética estructural y funcional (RMN y RMNf, por sus siglas en inglés) con métricas de conectividad de EEG-ad en tres cuadros neurodegenerativos. Así, esta tesis busca ofrecer nuevos abordajes para caracterizar las bases neurocognitivas del lenguaje desde un marco de trabajo ecológico, dinámico y multidimensional.

## **1.2. Las neurociencias como ventana a la biología de la comprensión lingüística**

En términos neurocognitivos, la comprensión del lenguaje depende críticamente de múltiples mecanismos cerebrales. Estudios pioneros apuntalaron el rol de regiones perisilvianas izquierdas (sobre todo, temporales y ttemporo-parietales), promoviendo modelos que reducían la comprensión verbal a dichas regiones y su organización interna (Bedny & Caramazza, 2011; Friederici, 2012). Sin embargo, dichos modelos distan de abarcar la diversidad y complejidad de los mecanismos involucrados (Tremblay & Dick, 2016). De hecho, en las últimas décadas, múltiples líneas de investigación neurocientífica han demostrado que la comprensión verbal también depende de la integridad e interacción de redes neuronales distribuidas a lo largo de estructuras corticales y subcorticales diversas (Damasio & Tranel, 1993). En particular, se distinguen dos grandes sistemas

---

<sup>1</sup> Si bien varios análisis de esta tesis se focalizan sobre circuitos procedurales *per se* (ver capítulos IV y VI), también se abordan otras dimensiones relevantes. Por ende, nos referiremos a todos estos mecanismos conjuntamente como “mecanismos motores”.

(Ralph et al., 2017; Zwaan, 2014) comprendidos por redes multimodales (Seghier, 2013) y corporizadas (Pulvermüller, 2005).

Los sistemas multimodales, asociados principalmente a regiones como el lóbulo temporal anterior (Ralph et al., 2017) y la circunvolución angular (Seghier, 2013), participan de procesos conceptuales generales independientemente del significado específico de las palabras y la tarea realizada. Estos sistemas integran información proveniente de sistemas unimodales (visual, auditivo, táctil, olfativo, gustativo y motor), para evocar conceptos multimodales de la interacción del agente con su entorno (Rogers & McClelland, 2004). Por otro lado, los sistemas corporizados, enraizados en circuitos de modalidad específica a lo largo del cerebro, se activan de modo diferencial según las experiencias dominantes evocadas por los estímulos (Pulvermüller, 2013a). Así, por ejemplo, los sustantivos que refieren a partes del rostro (*boca, nariz*), aromas (*jazmín, canela*), o sabores (*salado, amargo*), suponen reactivaciones específicas de redes faciales (García et al., 2020), la corteza olfativa primaria (González et al., 2006) y la corteza gustativa (Barrós-Loscertales et al., 2012), respectivamente. Esta evidencia respalda la perspectiva corporizada del lenguaje, según la cual los significados verbales están enraizados en dichos sistemas, de modo que el *procesamiento semántico dependería crucialmente de nuestras experiencias corporales con el entorno* (Barsalou, 2010; Gallese & Lakoff, 2005). El estudio de estos sistemas resulta fundamental para la caracterización de procesos críticos de la comprensión lingüística. En efecto, cumplen un rol primario en tales procesos, ya que pueden activarse incluso antes que los sistemas multimodales durante la comprensión verbal (García et al., 2020; García et al., 2019) y su disrupción puede arrojar déficits selectivos en la comprensión de significados afines (Birba et al., 2017).

El principal paradigma para elucidar el rol de los sistemas corporizados en la comprensión verbal radica en explorar la relación entre los mecanismos motores y el “lenguaje de acción” –a saber, expresiones verbales que denotan movimientos corporales (p. ej., los verbos *saltar* o *correr*). A nivel anatómico, el procesamiento de verbos de acción implica reactivaciones de la corteza motora, ya sea a nivel somatotópico o general. Así, el verbo *escribir* se asocia con la activación de regiones especializadas en movimientos manuales (Pulvermüller, 2005; Pulvermüller & Fadiga, 2010), pero también implica activaciones más generalizadas de los circuitos motores (García et al., 2019). Lo mismo se demostró a nivel electrofisiológico, ya que verbos de acción realizados con la cara, los brazos y las piernas se asocian con topografías corticales diferentes dependiendo

del efector (Pulvermüller et al., 2001), aunque también pueden modular mecanismos motores más generales (García et al., 2019).

Este fenómeno ha sido indagado mediante distintos métodos que permiten examinar sus bases biológicas. Por un lado, las técnicas de estimulación cerebral no invasiva (TMS, del inglés *transcranial magnetic stimulation* y tDCS) permiten modular la actividad de un área en particular y evaluar su efecto en la comprensión de forma *directa*, ya sea produciendo lesiones temporarias e impidiendo funciones específicas o activando una región y aumentando el desempeño conductual (Pascual-Leone et al., 2000). Por otro lado, una gran cantidad de evidencia proviene de métodos *correlacionales*, los cuales constatan cambios en la actividad cerebral asociados a un comportamiento. Por ejemplo, técnicas electrofisiológicas como la de EEG dan cuenta de la actividad cerebral con una resolución temporal del orden de los milisegundos (Da Silva, 2013). A su vez, las técnicas de neuroimágenes metabólicas, como la señal producida por los cambios dependientes del nivel de oxigenación sanguínea (contraste BOLD, del inglés *blood oxygen level dependent*) en la RMNf, estiman la actividad cerebral con gran resolución espacial (Fox & Raichle, 2007). Tanto la EEG como la RMNf permiten evaluar la conectividad funcional, definida como la *correlación* de señales temporales de la actividad neuronal entre dos o más regiones cerebrales (Buckner et al., 2008). Esta técnica permite describir la organización de redes funcionales y su asociación con el procesamiento semántico. Por último, los correlatos anatómicos en modelos de lesión ofrecen valiosas oportunidades para investigar el rol de un área en particular en un proceso de interés (Rorden et al., 2007). Mediante técnicas volumétricas de RMN es posible correlacionar el volumen de sustancia gris de áreas específicas con variables conductuales (Bates et al., 2003). Ahora bien, aunque cada abordaje por separado posee limitaciones específicas, su empleo conjunto permite realizar inferencias precisas y robustas sobre las relaciones entre la comprensión del lenguaje los mecanismos neurocognitivos subyacentes. La presente tesis se enraíza en dicha premisa.

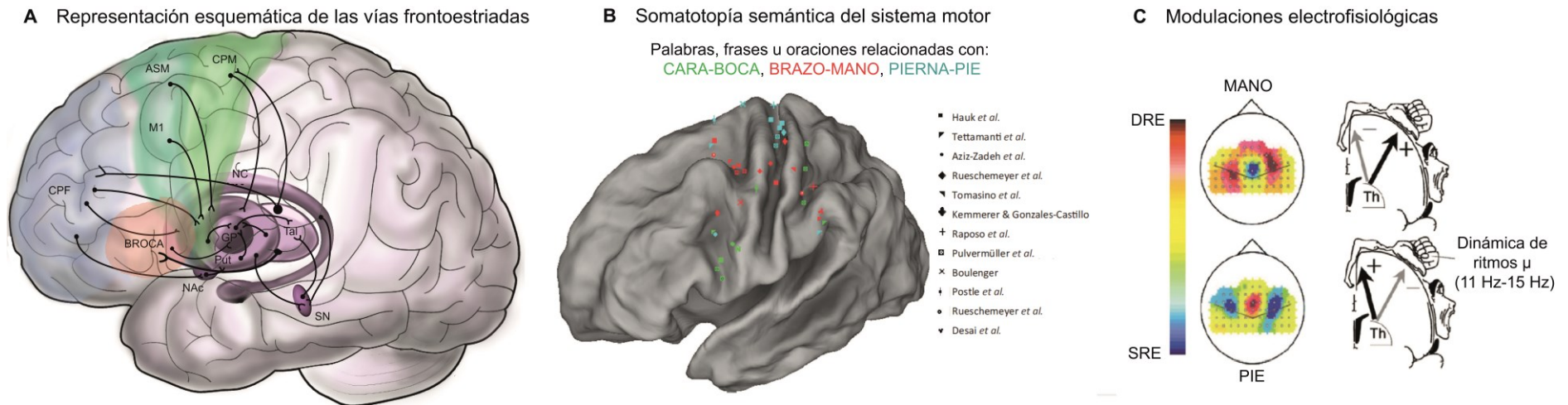
En resumen, la investigación neurolingüística ha demostrado que los sistemas corporizados cumplen un papel clave en la comprensión verbal. En particular, los mecanismos motores se asocian de modo crítico con el procesamiento de palabras de acción. Ahora bien, una aproximación pormenorizada de tales sistemas requiere caracterizar en detalle sus bases neurocognitivas, describir la evidencia sobre su rol en el lenguaje de acción, y su modulación según factores individuales pertinentes, como la experiencia lingüística de los sujetos y la integridad de sus sistemas motores. Más

específicamente, en el contexto de esta tesis es clave reseñar la evidencia disponible en paradigmas descontextualizados y atomísticos, para identificar sus aportes y limitaciones de cara a una caracterización ecológica de los fenómenos. Las siguientes secciones abordan tales ejes.

### **1.3. Mecanismos de acción y simulación motoras en el cerebro humano**

El sistema motor interviene, de modo crítico, en el control del movimiento corporal. A su vez, también cumple un papel central en diversos procesos afines, como la observación de acciones y la imaginaria motora (Grezes & Decety, 2001). En estos procesos intervienen dinámicas anátomo-funcionales y electrofisiológicas específicas (Grezes & Decety, 2001; Hardwick et al., 2018), descritas a continuación.

Los circuitos frontoestriados son componentes clave del sistema motor. Estos se originan en regiones corticales prefrontales y motoras (área motora suplementaria [AMS], corteza premotora [CPM] y corteza motora primaria [M1]), y luego se proyectan hacia los ganglios de la base y posteriormente al tálamo, donde surgen vías de retroalimentación hacia la corteza prefrontal (Alexander & Crutcher, 1990; Alexander et al., 1986; Tekin & Cummings, 2002) (**Figura 1.1A**). Las funciones básicas de las áreas corticales de estas vías son la ejecución (M1), coordinación (CPM) y planificación (AMS) de los movimientos (Rizzolatti & Luppino, 2001). Los ganglios de la base (caudado, putamen y globo pálido) intervienen en la planificación, inicio, coordinación, guía, y finalización de la acción voluntaria (Groenewegen, 2003).



**Figura 1.1. Mecanismos de acción y simulación motora. A. Representación esquemática de las vías frontoestriadas.** Las cortezas motora y premotora y el área de Broca se conectan con el putamen, seguido del globo pálido y la sustancia negra. El globo pálido conecta con el tálamo, donde se cierra el bucle con fibras que proyectan hacia las áreas corticales. CPF: corteza prefrontal; ASM: área suplementaria motora; APM: área premotora; M1: corteza motora primaria; NC: núcleo caudado; NAc: núcleo accumbens; SN: sustancia negra; Tal: tálamo; Put: putamen; GP: globo pálido. El círculo representa el soma de una neurona y el símbolo “>” esquematiza el axón. **B. Somatotopía semántica en el sistema motor.** Los picos de actividad evocados por palabras que denotan acciones de la cara/boca (verde), brazos/manos (rojo) y piernas/pies (azul) se corresponden con porciones de la corteza motora correspondientes a dichos efectores. **C. Modulaciones electrofisiológicas.** Se muestra modulaciones electrofisiológicas en un rango de 11-15 Hz (correspondientes a ritmos mu entre alfa alto y beta bajo) durante tareas de imaginación motora con la mano y con el pie. Los resultados del panel corresponden a modulaciones oscilatorias. DRE: desincronización relacionada con un evento (decaimiento de la potencia), SRE: sincronización relacionada con un evento (incremento de la potencia).

Mediante experimentos de RMNf se demostró que estas regiones se conectan funcionalmente durante la ejecución motora (Jiang et al., 2004), el control secuencial de los movimientos (Sun et al., 2015), la planificación y selección de acciones (Hanakawa et al., 2008) y el aprendizaje motor (Vahdat et al., 2011). Lo mismo sucede durante la evocación de imagería motora (Gao et al., 2011; Saiote et al., 2016; Sharma & Baron, 2013) y la observación de acciones (Sharma & Baron, 2013). Este último proceso también aumenta la excitabilidad de M1, tal como se evidenció en estudios de TMS y potenciales motores (Aziz-Zadeh et al., 2002). Dicha evidencia reviste especial interés ya que sugiere que el procesamiento perceptual y conceptual del movimiento implica simulaciones internas, mediante la reactivación de los mecanismos que sustentan su ejecución física (Fischer & Zwaan, 2008).

El reclutamiento de mecanismos motores para procesos de percepción y conceptualización del movimiento también se manifiesta a nivel electrofisiológico. En estudios de EEG se observó que los movimientos activos de un individuo, tales como extender y flexionar la mano, se asocian con la desincronización de los ritmos cerebrales en las áreas de CPM, M1 y AMS (Nashmi et al., 1994) (**Figura 1.1C**). Por ejemplo, la selección (Van Ede et al., 2019), preparación y ejecución de una tarea motora (Deeny et al., 2009) implican cambios de conectividad funcional en las bandas beta (16-25 Hz) y alfa (8-13 Hz). Asimismo, el aumento de la conectividad de M1 en beta predice el aprendizaje motor (Wu et al., 2014). En línea con la noción de simulación motora, el mismo tipo de patrones se registra durante el procesamiento perceptivo y conceptual de las acciones. Por ejemplo, la banda alfa presenta modulaciones oscilatorias y de conectividad funcional durante procesos de observación de acciones ajenas (Gonzalez-Rosa et al., 2015) y de imagería motora (Neuper et al., 2005a; Pfurtscheller et al., 2006).

En resumen, diversos mecanismos corticales y subcorticales del sistema motor presentan patrones de activación, conectividad funcional y dinámica oscilatoria similares cuando se ejecutan, se observan o se imaginan movimientos corporales. Así, el procesamiento de alto nivel (perceptivo y conceptual) de las acciones guarda una estrecha relación con los mecanismos cerebrales que intervienen en la realización física. Como veremos en las siguientes secciones, el mismo vínculo sustenta el procesamiento semántico del lenguaje de acción y sus modulaciones según la experiencia lingüística de los sujetos y la integridad de sus sistemas motores.



### 1.3.1. Modulación de las bases corporizadas del lenguaje de acción

Diversos mecanismos motores, incluidos los que se reseñaron en el punto anterior, modulan su actividad e interacción de modo diferencial durante el procesamiento del lenguaje de acción (Hauk et al., 2004). Dicho hallazgo es uno de los pilares de los enfoques corporizados del procesamiento semántico. Estos efectos corporizados se manifiestan en dimensiones conductuales, anátomo-funcionales y electrofisiológicas.

Múltiples estudios conductuales muestran que la actividad corporal influye sobre la comprensión lingüística de las acciones. Por ejemplo, el traslado repetido de canicas entre dos recipientes afecta la comprensión de oraciones que implican movimientos congruentes con la dirección de respuesta (Glenberg et al., 2008). Asimismo, la práctica del origami incide sobre la comprensión de estímulos lingüísticos que presentan movimientos congruentes con dicha habilidad manual (Locatelli et al., 2012). De un modo más específico, los jugadores de voleibol expertos, en comparación con amateurs y no jugadores, procesan los verbos de acción específicos de la disciplina con mayor precisión y velocidad (Tomasino et al., 2012), a la vez que presentan activaciones diferenciales en regiones motoras y premotoras izquierdas (Tomasino et al., 2013). Lo mismo sucede en jugadores expertos de hockey, patrón que se ve acompañado por mayor activación de la CPM (Beilock et al., 2008). En resumen, la actividad física de los individuos impacta sobre cómo procesan el lenguaje de acción.

Dicho lazo ha sido pormenorizado mediante evidencia anátomo-funcional (**Figura 1.1B**). Por ejemplo, el procesamiento de verbos de acción se asocia con mayor activación en la M1 (Boulenger et al., 2009; Desai et al., 2010; García et al., 2019; Hauk et al., 2004) y otras regiones motoras corticales (p. ej., AMS) (Aziz-Zadeh et al., 2006; Hauk et al., 2004; Raposo et al., 2009; Tettamanti et al., 2005) y subcorticales (tálamo) (Llano, 2013). Estos patrones son parcialmente específicos para el lenguaje de acción. De hecho, las oraciones que expresan movimientos sobre objetos hacia otra persona (p. ej., *yo le paso la lapicera a mi compañero*) inducen la activación de M1, pero ello no sucede en oraciones con verbos abstractos (p. ej., *mi compañero y yo miramos la lapicera*) (Glenberg & Kaschak, 2002). Estos fenómenos también se registran a nivel electrofisiológico. La amplitud del potencial pre-motor (índice de la actividad de M1 y AMS, manifiesto como una deflexión negativa que comienza entre 1 y 2 segundos previos a la realización de una acción y alcanza su mayor amplitud en la ejecución de la misma) es mayor cuando se realizan acciones manuales compatibles con aquellas denotadas por el verbo presentado poco antes (Aravena et al., 2010; Ibáñez et al., 2013). Además, la

desincronización de las bandas beta y mu (11-15 Hz) correlaciona con el desempeño en tareas de semántica de acción (p. ej., decidir si el significado de un verbo implica movimiento corporal o no, o aprender nuevas palabras que evoquen tales significados) (Alemanno et al., 2012; Fargier et al., 2012; Moreno et al., 2013; Van Elk et al., 2010).

La evidencia correlacional citada arriba se refuerza a la luz de diversos estudios con métodos de estimulación cerebral no invasiva: la TMS y la tDCS. La TMS permite neuroestimular (produciendo la descarga de potenciales de acción) o neuromodular (alterando la excitabilidad neuronal) un área focal, mientras que la tDCS es una intervención estrictamente neuromoduladora y dispersa. Ambas técnicas permiten evaluar directamente el rol de áreas sensoriomotoras específicas en la comprensión del lenguaje. En participantes jóvenes, la estimulación de M1 y otras regiones motoras con TMS y/o tDCS modula la comprensión de verbos de acción (D'ausilio et al., 2009; Liuzzi et al., 2010; Papeo et al., 2009; Willems et al., 2011). Dependiendo de las exigencias de la tarea, las características de los estímulos y los parámetros de estimulación, es factible favorecer (Pulvermüller et al., 2005; Tomasino et al., 2008; Vicario & Rumiati, 2012; Willems et al., 2011) o dificultar (Branscheidt et al., 2017; Kuipers et al., 2013; Liuzzi et al., 2010; Papeo et al., 2009 ; Vukovic et al., 2017) el procesamiento de palabras y oraciones que denoten acciones. En particular, si previo a una tarea lingüística se aplica tDCS anódica en el AMS izquierda, se perjudica el procesamiento de verbos de acción, sin que haya efectos sobre verbos abstractos (Gijssels et al., 2018). Este patrón tiene gran relevancia teórica, pues la evidencia de *disrupciones selectivas* en palabras de acción demuestra que los circuitos motores cumplen un papel crítico en su procesamiento (Vukovic et al., 2017).

En síntesis, el rol de los mecanismos motores en el procesamiento del lenguaje de acción se evidencia a nivel conductual, anatómo-funcional y electrofisiológico. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la comprensión verbal supone fenómenos corporizados —es decir, reactivaciones de sistemas cerebrales funcionalmente afines (García et al., 2019; Pulvermüller, 2013a, 2018). Sin embargo, a la fecha se desconoce si estas modulaciones también tienen un rol directo durante la comprensión de acciones en el nivel discursivo. En particular, cabe preguntarse si los circuitos motores también cumplen un rol directo, modulable mediante estimulación cerebral no invasiva, en el procesamiento de TA naturalistas. He allí el primer interrogante que se abordará en esta tesis (ver sección 1.5 y Capítulo IV).

### **1.3.2. La experiencia lingüística y su impacto en el procesamiento corporizado**

Los sistemas corporizados no son universales ni inmutables, sino más bien plásticos. Su activación y acoplamiento durante el procesamiento lingüístico se reconfiguran según la experiencia individual (Kogan et al., 2020), incluyendo la edad de apropiación (el periodo aproximado de apropiación de la lengua) y la competencia (el nivel de desempeño alcanzado en ella) (Paradis, 2009). Un modelo ideal para abordar dicho fenómeno es el que ofrecen los bilingües tardíos (personas que aprendieron una segunda lengua luego de los siete años de edad), ya que permite evaluar el rol de los sistemas corporizados en una lengua adquirida desde la vida intrauterina (primera lengua, L1) y otra aprendida a partir de la infancia media (segunda lengua, L2), cuando las ventanas óptimas para la adquisición incidental de varias funciones lingüísticas ya se cerraron (Paradis, 2009; Ullman, 2001b). Además, a diferencia de los bilingües simultáneos o tempranos, la edad de apropiación y el nivel de competencia de los bilingües tardíos son muy heterogéneas, lo cual permite estudiar la influencia de ambas variables en el reclutamiento de los sistemas corporizados para la comprensión en L2 (Ahlberg et al., 2017; De Grauwe et al., 2014; Dudschig et al., 2014; Kogan et al., 2020; Vukovic & Shtyrov, 2014).

Como se señaló antes, la comprensión del lenguaje de acción en L1 se afecta por movimientos físicos concomitantes (Bergen et al., 2010; García & Ibáñez, 2016b; Glenberg et al., 2008; Locatelli et al., 2012), aumenta la actividad de regiones motoras (Aziz-Zadeh et al., 2006; García et al., 2019; Hauk et al., 2004) y modula marcadores neurofisiológicos de la acción motora (Aravena et al., 2010; Ibáñez et al., 2013). Por otro lado, estudios en L2 han revelado efectos similares tanto a nivel conductual (Buccino et al., 2017), como neurofuncional (Bergen et al., 2010; De Grauwe et al., 2014; Ibáñez et al., 2010; Vukovic, 2013; Vukovic & Shtyrov, 2014; Xue et al., 2015), aunque estos últimos resultan más débiles (Vukovic & Shtyrov, 2014) y menos extendidos (De Grauwe et al., 2014) que en L1.

En particular, se ha demostrado que el reclutamiento de sistemas corporizados durante el procesamiento del lenguaje de acción en L2 se vincula con la competencia en L2. Por ejemplo, Bergen et al. (2010) presentaron dibujos de acciones a hablantes no nativos de inglés y les pidieron que juzgaran si concordaban o no con verbos presentados en dicha lengua. Los tiempos de reacción fueron mayores cuando el verbo y la imagen implicaban la misma parte del cuerpo. Además, este efecto de interferencia correlacionó positivamente con el nivel de competencia en L2. Asimismo, Vukovic (2013) encontró un efecto de interferencia somatotópico en una tarea de traducción. Los participantes

debían reconocer la traducción correcta de verbos realizados con distintas partes del cuerpo, de forma manual (presionando un botón) u oral (pronunciándolo). Los resultados mostraron que solo los participantes con un alto nivel de competencia en L2 presentaban un efecto de efector específico (p. ej., respuestas manuales más lentas ante verbos manuales). Del mismo modo, Ibáñez et al. (2010) emplearon tareas de congruencia semántica entre gestos manuales y oraciones de acción en L2, y encontraron que solo los participantes con un nivel alto poseen modulaciones del componente N400 (un marcador electrofisiológico de integración semántica). A su vez, si bien ningún estudio ha explorado el rol de la edad de apropiación en el lenguaje de acción, otras líneas de investigación han demostrado que, a mayor edad de apropiación de la L2, hay menor sensibilidad electrofisiológica a distinciones semánticas específicas (Vilas et al., 2019) y mayores diferencias de activación entre ambas lenguas (Canseco-Gonzalez et al., 2010). Así, cabría esperar efectos similares en torno al lenguaje de acción.

En resumen, estos hallazgos sugieren que, al procesarse el lenguaje de acción, los circuitos motores podrían reclutarse de manera diferencial dependiendo de qué tan bien (y posiblemente cuándo) se aprendió una lengua. Sin embargo, a la fecha se desconoce si estas variables también modulan la manifestación de fenómenos corporizados durante el procesamiento de TA naturalistas, lo cual motiva la segunda pregunta que se abordará en esta tesis (ver sección 1.5 y Capítulo V).

### **1.3.3. La alteración de los mecanismos motores y su impacto en el procesamiento corporizado**

Otro factor individual que incide en el procesamiento del lenguaje de acción es la integridad de los sistemas motores. Uno de los enfoques más directos para evaluar este fenómeno consiste en estudiar dicho dominio en pacientes con trastorno del movimiento, que presentan alteraciones en circuitos motores y una marcada disminución de su repertorio motor. En esta línea, la mayoría de la evidencia proviene de la enfermedad de Parkinson (EP), caracterizada por una atrofia progresiva que comienza en las neuronas dopaminérgicas de la sustancia nigra, lo que conlleva a una disminución en la inervación del estriado, afectando los ganglios basales y las vías frontoestriadas (Braak et al., 2003). Esta desregulación produce los síntomas motores primarios típicos de la enfermedad (movimientos lentos y disminuidos, rigidez, temblor en reposo) y otros déficits cognitivos (Rodríguez-Oroz et al., 2009; Tabrizi et al., 2009). Más específicamente, dicho patrón

neurodegenerativo se ha asociado con déficits en el procesamiento de verbos y conceptos de acción (Birba et al., 2017).

Por ejemplo, en tareas de decisión léxica, los pacientes con EP presentan demoras para procesar verbos de acción incluso cuando no hay alteración de su desempeño en sustantivos (Boulenger et al., 2008) o verbos abstractos (Fernandino et al., 2013). Dichos pacientes también poseen deficiencias para procesar verbos de acción en tareas de generación léxica (Cotelli et al., 2007; Péran et al., 2009) y fluidez verbal (Herrera & Cuetos, 2012), sin que surjan déficits comparables en otras categorías. De hecho, esta alteración selectiva para verbos de acción se evidencia incluso en tareas oracionales (Fernandino et al., 2013) y discursivas, tanto a nivel de producción (García et al., 2016b) como de comprensión (García et al., 2018). Esto sugiere que, ante la disrupción de los sistemas motores, los déficits en lenguaje de acción se observan distintivamente aun en presencia de múltiples claves contextuales.

Estas disfunciones se manifiestan de modo primario, es decir, no dependen del nivel de deterioro cognitivo global de los pacientes (Birba et al., 2017). Por ejemplo, en tareas de asociación conceptual (Bocanegra et al., 2015), denominación de imágenes (Bocanegra et al., 2017) y comprensión textual (García et al., 2018), los pacientes presentan deficiencias específicas en el campo semántico de la acción, pero dicho trastorno no depende del nivel de afeción ejecutiva o de su rendimiento en pruebas de dominio general. Incluso se han documentado tales déficits en estadios prodrómicos: la semántica de la acción puede verse afectada selectivamente en sujetos asintomáticos con riesgo genético de desarrollar trastornos motores (García et al., 2017a).

Estos déficits semánticos se ven acompañados por alteraciones anatómicas y funcionales en circuitos motores. Por ejemplo, la severidad de los síntomas de la EP se asocia con la activación cortical en el AMS y el área de Broca durante la comprensión del lenguaje de acción (Péran et al., 2009). Asimismo, la escucha de verbos de acción en sujetos sanos implica aumentos de conectividad entre M1 y otras regiones frontales, pero en pacientes con EP dicha tarea implica hiper-conectividad entre M1 y redes posteriores no motoras (Abrevaya et al., 2017). De hecho, cuanto mayor es la atrofia en los ganglios basales, mayor es el reclutamiento de dichos circuitos alternativos (no motores) para el procesamiento de tales verbos (Abrevaya et al., 2017). A nivel electrofisiológico, se observó que durante tareas con verbos de acción, los pacientes con EP presentan menor modulación del potencial motor, como así también una menor conectividad funcional de regiones frontotemporales en las bandas alfa y beta (Melloni et al., 2015).

En resumen, la comprensión del lenguaje de acción se afecta de modo selectivo, específico, primario y temprano ante la disrupción de los circuitos motores, y se evidencia a nivel conductual, anatómico, hemodinámico y electrofisiológico. Estos hallazgos indican que los sistemas corporizados pueden alterarse de forma distintiva aun cuando otros sistemas semánticos permanezcan indemnes. Sin embargo, se desconocen las bases neurocognitivas de dichas alteraciones durante el procesamiento de TA, además ningún estudio a la fecha ha integrado todas las métricas en un marco multimetodológico, ni contemplado diversos cuadros neurodegenerativos contrastivos. Además, no se registran trabajos que hayan expandido la hipótesis a otros dominios corporizados (no motores) susceptibles de deterioro selectivo en otros cuadros neurodegenerativos. De estos baches surge la tercera pregunta abordada en la tesis (ver sección 1.5 y Capítulo VI).

#### **1.4. La brecha ecológica**

Como se ha señalado en los apartados anteriores, el procesamiento del lenguaje de acción se enraíza en circuitos motores y su activación y acoplamiento se reconfiguran en función de variables individuales (el grado de consolidación de la lengua y la integridad de los circuitos motores). Sin embargo, esta evidencia proviene de tareas que emplean estímulos atomísticos, artificiales y descontextualizados. Por ende, nada dice sobre los mecanismos que intervienen en manifestaciones cotidianas del lenguaje.

En línea con tradiciones clásicas, los estudios descriptos involucran series de palabras u oraciones desconectadas y pseudoaleatorizadas. En cambio, el lenguaje cotidiano implica, principalmente, el procesamiento de *textos*, a saber: unidades lingüísticas complejas, caracterizadas por relaciones de cohesión y coherencia, gran riqueza contextual y el desencadenamiento progresivo de relaciones semánticas (Halliday et al., 2014). Además, al requerir que los sujetos escuchen o lean palabras aisladas presentadas en pantallazos rápidos y/o que respondan a ellas con movimientos arbitrarios –ver García y Ibáñez (2016b) para una revisión y Afonso et al. (2019) para una crítica–, todos estos experimentos son ciegos a las condiciones reales del procesamiento verbal. La lectura, por ejemplo, rara vez implica leer secuencias inconexas de unidades; más bien, solemos leer párrafos multioracionales presentados de una sola vez (Hasson et al., 2018). Así, los resultados disponibles no pueden extrapolarse, *a priori*, a situaciones más naturales de procesamiento textual.

El problema puede abordarse mediante un nuevo marco metodológico, desarrollado por nuestro grupo, que emplea narraciones realistas y altamente controladas

(Trevisan & García, 2019). Este enfoque ha demostrado que el entrenamiento corporal sostenido (Trevisan et al., 2017) y la disminución de las capacidades motoras (García et al., 2018) afectan selectivamente la comprensión de acciones en textos naturalistas. Estos resultados emergentes sugieren que el procesamiento semántico también pone en juego procesos corporizados en tareas más ecológicas. Sin embargo, ninguna aproximación de este paradigma ha explorado las bases neurocognitivas de tales procesos y su modulación según la experiencia lingüística de las personas y la integridad de los sistemas corporizados (menos aun integrando métodos conductuales, neuromoduladores, electrofisiológicos, neuroanatómicos y hemodinámicos). Surge entonces la necesidad de caracterizar los procesos neurocognitivos que subyacen a la comprensión del lenguaje a nivel discursivo (Desai et al., 2016).

### **1.5. Preguntas y esquema de la tesis**

Esta tesis indaga sobre el rol de los mecanismos motores en el lenguaje de acción a nivel discursivo desde un enfoque multimetodológico. Se plantearon tres estudios para responder los siguientes interrogantes: (1) ¿existe una relación directa entre la actividad de regiones motoras y la comprensión de acciones en textos naturalistas?; (2) ¿cómo se modulan dichos fenómenos corporizados en función de la experiencia lingüística?; y (3) ¿cómo se alteran estos procesos en función de la integridad de los sistemas corporizados? Para contestar estas preguntas se utilizó una nueva tarea de textos naturalistas y se evaluaron sus correlatos neurocognitivos con técnicas de estimulación cerebral no invasiva, EEG, RMN y RMNf. En cada caso, se trabajó con una población estratégica, a saber: jóvenes sanos, bilingües tardíos y modelos de lesión, respectivamente. El trabajo realizado se recoge a lo largo de cinco capítulos, descritos a continuación.

En el Capítulo II se describen los objetivos generales y específicos de la tesis. Estos se desprenden, sistemáticamente, de las preguntas identificadas en los incisos anteriores.

En el Capítulo III se describe el paradigma de textos naturalistas empleado y las adaptaciones realizadas para cada estudio. Esta tarea permite evaluar el procesamiento de campos semánticos específicos en textos narrativos cohesivos y coherentes. Trabajamos en torno a dos tipos de textos, unos compuestos principalmente por verbos de acción (*saltar, correr*) y, como condición control, otros caracterizados por verbos abstractos que no evocan movimientos corporales (*pensar, soñar*). Este paradigma se caracteriza por el control minucioso de numerosas variables lingüísticas, emocionales, y afectivas entre

ambos tipos de narrativa, lo que propicia un abordaje ecológico sin sacrificar control estadístico en los estímulos.

En el Capítulo IV se presenta el primer estudio, orientado a identificar regiones neurales críticas para la comprensión de acciones en textos naturalistas. Específicamente, evaluamos cómo se modula dicho proceso luego de aplicarse tDCS anódica sobre la M1 en voluntarios sanos. Para evaluar la especificidad de los efectos predichos, repetimos el experimento en otros dos grupos, sometidos a estimulación placebo de M1 o tDCS anódica de un área control no motora (la corteza prefrontal ventromedial izquierda, CPFVM). Si los circuitos motores son centrales para la comprensión de acciones en textos naturalistas, se observaría una alteración selectiva del desempeño en el primer grupo respecto de los otros dos.

En el Capítulo V evaluamos el impacto de la experiencia lingüística en correlatos neurofisiológicos del procesamiento de TA. Para ello, reclutamos participantes que hablaban español como L1 e inglés como L2 tardía. Si el reclutamiento de los sistemas motores durante el procesamiento de dichos textos aumenta según la experiencia lingüística, esperaríamos mayor conectividad motora durante el procesamiento de TA en L1 que en L2. Asimismo, en esta segunda lengua, dicha dinámica cerebral debería aumentar en proporción a la competencia y el tiempo de exposición a la lengua. Esta hipótesis se evaluó de la forma más ecológica posible, comparando medidas de conectividad funcional en EEG durante la lectura libre de TA y TnA.

En el Capítulo VI estudiamos cómo se altera la comprensión lingüística al afectarse diversos sistemas corporizados. Si la comprensión de acciones en textos naturalistas depende de la integridad de los circuitos motores, entonces los pacientes con EP presentarán déficits selectivos y alteraciones cerebrales específicas para dicho campo semántico. Además, ampliamos la investigación a otros sistemas corporizados, no motores, evaluando la comprensión del lenguaje social en pacientes con déficits socio-comportamentales con la variante conductual de la demencia frontotemporal [vcDFT]. Para ello, incluimos una versión adicional de la tarea, basada en textos con alto y bajo contenido social. En este estudio, se utilizó un abordaje multidimensional (con medidas conductuales, neuroanatómicas, hemodinámicas y electrofisiológicas) y multigrupo (pacientes con EP, vcDFT, enfermedad de Alzheimer [EA] y controles sanos). Conjeturamos que sólo los pacientes con EP (no así los de vcDFT y EA) presentarían déficits selectivos en la comprensión de los TA, asociados a anomalías estructurales y funcionales en mecanismos motores. A su vez, la comprensión de información social se



vería específicamente afectada en pacientes con vcDFT. Por último, los pacientes con EA, incluidos como modelo neurodegenerativo control, mostrarían afectación en la comprensión del lenguaje de acción y social asociada a alteraciones neurales generalizadas e inespecíficas.

Por último, el Capítulo VII resume los principales hallazgos de los tres estudios y los discute de modo integral. Se propone una visión multidimensional del rol de los mecanismos motores en el procesamiento de textos naturalistas y se puntualizan implicancias metodológicas, teóricas y aplicadas del trabajo realizado. Además, se identifican las limitaciones generales de los tres estudios y se delinean futuros abordajes para profundizar el entendimiento de las bases neurocognitivas de la comprensión textual. Concluimos que es posible, y deseable, consolidar una línea de investigación neurocientífica sobre el rol de los sistemas corporizados en paradigmas lingüísticos ecológicos.

## **Capítulo II**

### **Objetivos**

#### **2.1. Objetivo general**

El objetivo general de la tesis es caracterizar los mecanismos neurocognitivos que subyacen a la comprensión de acciones a nivel discursivo desde un marco multidimensional, contemplando aspectos conductuales, electrofisiológicos, anatómicos y hemodinámicos, con especial énfasis en cómo estos se modulan según las experiencias lingüísticas de los sujetos y la alteración de sistemas corporizados.

#### **2.2. El rol de los circuitos motores en la comprensión de acciones en textos naturalistas: Efectos de tDCS sobre M1**

El objetivo general de este estudio es determinar si los circuitos motores cumplen un rol relevante en la comprensión de acciones evocadas por textos naturalistas. Este objetivo se desglosa en tres objetivos específicos:

- Evaluar si la estimulación por tDCS de tipo anódica sobre M1 tiene un efecto selectivo sobre la comprensión de acciones (en comparación con otros dominios semánticos) en textos naturalistas.
- Determinar si el rol predicho para M1 es funcionalmente específico, en comparación con la estimulación de una región frontal no motora (CPFVL).
- Estudiar si dicho efecto es independiente del rendimiento en otros dominios generales verbales y no verbales.

#### **2.3. Impacto de la experiencia lingüística en la conectividad motora durante el procesamiento de textos de acción: un estudio electroencefalográfico en bilingües**

El objetivo general de este estudio es evaluar si la conectividad de los circuitos motores durante el procesamiento de TA varía según la experiencia lingüística. Para ello nos trazamos tres objetivos específicos:

- Evaluar si el procesamiento de un TA en L1, comparado con el de un TnA, implica mayor conectividad de áreas motoras en frecuencias de oscilaciones sensibles al procesamiento motor.

- Explorar si dicho fenómeno existe en una lengua aprendida después de la infancia media (L2 tardía).
- Establecer si la intensidad de conectividad motora durante el procesamiento de TA en una L2 tardía se asocia con el grado de consolidación de dicha lengua (a saber, la edad de apropiación y el nivel de competencia).

#### **2.4. Impacto de las alteraciones en los sistemas corporizados en el procesamiento semántico: evidencia multidimensional de pacientes con EP, vcDFT y EA**

El objetivo general de este estudio es evaluar los correlatos multinivel del procesamiento lingüístico en personas con alteraciones de las bases neurales de los sistemas corporizados, combinando medidas conductuales (desempeño), electrofisiológicas (conectividad de EEG-ad), neuroanatómicas (RMN estructural) y hemodinámicas (conectividad de RMNf). Para llevarlo a cabo, nos planteamos los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar si la comprensión de TA se afecta selectiva y específicamente en pacientes con EP, con alteraciones de su sistema motor, en comparación con sujetos sanos y un cuadro neurodegenerativo contrastivo (EA).
- Desarrollar narrativas con iguales características al TA y TnA, pero que evalúen el lenguaje social (TS) y no social (TnS).
- Evaluar si la comprensión de TS se afecta selectiva y específicamente en pacientes con vcDFT, quienes poseen alteraciones en mecanismos de cognición social, en comparación con sujetos sanos y un cuadro neurodegenerativo contrastivo (EA).
- Evaluar si dichos déficits distintivos de EP y vcDFT, respecto de EA y controles, se asocian con alteraciones volumétricas y de hemodinámicas (conectividad funcional espacial) específicas de cada cuadro.
- Explorar si dichos déficits distintivos de EP y vcDFT, respecto de EA y controles, se asocian con patrones electrofisiológicos atípicos de conectividad funcional, específicos de cada cuadro.

## **Capítulo III**

### **Tarea de textos naturalistas**

#### **Resumen**

Este capítulo describe el protocolo experimental que atraviesa los tres estudios de la tesis. El paradigma emplea textos simples altamente controlados que se diferencian por el predominio de verbos de acción o verbos de no acción. Se describe el procedimiento para garantizar la comparabilidad lingüística de las narrativas, en cuanto a criterios semánticos, sintácticos y variables específicas de las palabras que conforma cada texto. Adicionalmente, se detallan los cuestionarios utilizados para evaluar el procesamiento de información asociada a verbos o a circunstancias. Por último, se precisan las múltiples adaptaciones realizadas según los participantes y los objetivos particulares de cada estudio. Este protocolo de construcción de textos da pie a estímulos con validez ecológica y un correcto control experimental, requisitos claves para abordar los objetivos de la tesis.

#### **3.1. Introducción**

Las neurociencias han brindado numerosos aportes al entendimiento de las bases neurocognitivas del lenguaje. Sin embargo, buena parte del campo se ve socavado por la tensión entre la validez ecológica (el grado con el cual las tareas reflejan la cotidianidad de la comunicación) y el control experimental (es decir, la comparabilidad estadística de diversas variables entre dos o más tipos de estímulo). La mayoría de los trabajos persiguen el segundo imperativo en desmedro del primero, emparejando listas de palabras u oraciones aisladas e inconexas (Melloni et al., 2015; Péran et al., 2009). Otros trabajos, minoritarios, se focalizan sobre el primer principio sin ocuparse del segundo, al trabajar con textos reales en los que no se manipula ninguna variable específica (Desai et al., 2016; Huth et al., 2016; Olson et al., 2018; Zhang et al., 2018). Como consecuencia, el conocimiento sobre las bases cerebrales del procesamiento textual es, como poco, inadecuado e inespecífico. Esta limitación también se advierte en la mayoría de los trabajos neurocientíficos sobre el lenguaje de acción.

De hecho, pocos son los estudios que han abordado este tema desde una perspectiva ecológica. Por ejemplo, Desai et al. (2016) evaluó correlatos neurocognitivos y de seguimiento ocular durante la lectura de párrafos de un libro. Combinando ambas técnicas, encontraron mayor activación de áreas sensoriomotoras para el procesamiento

de sustantivos manipulables durante la lectura de narrativas naturalistas. Sin embargo, la ausencia de un control estadístico en los componentes estructurales de las historias impide que se establezcan asociaciones firmes y específicas de los procesos cognitivos que subyacen a la comprensión lingüística. Por ejemplo, en ausencia de un texto control, es difícil establecer qué procesos semánticos específicos se asocian con los patrones neurocognitivos detectados. Entonces, una forma de abordar este aspecto radica en generar textos que resulten naturales para los participantes pero que respeten todos los controles estadísticos que requiere el diseño experimental típico del campo. Esto se puede lograr mediante el procedimiento de construcción de textos de Trevisan y García (2019), empleado a lo largo de los estudios de esta tesis. En las siguientes secciones se describe la base de la tarea de textos naturalistas, los materiales utilizados y sus adaptaciones.

### **3.2. Control lingüístico y construcción de las narrativas naturalistas**

Siguiendo el protocolo de construcción sistemática de narrativas planteado por Trevisan y García (2019), enraizado en la lingüística sistémico-funcional (Halliday et al., 2014), se elaboró una serie de historias naturalistas que se diferencian, específicamente, por la cantidad de acciones corporales que describen. El protocolo ha sido validado en trabajos previos (Trevisan et al., 2017; García et al., 2018).

Todos los textos se construyeron con base en 22 patrones sintácticos pseudoaleatorizados que se rellenaron con elementos léxicos estratégicos. Cada texto incluyó un total de 32 verbos. En los TA, estos son mayoritariamente verbos de acción (*correr, saltar*), mientras que, en los TnA, la mayoría de los verbos describen procesos abstractos o sensoriales (*pensar, sentir*). Todos los verbos incluidos en las narrativas cumplen los criterios semánticos, sintácticos y distribucionales propios de su clase (Halliday et al., 2014). Se realizaron ajustes mínimos con el fin de garantizar la cohesión y la coherencia entre las oraciones de cada texto. Adicionalmente, los textos fueron controlados por: (i) número de letras; (ii) cantidad de palabras de cada clase léxica principal (verbos, sustantivos, adjetivos y adverbios); (iii) frecuencia, familiaridad, extensión silábica, cantidad de letras e imaginabilidad de dichas palabras (Davis & Perea, 2005); (iv) cantidad de oraciones de diversos tipos; (v) complejidad lectora (Szigriszt Pazos, 1993); y (vi) legibilidad (Barrio-Cantalejo et al., 2008). Además, todos los sets de textos fueron similares en términos de valencia emocional (positiva, negativa o neutra) y nivel de activación emocional (intensidad de la valencia de 1 a 7) –todos los textos utilizados en esta tesis fueron valorados como emocionalmente positivos. Asimismo, las

listas de verbos manipuladas (verbos de acción en los TA, verbos de no acción en los TnA) fueron pareados en frecuencia, familiaridad, longitud silábica, número de letras e imaginabilidad (Davis & Perea, 2005). Los datos estadísticos específicos de los textos empleados en cada estudio pueden consultarse en los capítulos y anexos correspondientes.

Los TA son historias centradas en múltiples movimientos corporales de sus personajes, incluyendo interacciones físicas entre personas y objetos (p. ej., “*Juancito corrió rápidamente al lugar donde el payaso saltaba y bailaba*”). Además, presentan diversos detalles y características sobre los entornos, los objetos presentes en ellos, y las formas en las cuales sucedieron los eventos. Por su parte, los TnA ponen el foco en eventos que no implican acciones, tales como los sentimientos, pensamientos y percepciones de los personajes (p. ej., “*Alberto escuchó su canción favorita y se sintió extasiado*”). A su vez, ofrecen abundante información circunstancial sobre los lugares, objetos y características temporales de los eventos narrados. La **Tabla 3.1** muestra, a modo de ejemplo, un TA y un TnA utilizados en todos los estudios de la tesis (el resto de los textos puede consultarse en los anexos de los capítulos correspondientes).

**Tabla 3.1.** Ejemplos de textos naturalistas (un TA y un TnA) utilizados en los tres estudios de la tesis.

TA	TnA
<p>Sábado por la tarde. ¡El momento favorito de Juancito en toda la semana! Tomó a sus padres de la mano y juntos corrieron hasta la plazoleta. Al lado de las hamacas, un grupo de niños aplaudía las ocurrencias de un colorido payaso. Juancito corrió velozmente hacia el lugar donde el payaso saltaba y bailaba sin cesar. Al terminar el espectáculo, el payaso escribió su nombre en el pavimento. ¡Qué sorpresa! ¡También se llamaba Juan! Luego, entre toda la muchedumbre, Juancito caminó hacia el banco donde se sentaron sus padres. Abrazó a su padre con mucha fuerza y le jaló la camisa para que se levantara. ¡Era hora de jugar al fútbol! Juancito tomó la pelota y la puso en el césped. Su padre se movía de izquierda a derecha, en posición de arquero. Juancito pateó y... ¡gol! De repente salió el sol. Juancito se sacó el suéter y lo apoyó en el banco. Luego, su madre se acercó y le entregó un chocolate. Se lo comió de un bocado. Como siempre, al terminarlo, arrojó el envoltorio en el basurero. Había sido una intensa jornada. Se sentía muy cansado. Ya en la falda de su madre, mientras se limpiaba los restos de golosina de la boca, se quedó dormido.</p>	<p>La noche recién comenzaba. Alberto estaba eufórico. ¡Gracias a Dios por los fines de semana! A unas pocas cuerdas, la discoteca. Sus amigos lo aguardaban allí y juntos compartirían un buen momento. Al cruzar la calle, Alberto leyó el nombre de la discoteca en un cartel: “Ni jefe ni reloj”. Siempre lo ponía de buen humor. Una vez adentro, lo encandilaron las luces. Sintió calor y se encontró muy transpirado. Al lado del bar, un grupo de mujeres se entretenía con las ocurrencias de su amigo, Mario. Las muchachas se reían sin pausa junto a ese joven que bromeaba e inventaba personajes. Luego, entre toda la gente, Alberto reconoció a su novia, Elsa. Ella lo esperaba en una silla. Desde atrás, Alberto le preguntó si le gustaba la música. “¡Por supuesto!”, respondió Elsa. Aunque ella tenía sueño, Alberto le insistió para que lo acompañara a la pista. ¡Era hora de disfrutar la música! Como siempre, al decidirse, Elsa se olvidó la cartera en la silla. Alberto escuchó su canción favorita y se entusiasmó mucho. Elsa, fiel compañera, lo ayudó a recordar la letra. ¡Qué buen equipo! De regreso en su casa, mientras sentía el sudor y el cansancio en el cuerpo, se quedó dormido.</p>

### 3.3. Cuestionarios

Para evaluar la comprensión textual en los estudios 1 y 3, se diseñó un cuestionario de opción múltiple para cada historia, compuesto por oraciones interrogativas pronominales. Las mismas se caracterizan por contener un pronombre (*quién, qué, cuál*) o un adverbio (*cómo, dónde, cuánto, cuándo, por qué*) interrogativo que designa la información por la cual se pregunta.

Los cuestionarios del estudio 1, en población joven y sana, contenían 20 preguntas. Los del estudio 3, realizado en pacientes con enfermedades neurodegenerativas, constaban de 14 preguntas, dado que esta población es más propensa a efectos de fatiga. En cada caso, la mitad de las preguntas evaluaba información asociada al procesamiento de los verbos. La otra mitad se refería a adverbios o preposiciones que aluden a las circunstancias de los eventos. Todas las preguntas relacionadas a verbos en el cuestionario de los TA involucraban verbos de acción (p. ej., *¿Qué hizo Juancito con la pelota? La pateó*). En cambio, las preguntas sobre verbos en los cuestionarios de los TnA apuntaban a verbos abstractos (p. ej., *¿Qué hizo Alberto después de ver a Marcos? Reconoció a su novia*). Por otro lado, en ambos textos las preguntas referidas a eventos circunstanciales aludían a información locativa, causal, temporal o modal. Por ejemplo, para el TA una pregunta circunstancial sería: *¿Cuándo fue Juancito a la plaza? El sábado por la tarde*. Una de dichas preguntas para el TnA sería: *¿Dónde estaba el nombre de la discoteca? En un cartel*. La inclusión de los dos tipos de preguntas permitió realizar comparaciones intra-textos (preguntas sobre verbos vs preguntas sobre circunstancias) o inter-textos (preguntas sobre verbos de acción vs preguntas sobre verbos abstractos).

Cada pregunta se acompañó de cinco opciones de respuestas, una correcta, tres incorrectas y una opción de “no recuerdo”. El orden de las opciones fue aleatorizado, a excepción de la opción “no recuerdo”, que invariablemente se presentó en último lugar en todas las preguntas. En todos los estudios las respuestas correctas otorgaban un punto; las incorrectas y la opción “no recuerdo” sumaban cero puntos. Las preguntas se presentaron de acuerdo a la secuencia de acontecimientos en los textos, alternando entre contenido de acciones y circunstancias. En todos los casos, las respuestas a cada pregunta eran totalmente independientes de las respuestas a las preguntas anteriores.

### **3.4. Adaptaciones de la tarea de textos naturalistas según el estudio**

La tarea descrita en los incisos anteriores se adaptó según los participantes y los objetivos particulares de cada estudio. Así, generamos versiones que variaban en su idioma, forma de administración, cantidad de preguntas y plausibilidad de las opciones de respuesta. A continuación, se puntualizan las adaptaciones propias de cada estudio.

Para el estudio 1 se emplearon dos textos por condición, ya que un pilotaje indicó que los participantes sanos podían mantenerse atentos, sin cansarse, a pesar de la longitud de la tarea. Dichos textos se presentaron en modalidad auditiva, para equiparar el tiempo de exposición al material de todos los participantes. Los cuestionarios comprendieron 20



preguntas cada uno (10 enfocadas en los verbos y 10 en las circunstancias). Dado que el paradigma incluyó dos textos de cada tipo, cada condición (verbo o circunstancia) tuvo una puntuación máxima de 20 puntos. Además, para aumentar la dificultad de la tarea y evitar efectos techo (esperables en participantes sanos), las opciones incorrectas eran contextualmente plausibles y presentaban diferencias apenas sutiles respecto de la correcta (p. ej., *¿Cómo fue Pedro a la playa? Corriendo, caminando, saltando, trotando, no recuerdo*). Los detalles estadísticos y el modo de presentación de los textos se detallan en la sección “Materiales” del Capítulo IV. Los textos y cuestionarios utilizados se transcriben en el Anexo 1.1.

Para el estudio 2 se emplearon cuatro textos: dos en español (un TA y un TnA) y dos en inglés (un TA y un TnA). Para maximizar la ecología de la tarea y explorar la sensibilidad del paradigma en modalidad visual, las narrativas se presentaron por escrito, a párrafo completo, en un monitor de computadora. Dado que el objetivo era evaluar los correlatos online de los mecanismos motores, y no evaluar el desempeño conductual, solo se emplearon tres preguntas control a modo de garantizar una lectura atenta de cada pasaje. Además, estas preguntas permitieron generar una pausa entre las narrativas, minimizando efectos inter-texto (*priming*, interferencia proactiva, coactivación de esquemas mentales) que podrían impactar los registros online. El control de las variables se realizó entre los TA y los TnA de cada lengua por separado, ya que tales emparejamientos serían difícilmente viables entre lenguas debido a las múltiples diferencias estructurales entre el español y el inglés. Es importante destacar que las narrativas en L2 no son traducciones de las de L1, sino que son historias altamente controladas en L2 comparables a las de la L1, pero con contenido diferente. De esta forma los participantes siempre leen historias nuevas y no son sesgados por los eventos anteriores. Los detalles estadísticos y el modo de presentación de los textos se detallan en la sección “Materiales” del Capítulo V. Los textos y sus traducciones se transcriben en el Anexo 2.1.

En el estudio 3 se evaluaron poblaciones mayores con enfermedades neurodegenerativas (EP, vcDFT, EA) y participantes sanos. La tarea constó de cuatro narrativas presentadas de forma auditiva. Dos de ellas operacionalizaban el contraste acción vs no acción (TA y TnA), con foco en la EP; y las otras dos se centraban en el contraste social vs no social (TS y TnS), con foco en la vcDFT. Para este último caso, se construyeron dos historias con el mismo protocolo descrito en la sección 6.2.3 (ver detalles en la sección “Materiales” del Capítulo VI). Para minimizar la fatiga de los

pacientes, los cuestionarios que acompañaban las historias constaron de solo 14 preguntas (siete referidas a verbos y siete referidas a circunstancias). Asimismo, para evitar efectos piso en estas poblaciones con cuadros neurodegenerativos, las opciones de respuesta presentaban un gradiente de plausibilidad. Así, para cada pregunta, había una respuesta correcta, tres incorrectas (una sutilmente incorrecta, una exageradamente incorrecta, una ridícula) y la opción de “*no recuerdo*”. Los detalles estadísticos y el modo de presentación de los textos se detallan en la sección “Materiales” del Capítulo VI. Los textos y cuestionarios utilizados se transcriben en el Anexo 3.2.

### **3.5. A modo de cierre**

Por lo mencionado en el presente capítulo, el protocolo de construcción de narrativas naturalistas desarrollado por Trevisan y García (2019) posee por lo menos cuatro ventajas de diseño que permiten la realización de esta tesis. Primero y principal, permite evaluar la comprensión del lenguaje de acción a nivel discursivo, contrastando contra un texto control, de forma ecológica, manteniendo el minucioso control de variables lingüísticas que caracteriza a los estudios de cognición corporizada. En segundo lugar, a diferencia de otros protocolos, incluye manipulaciones intra-condición (verbos vs circunstancias) e inter-condición (TA vs TnA o Ts vs TnS). En tercer lugar, es lo suficientemente flexible como para adaptar su implementación a las diversas poblaciones y estudios evaluados en el presente trabajo, sin perder la robustez que caracteriza a la tarea. Las posibles adaptaciones son: a) la dificultad de los cuestionarios según las capacidades cognitivas de los participantes; b) modalidad de presentación (auditiva o escrita); c) distintas lenguas (español e inglés); d) distintos dialectos (español de Argentina, Colombia, Chile, Canarias); e) diferentes dominios semánticos particularmente sensibles a distintos cuadros neurodegenerativos (p. ej. lenguaje social en vcDFT). Por último, es un paradigma fácilmente combinable con las múltiples técnicas de neuroimágenes utilizadas en los distintos estudios. Los siguientes capítulos documentan su empleo estratégico en cada estudio.

## Capítulo IV

### Estudio 1: Impacto de la estimulación cerebral de regiones motoras en el lenguaje de acción

Parte de los contenidos de este capítulo se encuentran publicados parcialmente como:

**Birba A.**, Vitale F., Padrón I., Dottori M., de Vega M., Zimmerman M., Sedeño L., Ibáñez A. & García AM. (2020). Electrifying discourse: Anodal tDCS of the primary motor cortex selectively reduces action appraisal in naturalistic narratives. *Cortex*, 132, 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.08.005>

#### Resumen

¿Existe una relación directa entre la actividad de regiones motoras y la comprensión de acciones en textos naturalistas? Para responder a esta pregunta, en el presente estudio se evaluó la influencia de tDCS sobre el procesamiento de acciones en narrativas breves. Se convocó a 68 voluntarios sanos y se los asignó, al azar, a uno de tres tratamientos: tDCS anódica sobre la M1 izquierda, estimulación placebo en la misma área, o tDCS anodal sobre la CPFVL. Inmediatamente después de la sesión de estimulación, los participantes escucharon dos TA y dos TnA y respondieron sus respectivos cuestionarios. La estimulación anódica de M1 disminuyó selectivamente el desempeño en las preguntas sobre acciones corporales, en comparación con las preguntas sobre procesos abstractos. Este efecto fue selectivo para M1, ya que no se observó al estimularse la CPFVL, y resultó independiente de las habilidades de la memoria de trabajo y vocabulario de los sujetos. Además, un clasificador de máquinas de vectores de soporte en base a este patrón discriminó con un 74% de precisión entre participantes que recibieron la estimulación activa y el placebo. Tales resultados sugieren que la estimulación anódica de circuitos motores reduce su disponibilidad para comprender acciones corporales descritas en textos naturalistas.

#### 4.1. Introducción

En el creciente campo de la estimulación cerebral no invasiva (Bachtiar et al., 2018; Fregni & Pascual-Leone, 2007), varios estudios han mostrado que la modulación de M1 incide en el procesamiento de verbos y oraciones que denotan acciones corporales

(D'ausilio et al., 2009; Liuzzi et al., 2010; Papeo et al., 2009; Willems et al., 2011). Estos hallazgos sugieren que los mecanismos corporizados cumplen un rol crítico en el procesamiento lingüístico (García et al., 2019; Pulvermüller, 2013a, 2018). Ahora bien, ¿será que la estimulación directa de los circuitos motores también modula la comprensión de acciones descritas en textos naturalistas? He ahí el interrogante central del presente capítulo.

Como se vio en el Capítulo I, según las demandas de la tarea, las características de los estímulos y los parámetros establecidos, la estimulación de áreas motoras puede facilitar (Pulvermüller et al., 2005; Tomasino et al., 2008; Vicario & Rumiati, 2012; Willems et al., 2011) o dificultar (Branscheidt et al., 2017; Kuipers et al., 2013; Liuzzi et al., 2010; Papeo et al., 2009 ; Vukovic et al., 2017) el procesamiento de palabras y oraciones que denotan acciones. En particular, este último efecto tiene más relevancia teórica, ya que la evidencia de *disrupciones* selectivas sugiere que los circuitos estimulados cumplen un *rol directo* en el dominio de interés (Vukovic et al., 2017). Aunque los mecanismos que propician dicha interferencia no han sido esclarecidos (Pulvermüller, 2018), el *Hand-Action-Network Dynamic Language Embodiment* (HANDLE) (García & Ibáñez, 2016b) ofrece una explicación plausible. Este modelo propone que si se supera el umbral de activación de los circuitos motores (hiperexcitación) al procesarse el lenguaje de acción, disminuiría el desempeño conductual ya que los recursos neurales implicados no estarían óptimamente disponibles para enfrentar las demandas de la tarea. Por ejemplo, diversos paradigmas evidencian que el procesamiento de verbos de acción puede facilitar o interferir en la ejecución y/o planeación de movimientos afines, lo que sugiere accesibilidad reducida a los recursos compartidos por ambos procesos (Buccino et al., 2005; De Vega et al., 2013; García & Ibáñez, 2016a; Glenberg et al., 2008). Así, si estos efectos documentados con estímulos descontextualizados operan de modo análogo en materiales naturalistas, la hiperexcitación de regiones motoras también debería disminuir la comprensión de acciones evocadas en textos ecológicos (García et al., 2018).

Esta hipótesis se puede contrastar utilizando tDCS anódica, una técnica para modular la excitabilidad cortical (Nitsche & Paulus, 2000). La estimulación anódica de M1 puede favorecer el aprendizaje motor al aplicarse durante la ejecución de una tarea (Nitsche et al., 2003; Ziemann & Siebner, 2008), pero el mismo proceso puede dificultarse si la intervención se realiza *antes* de la tarea (Amadi et al., 2015; Apsvalka et al., 2018; Stagg et al., 2011) –tal como se ha observado en aprendizaje visuo-motor (Leow

et al., 2014). Lo mismo aplica para el dominio del lenguaje. De hecho, la estimulación anódica fuera de línea (*offline*) sobre regiones motoras puede obstaculizar selectivamente el acceso a verbos de acción (Gijssels et al., 2018). No obstante, ningún estudio ha explorado si estos efectos surgen también ante textos ecológicos. En este sentido, no puede asumirse *a priori* que los efectos reportados para palabras y oraciones individuales surgirán de modo idéntico ante materiales textuales, puesto que la información contextual incide en la modulación del procesamiento de verbos de acción (García & Ibáñez, 2016b; Van Dam et al., 2010) y facilita el desempeño verbal al favorecer el mantenimiento activo de información relevante (Ledoux et al., 2006).

En base al modelo HANDLE y los hallazgos presentados previamente, predijimos que la aplicación de tDCS anodal sobre M1 podría dificultar selectivamente la comprensión de acciones en textos naturalistas. Además, exploramos si dichos efectos son funcionalmente específicos, en comparación con la estimulación de una región frontal no motora (CPFVL) e independientes del rendimiento en otros dominios generales. Para evaluar estas predicciones cada participante se asignó, al azar, a uno de tres tratamientos: tDCS anódica sobre M1 izquierda (anodal-M1), estimulación placebo en la misma área (placebo-M1), o estimulación anodal en CPFVL izquierda (anodal-CPFVL). Inmediatamente después de la sesión de estimulación, los participantes escucharon dos TA y dos TnA y respondieron sus respectivos cuestionarios. Se trata, pues, de la primera evaluación del rol de M1 en la comprensión de acciones evocadas por tales materiales. Así, el presente estudio contribuye al debate (Caramazza et al., 2014; De Zubicaray et al., 2013; Hickok et al., 2011; Papeo et al., 2013) sobre el papel del sistema motor en la semántica corporizada, a la vez que propicia abordajes más ecológicos para las neurociencias del lenguaje en general.

## **4.2. Métodos**

### **4.2.1. Participantes**

La muestra estuvo conformada por 68 sujetos hispanoparlantes, oriundos de Tenerife, España (el lugar donde se realizó la toma de datos). Todos los participantes eran diestros, con visión normal o corregida. Mediante una entrevista estandarizada, se verificó que ninguno presentara antecedentes de enfermedades psiquiátricas o neurológicas, o contraindicaciones para someterse al proceso de tDCS o TMS. Los participantes se asignaron a los tres grupos de forma aleatoria: anodal-M1, placebo-M1 o anodal-CPFVL. Seis participantes fueron excluidos porque no completaron la totalidad de sesiones y

protocolos. La muestra final ( $n = 62$ ) alcanzó una potencia de 0.96 y estuvo conformada por 19 sujetos (15 mujeres) para el grupo anodal-M1, 23 (16 mujeres) para el grupo placebo-M1, y 20 (17 mujeres) para el grupo anodal-CPFVL. Los grupos fueron pareados en sexo ( $X^2 = 2,60, p = 0,27$ ), edad [anodal-M1:  $M = 21,15, DE = 1,22$ ; placebo-M1:  $M = 23,43, DE = 1,11$ ; anodal-CPFVL:  $M = 23,5, DE = 4,35; F_{(1,59)} = 1,56, p = 0,21$ ] y nivel educativo [anodal-M1:  $M = 14,47, DE = 0,75$ ; placebo-M1:  $M = 16,21, DE = 0,68$ ; anodal-CPFVL:  $M = 15,8, DE = 2,23; F_{(1,59)} = 1,7, p = 0,19$ ]. Todos los participantes brindaron consentimiento informado por escrito, conforme a la Declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de las instituciones involucradas.

## 4.2.2. Materiales

### 4.2.2.1. Tarea de textos naturalistas

La tarea incluyó cuatro narrativas: dos TA y dos TnA, presentados auditivamente. Los textos fueron grabados por un hablante nativo de español canario, el dialecto nativo de los participantes. Se utilizó un ritmo de narración pausado para todos los casos. Los archivos se grabaron en formato .mp3 con salida estéreo. Cada uno tuvo una duración aproximada de 100 segundos. Asimismo, además de las variables lingüísticas descritas en el Capítulo II, se controlaron múltiples variables a nivel acústico (segmentos sonoros, pausas/segmentos de silencio y energía promedio) mediante el software Neurospeech® (Orozco-Arroyave et al., 2018). La **Tabla 4.1** muestra el control de las variables entre las cuatro narrativas.

Los cuestionarios constaron de 20 preguntas cada uno (10 enfocadas en verbos y 10 en circunstancias). Ya que el paradigma incluyó dos textos de cada tipo, cada condición (verbo o circunstancia) tuvo una puntuación máxima de 20 puntos. Para aumentar la dificultad de la tarea y evitar efectos techo en sujetos sanos, las opciones incorrectas eran plausibles y sutilmente diferentes de la correcta (p. ej., *¿Cómo fue Pedro a la playa? Corriendo, caminando, saltando, trotando, no recuerdo*).

**Tabla 4.1.** Características lingüísticas de los textos.

	Texto de acción 1	Texto de acción 2	Texto de no acción 1	Texto de no acción 2	Valores <i>p</i>
Letras	941	908	976	934	0,47 <sup>#</sup>
Palabras	207	203	204	199	0,98 <sup>#</sup>
Sustantivos	48	48	44	43	0,93 <sup>#</sup>
Adjetivos	7	8	9	10	0,90 <sup>#</sup>
Adverbios	6	8	8	8	0,94 <sup>#</sup>
<b>Verbos</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>1<sup>#</sup></b>
<b>Verbos de acción</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<i>X</i> <sup>2</sup> = 9,94, <i>p</i> < 0,001. La prueba Tukey HSD mostró que cada TnA difería de ambos TA (valores <i>p</i> < 0,001), sin diferencias entre TnA o TA (todos los valores <i>p</i> > 0,58)
<b>Verbos abstractos</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	
Frecuencia <sup>a,x</sup>	1,64 (0,08)	1,67 (0,08)	1,79 (0,08)	1,79 (0,08)	
Familiaridad <sup>a,x</sup>	6,17 (0,08)	6,00 (0,09)	6,28 (0,08)	6,23 (0,09)	0,11*
Longitud silábica <sup>a,x</sup>	2,50 (0,08)	2,50 (0,09)	2,44 (0,09)	2,52 (0,09)	0,88*
Longitud ortográfica <sup>a,x</sup>	5,95 (0,19)	5,70 (0,19)	6,03 (0,19)	5,93 (0,19)	0,63*
Imaginabilidad <sup>a,x</sup>	5,17 (,16)	5,27 (,17)	4,96 (,16)	4,89 (,17)	0,33*
Frecuencia <sup>a,y</sup>	1,08 (0,16)	1,48 (0,17)	1,10 (0,18)	1,43 (0,17)	0,22*
Familiaridad <sup>a,y</sup>	5,61 (0,36)	6,20 (0,28)	6,23 (0,34)	6,09 (0,30)	0,58*
Longitud silábica <sup>a,y</sup>	2,63 (0,19)	2,4 (0,18)	2,88 (0,19)	2,66 (0,17)	0,35*
Longitud ortográfica <sup>a,y</sup>	6,00 (0,44)	6,50 (0,46)	7,44 (0,49)	6,55 (0,49)	0,19*
Imaginabilidad <sup>a,y</sup>	6,45 (0,42)	6,70 (0,44)	7,55 (0,46)	6,55 (0,46)	0,31*
Número de oraciones (incluyendo cláusulas subordinadas)	7	7	8	8	0,99 <sup>#</sup>
Comprensibilidad	4,5 (0,20)	4,10 (0,19)	4,38 (0,19)	4,18 (0,19)	0,44*
Coherencia	4,0 (0,22)	3,52 (0,21)	4,00 (0,21)	3,73 (0,21)	0,32*
Gramaticalidad	4,45 (0,18)	4,14 (0,17)	4,24 (0,17)	4,36 (0,17)	0,28*
Dificultad de lectura <sup>b</sup>	79,38	79,93	77,9	75,09	0,98
Legibilidad <sup>c</sup>	Bastante fácil	Bastante fácil	Bastante fácil	Bastante fácil	-
Valencia emocional (efecto principal de texto)	33,38 (1,40)	33,54 (1,40)	33,33 (1,40)	33,23 (1,40)	0,99*

Activación/excitación (efecto principal de texto)	2,02 (0,12)	2,40 (0,12)	2,14 (0,12)	2,44 (0,12)	$F(240,3) = 2,82$ , $p = 0,04$ , La prueba Tukey HSD ( $DMS = 0,43$ $gl = 240$ ) no mostró diferencia entre los cuatro textos (todos los valores $p > 0,05$ )
Cantidad de segmentos sonoros	184	202	177	228	0,21 <sup>#</sup>
Segmentos silentes	61	61	60	64	0,23 <sup>#</sup>
Frecuencia fundamental (Hz)	115,05 (27,24)	111,6 (27,09)	112,6 (26,1)	115,83 (26,36)	0,3871*
Energía (dB)	10,29 (12,29)	11,61 (13,489)	9,5 (12,02)	10,03 (12,19)	0,3893*

<sup>a</sup> Datos de frecuencia extraídos de B-Pal (Davis & Perea, 2005).

<sup>b</sup> Fórmula aplicada según se describe en (Szigriszt Pazos, 1993).

<sup>c</sup> Fórmula aplicada según se describe en (Barrio-Cantalejo et al., 2008).

<sup>x</sup> Calculado en base al promedio de las palabras con contenido

<sup>y</sup> Calculado en base al promedio de los verbos target

<sup>#</sup> valores  $p$  calculados con prueba de Chi cuadrado. Nivel alfa ajustado en 0,05

\* valores  $p$  calculados con ANOVA, considerando tipo de texto como factor. Nivel alfa ajustado en 0,05

### 4.2.3. Sesiones experimentales

La sesión experimental constó de una fase de estimulación *offline* y otra de evaluación conductual (**Figura 4.1**). También se incluyó una sesión de evaluación complementaria.

#### 4.2.3.1. Fase de estimulación *offline*

Para estimular M1, primero se identificó la región de M1 correspondiente a la mano mediante un pulso simple de TMS y posteriormente se administró tDCS en dicha área. Como la estimulación con tDCS es difusa, esta aproximación permitió modular la actividad cortical de una gran área de M1. Para la estimulación del grupo anodal-M1 y placebo-M1, los participantes se sentaron en una silla con apoyabrazos y reposacabezas. Se identificó el “punto motor elocuente” mediante un pulso simple de TMS, aplicado a través de un estimulador magnético Magstim 200 (Magstim, Whiteland, Dyfed, UK) con una bobina en forma de ocho (diámetro de un devanado = 70 mm). La bobina se sostuvo tangencialmente al cráneo, con el mango apuntando hacia atrás y lateralmente formando un ángulo de 45° en relación a la línea media. El registro del electromiograma se tomó del músculo del primer dorsal interóseo derecho (PDID) con electrodos Ag-AgCl. El punto a estimular se localizó en la posición del cuero cabelludo en la que TMS produjo una contracción notable del PDID contralateral (Nitsche & Paulus, 2000).

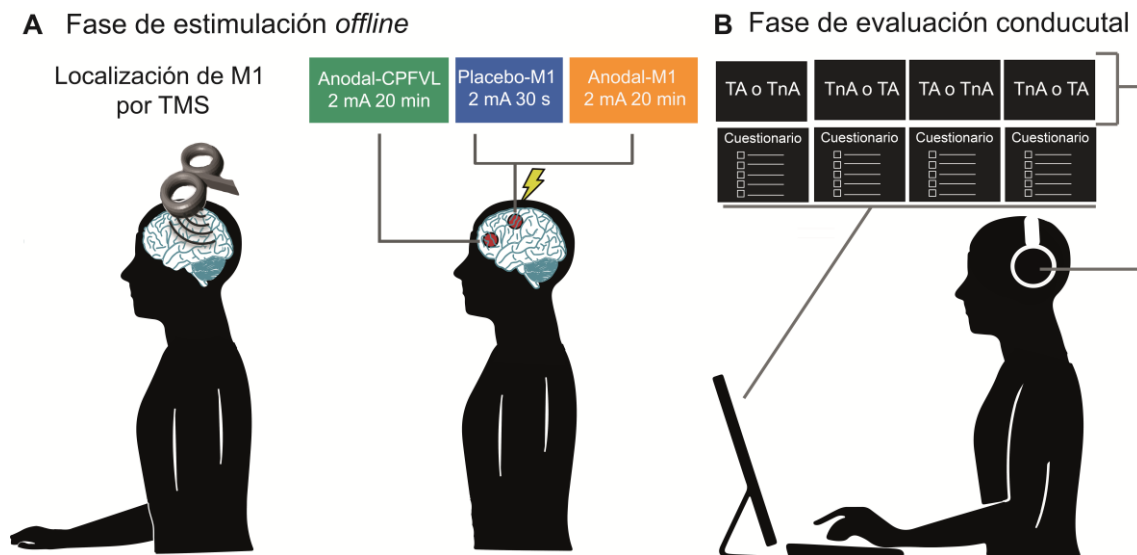
Posteriormente, utilizando un DC-Stimulator (Eldith, Germany), y siguiendo protocolos ya reportados (Wiethoff et al., 2014), se administraron 2 mA de corriente



continua durante 20 minutos a los grupos anodal-M1 y anodal-CPFVL, y 30 segundos para el grupo placebo-M1. Al comienzo de la estimulación, para los tres grupos, se incrementó la corriente de forma gradual durante 8 segundos, y al final se disminuyó lentamente la corriente durante 8 segundos más, hasta que se apagó –este procedimiento favorece que los participantes sean ciegos a el tipo de estimulación que reciben (Gandiga et al., 2006). La estimulación se llevó a cabo con dos electrodos de esponja (Eldith, Germany) empapados en solución salina. Para los grupos anodal-M1 y placebo-M1, el electrodo de estimulación (25 cm<sup>2</sup>) se posicionó en el punto motor elocuente (determinado por TMS) de la M1 izquierda, y el electrodo de referencia (35 cm<sup>2</sup>) se colocó sobre la piel que cubre la región supraorbital derecha (Nitsche et al., 2005). Por otra parte, y en línea con reportes previos que han implementado protocolos de estimulación en CPFVL (Chrysikou et al., 2013), para el grupo anodal-CPFVL se colocó el ánodo en F7 de acuerdo al sistema para electroencefalografía 10-20. El electrodo de referencia se colocó en la región supraorbital –al igual que en los grupos anodal-M1 y placebo-M1. En todos los casos, la fase de estimulación *offline* duró 20 minutos.

#### **4.2.3.2. Fase de evaluación comportamental**

Luego de la fase de estimulación *offline*, los participantes recibieron instrucciones de cerrar los ojos y escuchar cuidadosamente los textos grabados a través de auriculares profesionales de alta definición. Para familiarizarlos con la tarea, primero se les presentó una narrativa con la misma longitud y estructura que las del experimento, seguida de tres preguntas de ejemplo. Después de la práctica, los participantes escucharon los dos TA y los TnA. Cada texto se presentó una única vez. Los TA y TnA se alternaron sistemáticamente y se contrabalancearon en todos los participantes (los textos de una misma categoría nunca se presentaron sucesivamente). Inmediatamente después de cada texto, se presentaron en una pantalla las 20 preguntas del cuestionario y se les pidió a los participantes que seleccionaran la respuesta correcta tan rápido como les fuese posible, utilizando teclas predefinidas de un teclado numérico. Las respuestas seleccionadas se guardaron automáticamente.



**Figura 4.1. Sesión Experimental. A. Fase de estimulación *offline*.** Primero, se identificó el punto motor a estimular. Mediante pulsos simples de TMS se seleccionó la posición sobre el cráneo en la que la estimulación indujo una contracción notable del PDID contralateral. Posteriormente, se administró 2mA de corriente durante 20 minutos en los grupos anodal-M1 y anodal- CPFVL, y durante 30 segundos en el grupo placebo-M1. **B. Fase de evaluación conductual.** los participantes recibieron instrucciones de cerrar los ojos y escuchar cuidadosamente los textos grabados (dos TA y dos TnA). Inmediatamente después de cada texto, se presentaron los cuestionarios con 20 preguntas que se debían responder tan rápido como fuese posible. Los textos y sus cuestionarios correspondientes se contrabalancearon entre los participantes. M1: corteza motora primaria; CPFVL: corteza prefrontal ventro lateral izquierda; TMS: *transcranial magnetic stimulation*; tDCS: *transcranial direct current stimulation*; TA: textos de acción; TnA: textos neutros.

#### 4.2.3.3. Evaluación complementaria

Para examinar el potencial impacto de habilidades mnésicas y verbales en el procesamiento de los textos, se administró una tarea de memoria de trabajo (Rodrigo et al., 2014) y una prueba de vocabulario –a saber, el Test de Vocabulario en Imágenes Peabody III (PPVT-III, del inglés *Peabody Picture Vocabulary Test*) (Dunn & Dunn, 1997). Estas evaluaciones permiten descartar posibles diferencias en estos dominios cognitivos entre los grupos. Para evitar la influencia de la estimulación, ambas pruebas fueron tomadas antes o dos semanas después de que los participantes fueran expuestos a la intervención (Kaski et al., 2014). Todos los sujetos realizaron la tarea de memoria de trabajo primero, seguida de una prueba de vocabulario.

*Memoria de trabajo:* La memoria de trabajo verbal fue evaluada mediante la adaptación al español de una prueba de retención verbal validada (Rodrigo et al., 2014). Se solicitó a los participantes que completaran oraciones (lo más rápido posible) con la primera palabra que se les viniera a la mente, y recordar la mayor cantidad posible de las palabras proporcionadas. Las palabras faltantes eran sustantivos disilábicos concretos (p. ej., “*En verano hace mucho \_\_\_*”). Posteriormente el participante debía repetir las palabras que había seleccionado –en este caso, *calor*. La tarea comprendió cuatro niveles; el primer nivel constaba de dos ítems y el último, de cinco. La tarea se concluyó cuando el participante fallaba en recordar todos los elementos de un mismo nivel. Las respuestas correctas otorgaban un punto; las incorrectas recibían calificación cero. La puntuación máxima posible es de 42 puntos.

*Vocabulario receptivo:* El conocimiento del vocabulario receptivo se midió con la versión validada al Español del PPVT-III (Dunn & Dunn, 1997). Este instrumento, que tiene una confiabilidad de re-testeo de 0,93 y consistencia interna que oscila entre 0,89 y 0,97, se ha utilizado con éxito para establecer habilidades de vocabulario en adultos jóvenes sanos (Kemper & Sumner, 2001). La prueba tiene 16 niveles con 12 estímulos cada uno. Cada estímulo consta de cuatro imágenes. En cada caso, el examinador dice una palabra y el participante debe seleccionar la imagen que corresponde con su significado. Sólo una de las imágenes es correcta en cada ensayo. A las respuestas correctas se les otorgó un punto y a las incorrectas, cero puntos. El puntaje se calculó restando los errores cometidos al nivel más alto alcanzado. La puntuación máxima posible en esta prueba es de 192 puntos.

#### **4.2.4. Análisis del desempeño conductual**

El desempeño en la tarea de textos naturalistas se analizó mediante un ANOVA mixto, que incluyó un factor fijo entre-sujetos (Grupo: anodal-M1, placebo-M1, anodal-CPFVL) y dos factores intra-sujetos (Texto: TA, TnA; condición: circunstancias, verbos). Además, para controlar posibles diferencias entre preguntas sobre verbos y circunstancias en cada tipo de texto, se restaron las puntuaciones de los TnA a los TA en cada categoría, a saber: verbos de acción en TA menos verbos abstractos en TnA, y circunstancias en TA menos circunstancias en TnA. Los datos obtenidos se analizaron con un ANOVA mixto, con un factor entre-sujetos (Grupo: anodal-M1, placebo-M1, anodal-CPFVL) y un factor intra-sujetos (Condición: circunstancias, procesamiento de verbos). Los contrastes se analizaron con la prueba Tukey HSD. Se estableció nivel de significancia con valor de alfa

$p < 0,05$ . El tamaño del efecto se calculó con un eta parcial cuadrado ( $\eta^2$ ) para resultados ANOVA y con la métrica  $d$  de Cohen para comparaciones pareadas. Los análisis se llevaron a cabo en R 3.5.2 (Team, 2018).

#### **4.2.5. Análisis clasificadorio con máquinas de vectores de soporte**

Para evaluar el efecto de tDCS anodal a nivel individual se implementó un análisis clasificadorio con máquinas de vectores de soporte (MVS). MVS es un clasificador binario capaz de encontrar el mejor hiper-plano que separa variables de datos según su clase (Noble, 2006). El algoritmo incluye una fase de enteramiento y una fase de prueba. En la fase de entrenamiento, un subconjunto de los datos (pertenecientes a 31 sujetos seleccionados aleatoriamente de las condiciones anodal-M1 y placebo-M1; 32 de placebo-M1 y anodal CPFVL; y a 29 de las condiciones anodal-M1 y anodal-CPFVL) se utilizaron para determinar los parámetros de clasificación (Núñez et al., 2002). Luego, en la fase de prueba, el resto de los datos se segmentaron en una de las dos clases posibles.

Este procedimiento se repitió 1000 veces, dividiendo aleatoriamente los subconjuntos de entrenamiento y prueba, para obtener el valor promedio de la precisión y su desvío estándar correspondiente (Dottori et al., 2017). Se realizaron análisis clasificadorios considerando la sustracción de las puntuaciones para cada condición (verbos y circunstancias). Esto permitió determinar los mejores índices de clasificación de los sujetos para el grupo anodal-M1 vs. placebo-M1, placebo-M1 vs. anodal-CPFVL, y anodal-M1 vs. anodal-CPFVL. Los análisis se ejecutaron con la función MVS del programa MATLAB.

Además, se calcularon curvas características operativas del receptor (ROC, del inglés *Receiver Operating Characteristic Curve*) para el análisis y la representación gráfica los resultados clasificadorios de la MVS. Las áreas por debajo de la curva ROC se compararon mediante el método propuesto por DeLong et al. (1988). Para ello, se utilizaron análisis desarrollados en MATLAB que incluían la implementación de los algoritmos de DeLong et al. (1988) –propuestos por Sun y Xu (2014)–, así como la prueba paramétrica propuesta por Hanley y McNeil (1982). Todos estos análisis se llevaron a cabo en el programa MATLAB.

#### **4.2.6. Análisis de covarianza**

Los resultados de la tarea de memoria de trabajo y de la PPVT-III se compararon entre grupos mediante ANOVA de una vía. Por último, para determinar si los resultados en la

tarea de textos se relacionaban con los de estas tareas, se los volvió a analizar utilizando como covariables la puntuación total de memoria de trabajo y PPVT-III. Todos estos análisis se llevaron a cabo con R 3.5.2 (Team, 2018).

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Comprensión de textos

Todos los sujetos tuvieron al menos el 55% de respuestas correctas en tres de las cuatro condiciones experimentales (verbos en TA, verbos en TnA, circunstancias en TA, circunstancias en TnA). El análisis de los dos tipos de textos reveló una triple interacción entre Grupo, Texto y Condición [ $F_{(2,59)} = 5,02, p < 0,01, \eta^2 = 0,02$ ]. La comparación post-hoc, con una prueba Tukey HSD ( $MSE = 8,75, gl = 93,03$ ), reveló un efecto significativo selectivo en el grupo anodal-M1, caracterizado por un menor desempeño en las preguntas de verbos en los TA (referidos a acciones) comparado con las preguntas circunstanciales en el mismo texto ( $p = 0,02, d = 0,90$ ) y preguntas sobre verbos en los TnA (procesos abstractos) ( $p = 0,001, d = 1,33$ ) (**Figura 4.2A**, recuadro central). Las comparaciones restantes no resultaron significativas en este grupo (todos los valores  $p > 0,20$ ) (**Figura 4.2A**, recuadro central). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre el grupo placebo-M1 entre los TA y TnA, tanto para preguntas sobre verbos como circunstancias (Figura 2A, recuadro izquierdo), indicando un desempeño similar en todas las condiciones (todos los valores  $p > 0,75$ ). Adicionalmente, los resultados del grupo anodal-CPFVL no arrojaron diferencia significativa intra-grupo entre los TA y TnA para Condición (Figura 2A recuadro derecho). Además, el grupo anodal-CPFVL mostró un mayor desempeño en verbos del TnA en comparación con el grupo de estimulación placebo ( $p < 0,01, d = 0,26$ ), y para el procesamiento de verbos del TnA en relación al grupo anodal-M1 ( $p = 0,03, d = 1,05$ )- **Figura 4.2A**. El resto de comparaciones inter e intra grupos no fueron significativas (todos los valores  $p > 0,77$ ).

El efecto selectivo del grupo anodal-M1 se corroboró mediante análisis de sustracciones para cada condición. Este análisis reveló una interacción significativa entre la condición y el grupo [ $F(2, 59) = 5,02, p < 0,01, \eta^2 = 0,07$ ]. El análisis post-hoc, mediante una prueba Tukey HSD ( $MSE = 9,50, gl = 116,78$ ), mostró valores significativamente menores en verbos del TnA (acciones) en el grupo anodal-M1 en relación al grupo placebo-M1 ( $p = 0,003, d = 1,04$ ) (**Figura 4.2B**, recuadro derecho), y no evidenció efecto significativo para el procesamiento de información circunstancial (todos los valores  $p > 0,50$ , **Figura 4.2B**, recuadro izquierdo).

### 4.3.2. Resultados de MVS

La sustracción del desempeño en verbos (TA menos TnA) discriminó de forma robusta a los sujetos que fueron sometidos a estimulación anodal-M1 del grupo placebo-M1 (tasa de clasificación:  $74\% \pm 0,02$ , **Figura 4.2C**, recuadro superior) y anodal-CPFVL (tasa de clasificación:  $70\% \pm 0,03$ , **Figura 4.2C**, recuadro central). La clasificación para el grupo anodal-CPFVL y el grupo placebo-M1 arrojó menor precisión discriminatoria (tasa de clasificación:  $62\% \pm 0,04$ ; **Figura 4.2C**, recuadro inferior). En cambio, la sustracción de información circunstancial (TnA menos TA) no arrojó buena tasa clasificatoria en ninguno de los tres análisis de MVS.

Las curvas ROC de la sustracción de verbos entre los TA y los TnA muestran una alta tasa de clasificación (área bajo la curva para anodal-M1 vs. placebo-M1:  $0,73$  IC:  $0,57 - 0,89$ ;  $p = 0,01$ ; área bajo la curva para anodal-M1 vs. anodal-CPFVL:  $0,70$  IC:  $0,53 - 0,87$ ;  $p = 0,02$ ; área bajo la curva para anodal- CPFVL vs. placebo-M1:  $0,62$  IC:  $0,45 - 0,80$ ,  $p = 0,16$ ).

Por otra parte, la sustracción de circunstancias no mostró buena tasa de discriminación para ninguno de los tres análisis realizados con MVS (anodal-M1 vs. placebo-M1:  $63\% \pm 0,03$ ; anodal-M1 vs. anodal-CPFVL:  $48\% \pm 0,06$ ; anodal-CPFVL vs. placebo-M1:  $59\% \pm 0,02$ ), y las curvas ROC estaban cercanas a la línea de identidad (área bajo la curva: anodal-M1 vs. placebo-M1:  $0,58$ , IC:  $.41 - 0,76$ ;  $p = 0,33$ , anodal-M1 vs. anodal-CPFVL:  $0,50$ , IC:  $0,31 - 0,68$ ;  $p = 0,99$ ; placebo-M1 vs. anodal-CPFVL:  $0,57$ , IC:  $0,40 - 0,75$ ;  $p = 0,38$ ). Además, una comparación estadística entre las áreas bajo la curva ROC reveló mayor discriminación en para la sustracción de verbos que para la sustracción de circunstancias para el análisis anodal-M1 vs. placebo-M1 ( $p = 0,002$ ). Los otros dos análisis no arrojaron diferencias significativas entre las curvas (anodal-M1 vs. anodal-CPFVL:  $p = 0,12$ ; anodal-CPFVL vs. placebo-M1:  $p = 0,09$ ).

### 4.3.3. Impacto de la memoria de trabajo y el nivel de vocabulario

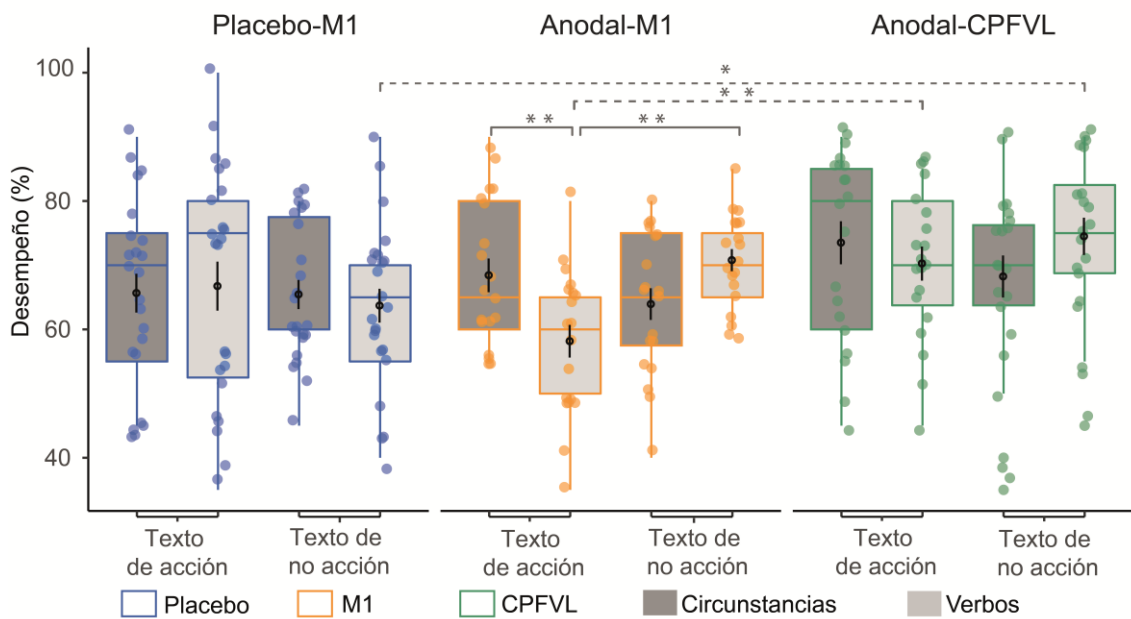
Los tres grupos presentaron un desempeño comparable en la tareas de memoria de trabajo [ $F_{(2, 51)} = 2,090$ ,  $p = 0,13$ ,  $\eta^2 = 0,006$ ] y en la prueba de vocabulario receptivo (PPVT-III) [ $F_{(1, 51)} = 0,351$ ,  $p = 0,70$ ,  $\eta^2 = 0,004$ ].

El desempeño inferior para verbos en los TA Del grupo anodal-M1, señalada en la triple interacción descrita previamente, sobrevivió al covariarse por los resultados de memoria de trabajo [ $F_{(2,51)} = 4,270$   $p = 0,015$ ,  $\eta^2 = 0,02$ ]. La prueba de Tukey HSD ( $MSE = 8,74$ ,  $gl = 79,60$ ) reveló que el grupo anodal-M1 presentó peor desempeño para procesar

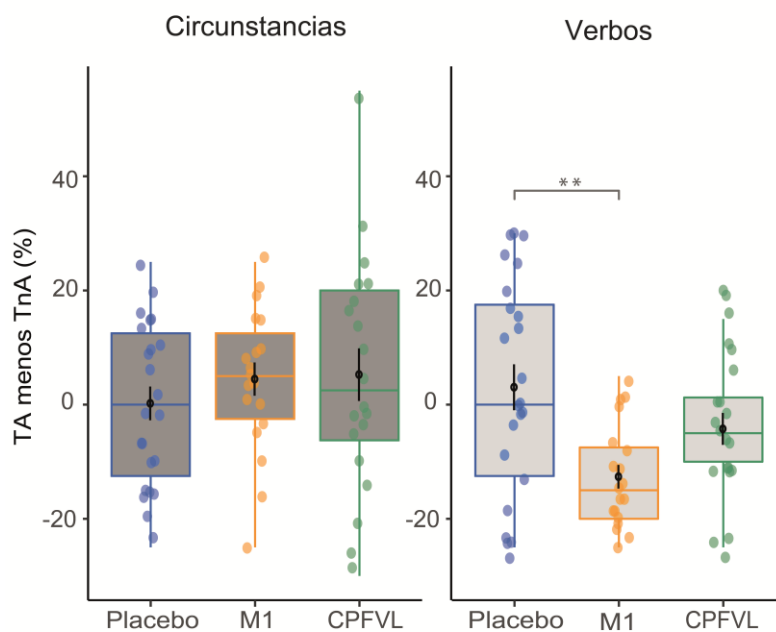
verbos en los TA en comparación con verbos de los TnA ( $p = 0,007$ ,  $d = 1,22$ ) y circunstancias en los TA ( $p = 0,041$ ,  $d = 0,81$ ). Además, el incremento en el desempeño para verbos de acción del grupo anodal-CPFVL en relación al grupo anodal-M1 también sobrevivió al covariarse por los resultados de memoria de trabajo ( $p = 0,03$ ,  $d = 0,97$ ). La triple interacción crítica se mantuvo significativa al covariar los resultados de PPVT-III [ $F_{(1,51)} = 4,27$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,02$ ]. Una vez más, el análisis de contrastes de Tukey HSD ( $MSE = 8,83$ ,  $gl = 78,00$ ) mostró que el procesamiento de verbos de acción en el grupo anodal-M1 fue significativamente menor que el de verbos neutros en los TnA ( $p = 0,007$ ,  $d = 1,22$ ), y de circunstancias en TA ( $p = 0,041$ ,  $d = 0,81$ ). Además, el mejor desempeño en verbos de TA del grupo anodal-CPFVL en comparación con el grupo anodal-M1 se mantuvo significativo después de covariar los resultados de PPVT-III ( $p = 0,03$ ,  $d = 0,97$ ).

Finalmente, el efecto selectivo del grupo anodal-M1 en el análisis de sustracción también permaneció significativo cuando se covariaron las puntuaciones de memoria de trabajo [ $F_{(1,51)} = 3,78$ ,  $p = 0,03$ ,  $\eta^2 = 0,02$ ]. El análisis de Tukey's HSD ( $MSE = 9,68$ ,  $gl = 98,82$ ) reveló un desempeño significativamente peor para verbos de acción (menos verbos abstractos) en el grupo anodal-M1 en comparación con el grupo que recibió estimulación placebo ( $p = 0,028$ ,  $d = 0,88$ ). Igualmente, este efecto sobrevivió la covarianza con las puntuaciones de vocabulario [ $F_{(2,51)} = 3,78$ ,  $p = 0,02$ ,  $\eta^2 = 0,02$ ]. La prueba Tukey HSD ( $MSE = 9,52$ ,  $gl = 98,32$ ), una vez más, mostró que el desempeño en verbos de acción (menos verbos abstractos) fue peor en el grupo anodal-M1 que en el grupo que recibió estimulación placebo ( $p = 0,034$ ,  $d = 0,88$ ). Ninguno de estos análisis arrojó diferencias significativas entre los grupos para el procesamiento de información circunstancial (todos los valores  $p > 0,05$ ).

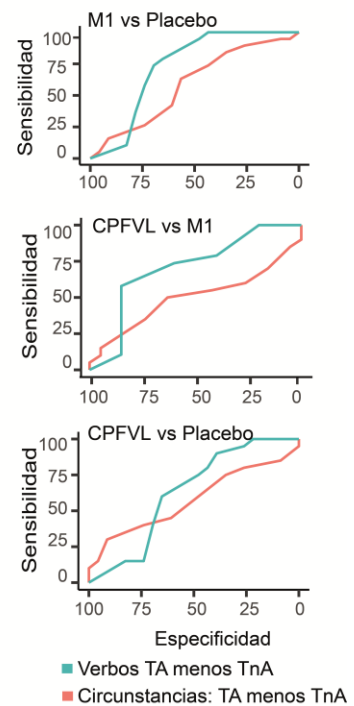
### A Resultados entre grupos y condiciones



### B Diferencias entre categorías



### C Clasificación de sujetos



**Figura 4.2. Resultados de la tarea de textos naturalistas.** A. Resultados de los grupos placebo-M1, anodal-M1 y anodal-CPFVL. Para el grupo anodal-M1, el procesamiento de verbos en TA fue significativamente más bajo en relación a las circunstancias de TA y verbos abstractos del TnA. En los grupos placebo-M1 y anodal-CPFVL, el desempeño en verbos y circunstancias fue estadísticamente similar en ambos tipos de texto. B. **Diferencias intra-categoriales.** El análisis de sustracción de información circunstancial no evidenció diferencia entre grupos. El análisis de sustracción de verbos corroboró que la estimulación anodal en M1 empeora selectivamente el procesamiento de información presentada en TA en comparación con el grupo placebo-M1. Los



valores del eje Y indican puntuaciones porcentuales. Los asteriscos (\*) indican diferencias significativas, y los asteriscos dobles (\*\*) indican diferencias significativas que sobreviven al análisis de covarianza para los resultados de memoria de trabajo y vocabulario. **C. Curvas ROC.** Curva ROC para análisis de sustracciones entre información asociada a verbos en TA y TnA (línea verde), e información circunstancial en TA y TnA (línea rosa) entre grupos (anodal-M1 vs. placebo-M1; CPFVL vs placebo-M1; anodal-CPFVL vs. anodal-M1). TA: texto de acción; TnA: texto de no acción.

#### 4.4. Discusión

Este primer estudio evaluó si los circuitos motores cumplen un rol relevante en el procesamiento de acciones evocadas por textos naturalistas. La comprensión de acciones fue significativamente menor después recibir estimulación anodal durante 20 minutos en M1. No se observaron tales efectos en los grupos placebo-M1 y anodal-CPFVL. Además, el desempeño en verbos de acción, relativo a verbos abstractos, clasificó de manera robusta a los sujetos que recibieron tDCS anodal en M1 y los que no. Finalmente, estos resultados no fueron influenciados por las habilidades de memoria de trabajo ni por el nivel de vocabulario. Por lo tanto, el sistema motor pareciese tener un rol relevante y selectivo en la comprensión de acciones evocadas por narrativas naturalistas.

Aunque la tDCS anódica sobre M1 se ha asociado mayoritariamente a una facilitación en el procesamiento de acciones (Reis & Fritsch, 2011), el decremento selectivo observado es esperable debido al diseño temporal del presente protocolo. Estudios sobre aprendizaje motor revelan que la estimulación anódica en M1 reduce los tiempos de reacción al aplicarse *durante* la ejecución de la tarea (Nitsche et al., 2003; Ziemann & Siebner, 2008) pero los extiende al aplicarse *antes* de la tarea (Amadi et al., 2015; Apsvalka et al., 2018; Stagg et al., 2011). Asimismo, la aplicación *offline* de tDCS anódica sobre los circuitos motores dificulta selectivamente el procesamiento de verbos de acción (comparados con información abstracta) durante tareas de decisión léxica (Gijssels et al., 2018) y empeora el aprendizaje de palabras que denotan acciones (Branscheidt et al., 2017; Liuzzi et al., 2010). Asimismo, el reclutamiento sostenido del sistema motor mediante la práctica de movimientos puede *disminuir subsecuentemente* la comprensión de oraciones compatibles con el movimiento (Glenberg et al., 2008). Esta investigación extiende estos hallazgos, demostrando que la aplicación *offline* de corriente eléctrica anódica sobre M1 puede interferir selectivamente el procesamiento acciones en materiales textuales.

Estos resultados pueden interpretarse bajo los presupuestos del modelo HANDLE (García & Ibáñez, 2016b). HANDLE postula que si se supera el umbral de activación de los circuitos motores (estado de hiper-excitación) durante el procesamiento de verbos de acción, disminuirá el desempeño conductual ya que los recursos neurales compartidos no estarán óptimamente disponibles para la segunda tarea. Asimismo, este planteo es consistente con la noción de metaplasticidad homeostática, la cual propone que la excitación previa de un determinado circuito eleva el umbral de activación y disminuye su predisposición para próximas excitaciones (Hurley & Machado, 2017). Dado que el procesamiento de acciones se encuentra enraizado en los circuitos motores (Birba et al., 2017; Pulvermüller, 2018), la modulación de M1 por tDCS podría elicitar un estado hiper-excitado de estos circuitos e interferir selectivamente en la comprensión del lenguaje de acción.

Sin embargo, también podría considerarse que el efecto selectivo observado se deba a otros procesos neuroplásticos. De hecho, la estimulación anódica de áreas implicadas en el lenguaje (en particular, el giro frontal inferior izquierdo) *disminuye* su activación, conllevando un mejor procesamiento léxico-semántico en tareas de fluidez verbal (Meinzer et al., 2012; Meinzer et al., 2013) y denominación (Holland et al., 2011). No obstante, nótese que estos estudios difieren de la presente investigación en el tipo de estimulación y demanda cognitiva de las tareas (Galli et al., 2019). Más aún, dichos estudios utilizaron estimulación *online* (en lugar de *offline*), induciendo mejoras (en vez de dificultades) para procesar información de categorías verbales inespecíficas (en vez de categorías de modalidad específica). Por lo tanto, aunque el diseño de esta investigación no permite descartar que el efecto observado se deba a la inhibición de regiones específicas, la explicación basada en hiper-excitación pareciese al menos plausible dado los parámetros de estimulación del experimento. En cualquier caso, este escenario promueve nuevos abordajes que incluyan estudios de tDCS con RMNf para contrastar tal hipótesis.

Si bien los cambios neuroplásticos inducidos por la tDCS anódica son materia de debate (Roche et al., 2015; Wiethoff et al., 2014), la detección de efectos selectivos en dominios corporizados tiene relevancia teórica. En línea con trabajos previos de tDCS (Branscheidt et al., 2017; Gijssels et al., 2018; Liuzzi et al., 2010), nuestro estudio indica que al alterarse la polaridad cortical de M1 pueden *desencadenarse* efectos en una categoría lingüística específica. La dirección del resultado refuerza tal conclusión: mientras que es difícil de determinar las causas de las *mejoras* reportadas en protocolos

que implementan técnicas de estimulación cerebral no invasiva, ya que pueden deberse al aprendizaje de la tarea, la evidencia de *reducción* en el desempeño a pesar de exposición constante a la prueba destaca el rol de los circuitos motores en la semántica de la acción (Vukovic et al., 2017). Por lo tanto, este estudio ofrece evidencia crucial a favor de los sistemas corporizados.

Asimismo, el efecto de la estimulación fue específico para M1, ya que, los grupos placebo-M1 y anodal-CFPVL no presentaron efectos significativos para el procesamiento de acciones. De hecho, el grupo anodal-CPFVL presentó un incremento en la comprensión de verbos abstractos, en relación con el grupo placebo-M1. Estos hallazgos se alinean con estudios de RMNf y TMS que demuestran que la región prefrontal, aunque no está relacionada con el procesamiento de verbos de acción (Pulvermüller, 2013a, 2018), facilita la formación de huellas mnésicas en diversas categorías verbales (Galli et al., 2017). En particular, la actividad de la CPFVL se ha asociado a la memoria de trabajo (Veltman et al., 2003) y, más aún, al procesamiento de verbos en general (Vigliocco et al., 2011). De hecho, la administración de tDCS anodal sobre esta región facilita tareas de fluencia semántica (Cattaneo et al., 2011; Meinzer et al., 2012) y de denominación (Sparing et al., 2008) de diversos tipos de palabras. En consecuencia, los resultados del grupo que recibió estimulación anodal en la CPFVL dan cuenta de la participación funcional de esta área en el procesamiento *transcategorial* de información verbal (incluyendo verbos abstractos en general). Ello corrobora la especificidad regional del efecto selectivo sobre verbos de acción observado después de estimular M1. En este sentido, la disminución en el desempeño en verbos de acción podría reflejar la competencia por el acceso a recursos compartidos (modelo HANDLE), mientras que la mejoría en el procesamiento de verbos abstractos en el grupo anodal-CPFVL indicaría que las regiones frontales no motoras cumplen un papel distinto (no corporizado) en el procesamiento de verbos (Vigliocco et al., 2011) –en tal caso no habría competencia por recursos neurales compartidos.

Cabe destacar, también, que los resultados del grupo que recibió estimulación anodal-M1 resultaron robustos a nivel individual. Mientras que los efectos de tDCS en otras medidas comportamentales presentan amplia variabilidad y están ausentes en aproximadamente el 50% de la población (Wiethoff et al., 2014), la comprensión de conceptos asociados al procesamiento de acciones (contralando por la comprensión de verbos abstractos) emerge como el *mejor* clasificador entre los sujetos de los grupos anodal-M1 y placebo-M1 –con una precisión del 74%. El decremento selectivo observado

aparece a nivel de sujeto individual, y no es un efecto sustentado únicamente por la distribución de la muestra. En este sentido, la comprensión de acciones también constituye la variable clasificatoria más precisa para distinguir pacientes con alteración en redes motoras de sujetos sanos, inclusive superando instrumentos clínicos validados (García et al., 2018). Entonces, la contribución crítica de M1 para la comprensión de acciones en textos naturalistas parece ser robusta a nivel inter-individual.

Además, el efecto de la estimulación anodal en M1 se mantuvo después de covariarse los resultados de memoria de trabajo y PPVT-III. Ello sugiere que es independiente de las habilidades mnésicas y del vocabulario general de los sujetos. De la misma manera, los déficits semánticos diferenciales y específicos encontrados en trastornos del movimiento no se ven influenciados por alteraciones de dominio general (Ibáñez et al., 2013), inclusive en tareas de procesamiento de textos (García et al., 2018; García et al., 2017a). Asimismo, el efecto específico del entrenamiento corporal sobre la comprensión de acciones en narrativas naturalistas no se afecta por las habilidades de memoria de trabajo (Trevisan et al., 2017). De modo análogo, aquí se aprecia que la reducción en el procesamiento de acciones no parece estar mediada por factores extralingüísticos, lo que respalda la posibilidad de generalización más allá de la variabilidad individual en dominios de alto orden.

Por último, estos resultados no implican que las redes motoras son el *único* sustrato que posibilita el procesamiento de los significados de las acciones, como postulan otros trabajos que plantean un rol primario (García et al., 2019; Pulvermüller, 2013a, 2018) o secundario (Caramazza et al., 2014; De Zubicaray et al., 2013; Hickok et al., 2011; Mahon & Caramazza, 2008; Papeo et al., 2013) de los mecanismos corporizados durante el procesamiento verbal. De hecho, el procesamiento semántico de la acción modula circuitos no motores, tales como el lóbulo temporal anterior (García et al., 2019; Liljeström et al., 2008) y la porción superior del lóbulo temporal medial (Wurm & Caramazza, 2019). En efecto, el procesamiento semántico de las acciones se puede afectar por perturbaciones transitorias de ésta última región (Papeo et al., 2014). No obstante, dicha evidencia no socava la idea de que los circuitos motores son cruciales para el procesamiento semántico de las acciones. Múltiples teorías semánticas (Pulvermüller, 2018; Ralph et al., 2017) y corporizadas (Birba et al., 2017; Pulvermüller, 2013b, 2018), incluyendo el modelo HANDLE (García & Ibáñez, 2016b), reconocen que el procesamiento de verbos de acción entraña contribuciones *complementarias* de regiones de modalidad específica y multimodales (principalmente, áreas ténporo-parietales),

posibilitando la formación de conceptos de alto nivel a partir de la integración de diversos ingresos de información (*inputs*) unimodales de distintas regiones cerebrales –la duración de estos efectos ha sido ampliamente discutida en otros documentos (Hickok, 2014; Papeo et al., 2014; Pulvermüller, 2018). En este sentido, los resultados aquí documentados no suponen que el procesamiento semántico de la acción dependa *exclusivamente* de M1.

#### **4.5. Limitaciones e investigaciones futuras**

Este estudio tiene algunas limitaciones. Primero, el tamaño de los grupos fue relativamente pequeño. Aunque otros estudios han arrojado resultados informativos inclusive con muestras más pequeñas (Branscheidt et al., 2017; Liuzzi et al., 2010), futuras investigaciones deberían implementar el presente diseño con más participantes. Segundo, la cantidad de estímulos de las pruebas es limitado. Sin embargo, versiones anteriores de este paradigma han encontrado efectos robustos y específicos con menos estímulos: 10 (García et al., 2018) e inclusive 8 (Trevisan et al., 2017) ensayos por condición. Aunque aquí se utilizaron 20 preguntas por condición, duplicando el número de ítems de estudios previos, debería ampliarse esta cifra en adaptaciones futuras del protocolo. Tercero, no se evaluó el efecto de la polaridad de la corriente. Si bien se ha documentado el uso de tDCS anodal *offline* para disminuir el rendimiento en tareas de lenguaje de acción (Gijssels et al., 2018) y acciones motoras (Amadi et al., 2015; Apsvalka et al., 2018; Stagg et al., 2011), futuros trabajos deberían incluir un tratamiento de estimulación catódica. Finalmente, debido al tamaño de los electrodos (25 cm<sup>2</sup>), este diseño tiene baja resolución espacial. Por lo tanto, el efecto de la estimulación puede abarcar regiones cerebrales más amplias que M1. Debido a que la estimulación de M1 puede extenderse hacia la corteza premotora, que sistemáticamente implica el procesamiento de lenguaje de acción (Hauk et al., 2004; Pulvermüller, 2013a, 2018), futuras investigaciones deberían procurar diferenciar el rol de diferentes regiones motoras en los resultados obtenidos.

#### **4.6. Conclusiones**

La estimulación *offline* de M1 mediante tDCS anódica indujo dificultades selectivas para la comprensión de acciones evocadas por narrativas naturalistas. Este patrón presentó especificidad regional, se dio sistemáticamente a nivel individual, y no se vio influido por las habilidades mnésicas y el nivel de vocabulario de los sujetos. En línea nuestra primera

hipótesis, los circuitos motores parecerían brindar una base crítica para el procesamiento de acciones a nivel textual.

## Capítulo V

### Estudio 2: Modulación de la conectividad funcional durante la lectura de textos de acción según la experiencia lingüística

Parte de los contenidos de este capítulo se encuentran publicados parcialmente como:

**Birba A.**, Guerrero DB., Martorell Caro M., Trevisan P., Kogan B., Sedeño L., Ibáñez A., & García, AM. (2020). Motor-system dynamics during naturalistic reading of action narratives in first and second language. *NeuroImage*, 216, 116820. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116820>

#### Resumen

¿Cómo se modulan los fenómenos corporizados en función de la experiencia lingüística? Para responder a esta pregunta, evaluamos la conectividad funcional entre mecanismos motores en 26 individuos bilingües hablantes de español (L1) e inglés (L2), mientras leían un TA y un TnA en cada una de sus lenguas. Con el fin de explorar la topografía de la conectividad durante la lectura de cada texto, registramos señales de EEG-ad y las sometimos a un análisis de conectividad funcional utilizando el método de clústeres espaciales. Los resultados mostraron que, en L1, la lectura del TA (en relación con el TnA) implica una mayor conectividad entre los electrodos centrales izquierdo y derecho, típicamente implicados en procesos motores. En la L2, a pesar de los efectos nulos a nivel grupal, se encontró que la conectividad de electrodos motores/frontales durante la lectura del TA correlaciona positivamente con el nivel de competencia en L2 y negativamente con la edad de apropiación de dicha lengua. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el involucramiento de las redes motoras cerebrales en el procesamiento de acciones a nivel discursivo es proporcional a la consolidación de la lengua.

#### 5.1. Introducción

¿Cómo se modulan los fenómenos corporizados del lenguaje de acción en función de la experiencia lingüística? Esta pregunta clave para las teorías sobre la cognición corporizada se ha tratado de responder a través de experimentos bilingües que estudian las palabras de acción en L1 y L2 (Ahlberg et al., 2017; De Grauwe et al., 2014; Dudschig et al., 2014; Kogan et al., 2020; Vukovic & Shtyrov, 2014). Sin embargo, como señalamos en el Capítulo I, este campo de investigación carece de validez ecológica. Para superar

tal limitación, el presente estudio examina rasgos distintivos de conectividad funcional de los circuitos motores en individuos bilingües con diferentes niveles de competencia y edad de apropiación de una L2, mientras leen libremente un TA y TnA en L1 y L2.

Para maximizar la ecologicidad del diseño, empleamos una tarea de lectura naturalista de narraciones. El EEG permite replicar las condiciones típicas de la lectura cotidiana (estar sentado frente a una computadora leyendo textos multioracionales) mientras se monitorea la actividad en electrodos específicos sensibles a la tarea. En este sentido, las modulaciones en los electrodos centrales izquierdo y derecho, particularmente aquellos ubicados alrededor de los electrodos C3 y C4 (Ewen et al., 2016; Van Ede et al., 2019), representan índices robustos de procesos relacionados con acciones, como la interacción con objetos (Ewen et al., 2016), la imaginería motora normal (Edelman et al., 2015; Neuper et al., 2005b; Pfurtscheller et al., 2006) y patológica (López-Larraz et al., 2015), y el acceso a verbos de acción (Melloni et al., 2015; Vukovic & Shtyrov, 2014). Además, aunque un diseño de este tipo sería acaso inviable en análisis típicos de estímulos atomísticos (por la gran cantidad de artefactos oculomotores y la imposibilidad de rastrear cambios neurales ante estímulos específicos) (Picton et al., 2000), estas limitaciones se pueden superar (i) utilizando los textos naturalistas previamente descritos (ver Capítulo III), controlados en múltiples dimensiones pertinentes, y (ii) analizando los cambios de conectividad en cada sesión de lectura completa. En particular, el último requisito se puede satisfacer por medio de la métrica *weighted symbolic mutual information* (wSMI), que es capaz de discriminar entre macroestados cognitivos durante periodos extendidos (Imperator et al., 2019).

Bajo estas premisas, realizamos un experimento con dos tareas (en L1 y en L2) para examinar los efectos del procesamiento corporizado sobre la conectividad funcional durante la lectura de textos naturalistas. Específicamente, evaluamos en cada lengua los macroestados cognitivos distribuidos en la lectura libre de TA y TnA. A la luz de hallazgos previos (De Grauwe et al., 2014; Ibáñez et al., 2010; Vukovic & Shtyrov, 2014), planteamos la hipótesis de que, en comparación con el TnA, el TA en L1 involucraría hiper-conectividad entre electrodos centrales derechos e izquierdos (relacionados con la actividad motora). Además, anticipamos que este patrón se vería atenuado en L2, pero seguiría estando asociado con la competencia en L2 de los sujetos y la edad de apropiación de esta lengua. En resumen, con este enfoque, pretendemos evaluar si la conectividad de circuitos motores durante el procesamiento de TA varía según la experiencia lingüística.



## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Participantes

El estudio incluyó a 30 voluntarios bilingües de Argentina. Todos adquirieron el español como L1 y aprendieron inglés (principalmente, por instrucción formal) como L2. Todos poseían visión normal o corregida a normal, y carecían de historial de enfermedades psiquiátricas o neurológicas. Cuatro sujetos se excluyeron debido a errores técnicos durante la adquisición de la señal. Por lo tanto, la muestra final constó de 26 individuos, tamaño muestral que alcanza una potencia de 0,97 (Anexo 2.1). El grupo estaba compuesto por 21 mujeres y 5 hombres, con una media de edad de 30,30 ( $DE = 7,94$ , rango: 19-46), una edad promedio de aprendizaje de la L2 de 7,8 ( $DE = 3,52$ ; rango: 1-18) y 16,80 ( $DE = 7,35$ , rango: 4-30) años de estudio de la L2. Mediante un cuestionario sistemático (Vilas et al., 2019) se observó que, en una escala de 1 (habilidad nula para realizar tareas lingüísticas básicas) a 7 (alta habilidad para desplegar esas habilidades de manera rutinaria), la muestra tenía altos niveles de competencia en ambas lenguas (L1:  $M = 6,61$ ,  $DE = 0,50$ , rango: 6-7; L2:  $M = 6,07$ ,  $DE = 0,84$ , rango:4-7).

Todos los participantes brindaron consentimiento informado por escrito conforme a la Declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de las instituciones involucradas.

### 5.2.2. Materiales

Para este estudio empleamos un TA y un TnA en español (TA-L1 y TnA-L1) y un TA y un TnA en inglés (TA-L2 y TnA-L2). Las variables controladas en cada tándem se presentan en la **Tabla 5.1** y en la **Tabla 5.2**, respectivamente. Los textos completos en L1 y en L2 se encuentran en los anexos 2.2 y 2.3, respectivamente.

**Tabla 5.1.** Características lingüísticas de los TA y TnA para la tarea en L1 (español).

	Texto de acción	Texto de no acción	Estadístico	Valor <i>p</i> *
Caracteres <sup>a</sup>	944	978	$\chi^2 = 0,60$	0,44
Palabras	208	204	$\chi^2 = 0,04$	0,84
Sustantivos	48	44	$\chi^2 = 0,17$	0,68
Adjetivos	7	9	$\chi^2 = 0,25$	0,62
Adverbios	6	8	$\chi^2 = 0,29$	0,59
<b>Verbos</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	$\chi^2 = 0$	<b>1</b>
<b>Verbos de acción</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	$\chi^2 = 21,16$	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Verbos de no acción</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	$\chi^2 = 13,56$	<b>&lt; 0,001</b>
Frecuencia <sup>b,x</sup>	1,63	1,79	$t = 1,53$	0,13
Familiaridad <sup>b,x</sup>	6,15	6,24	$t = 0,74$	0,46
Imaginabilidad <sup>c,x</sup>	5,25	4,97	$t = 1,39$	0,17
Longitud silábica <sup>c,x</sup>	2,52	2,49	$t = 0,25$	0,80
Longitud ortográfica <sup>c,x</sup>	6,16	6,26	$t = 0,36$	0,72
Número de oraciones	22	22	$\chi^2 = 0$	1
Número de oraciones menores	3	3	$\chi^2 = 0$	1
Número de oraciones simples	8	8	$\chi^2 = 0$	1
Número de oraciones compuestas	4	3	$\chi^2 = 0,14$	0,71
Número de oraciones complejas/compuestas complejas	7	8	$\chi^2 = 0,07$	0,80
Coherencia	4,05	3,86	$t = 0,62$	0,54
Comprensibilidad	4,24	4,10	$t = 1,05$	0,30
Legibilidad (Índice de Szigriszt Pazos) <sup>d</sup>	79,92	77,3	$\chi^2 = 0,04$	0,83
Legibilidad (escala Inflezs) <sup>e</sup>	Bastante fácil	Bastante fácil	-----	-----

<sup>a</sup> Conteo de caracteres realizado sin contar los espacios.

<sup>b</sup> Datos psicolingüísticos extraídos de la base de datos LEXESP, por medio de B-Pal (Davis & Perea, 2005).

<sup>c</sup> Datos de frecuencia extraídos de B-Pal (Davis & Perea, 2005).

<sup>d</sup> Fórmula aplicada según se describe en (Szigriszt Pazos, 1993).

<sup>e</sup> Fórmula aplicada según se describe en (Barrio-Cantalejo et al., 2008).

<sup>x</sup> Calculado en base al promedio de las palabras con contenido.

# valores *p* calculados con prueba de Chi cuadrado. Nivel alfa ajustado en 0,05.

\* valores *p* calculados con medidas independientes ANOVA. Nivel alfa ajustado en 0,05.

**Tabla 5.2.** Características lingüísticas de los TA y TnA de la tarea en L2 (inglés).

	Texto de acción	Texto de no acción	Estadístico	Valor <i>p</i>
Caracteres <sup>a</sup>	696	743	$\chi^2 = 1,53$	0,215 <sup>#</sup>
Palabras	167	169	$\chi^2 = 0,01$	0,913 <sup>#</sup>
Sustantivos	33	25	$\chi^2 = 1,10$	0,293 <sup>#</sup>
Adjetivos	6	14	$\chi^2 = 3,20$	0,073 <sup>#</sup>
Adverbios	6	16	$\chi^2 = 4,54$	0,3 <sup>#</sup>
<b>Verbos</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	$\chi^2 = 0$	<b>0,999<sup>#</sup></b>
<b>Verbos de acción</b>	<b>25</b>	<b>9</b>	$\chi^2 = 5,44$	<b>0,020<sup>#</sup></b>
<b>Verbos sin acción</b>	<b>7</b>	<b>23</b>	$\chi^2 = 7$	<b>0,008<sup>#</sup></b>
Frecuencia <sup>b,c,x</sup>	802,05	974,6	$t = 0,71$	0,474*
Familiaridad <sup>b,d,x</sup>	593,2	582,4	$t = 1,63$	0,104*
Imaginabilidad <sup>b,e,x</sup>	442,8	394,9	$t = 1,98$	0,07*
Longitud silábica <sup>b,x</sup>	1,3	1,5	$t = 1,60$	0,111*
Longitud ortográfica <sup>b,x</sup>	4,8	5,1	$t = 1,98$	0,324*
Oraciones	17	17	$\chi^2 = 0$	0,999 <sup>#</sup>
Oraciones menores	0	0	$\chi^2 = 0$	0,999 <sup>#</sup>
Oraciones compuestas	3	3	$\chi^2 = 0$	0,999 <sup>#</sup>
Oraciones complejas/compuestas complejas	7	6	$\chi^2 = 0,07$	0,80
Comprensibilidad	3,9	3,6	$t = 0,684$	0,502*
Coherencia	3,7	3,6	$t = 0,186$	0,855*
Legibilidad (PSKF) <sup>f</sup>	4,4	4,55	4,22	-----
Legibilidad (SRI) <sup>g</sup>	3	2,8	3,5	-----

<sup>a</sup> Conteo de caracteres realizados sin contar los espacios.

<sup>b</sup> Datos psicolingüísticos extraídos de N-Watch (Davis, 2005), basado en conteo de lema (lemma counts).

<sup>c</sup> Datos de frecuencia extraídos de la base de datos CELEX, por medio de N-Watch (Davis, 2005).

<sup>d</sup> Datos de familiaridad extraídos de la base de datos MRC, por medio de N-Watch (Davis, 2005).

<sup>e</sup> Datos de imaginabilidad extraído de la base de datos Bristol/MRC, por medio de N-Watch (Davis, 2005).

<sup>f</sup> Calculado mediante la Fórmula Powers-Sumner-Kearl (PSKF).

<sup>g</sup> Calculado mediante el Índice de Legibilidad de Spache (SRI) revisado.

<sup>x</sup> Calculado en base al promedio de las palabras con contenido.

<sup>#</sup> valores *p* calculados con la prueba de Chi cuadrado. Nivel Alfa fijado en 0,05.

\* valores *p* calculados con medidas independientes ANOVA. Nivel Alfa fijado en 0,05.

### 5.2.3. Procedimiento

Primero, los participantes completaron el cuestionario de autoinforme. Luego, se sentaron cómodamente de frente a la pantalla de la computadora en una sala de EEG con iluminación tenue. Se les informó que se les presentarían textos escritos en la pantalla, algunos en español y otros en inglés, y que simplemente debían leer en silencio, a su propio ritmo y sólo una vez, sin mover la cabeza, los brazos o el cuerpo. Después de leer cada texto, los participantes debían responder tres preguntas de comprensión (esto se hizo

para forzar la atención y garantizar un procesamiento semántico durante la tarea). El estudio comenzó con un breve bloque de práctica, que contenía una narración con la misma extensión y estructura que las experimentales, seguida por tres preguntas de ejemplo. Después del bloque de práctica, los participantes leyeron el TA y el TnA en una lengua y después dos textos restantes en la otra lengua. Cada texto se presentó una sola vez, en un párrafo justificado y escrito en fuente Calibri (tamaño 22), color blanco, sobre un fondo negro. Al comenzar y finalizar la lectura, los participantes debían presionar una tecla para indicar el inicio y fin de la misma.

El orden de las tareas (L1, L2) y la presentación (TA, TnA) dentro de ellas se contrabalancearon sistemáticamente entre los participantes –con la restricción de que en ningún caso se presentaron dos textos de la misma categoría (p. ej., el TA-L1 y el TA-L2) de manera sucesiva. En general, el experimento duró aproximadamente diez minutos. La estructura de la sesión experimental se presenta en la **Figura 4.1A**.

#### **5.2.4. Métodos de EEG**

##### **5.2.4.1. Preprocesamiento**

Durante la lectura de cada texto, obtuvimos señales online de EEG a través de un sistema Biosemi Active-two de 128 canales con electrodos activos y un amplificador de acoplamiento DC, con una velocidad de muestreo de 1024 Hz. Los filtros análogos se ajustaron en 0,03 y 100 Hz. Se aplicó un filtro digital pasa banda entre 0,5 y 30 Hz offline para eliminar componentes de frecuencias no deseados. Durante la adquisición se fijó la referencia en los electrodos de los mastoides y luego se realizó una referencia *offline* al promedio de todos los electrodos. Los movimientos oculares y artefactos de parpadeo se removieron mediante un análisis de componentes independientes y los artefactos se rechazaron a través de la inspección visual, con el mismo enfoque utilizado por nuestro equipo en estudios sobre procesos lingüísticos y no lingüísticos en diversas poblaciones (Aravena et al., 2010; Dottori et al., 2020; Dottori et al., 2017; García-Cordero et al., 2016; Ibáñez et al., 2013; Ibáñez et al., 2010; Melloni et al., 2015; Vilas et al., 2019; Yoris et al., 2017). Los canales defectuosos se reemplazaron mediante interpolación esférica y luego se calculó la varianza de la señal entre pruebas para garantizar la estabilidad de la forma de onda promediada (Courellis et al., 2016). Se insertaron eventos cada un segundo desde el inicio hasta el final de la lectura de cada texto, lo que dio como resultado cuatro tipos de eventos: TA-L1, TnA-L1, TA-L2 y TnA-L2. El número de eventos de cada texto dependía del tiempo que el participante se demoraba en leer el texto. Cabe destacar que

las latencias de lectura promedio no difirieron de manera significativa entre los cuatro textos [ $F_{(3,75)} = 1,48, p = 0,23$ ] (L1-AT:  $M = 58,60$  s,  $SD = 14,54$  s; L1-NT:  $M = 66,23$  s,  $DE = 18,00$  s; L2-AT:  $M = 64,14$  s,  $DE = 21,40$  s; L2-NT:  $M = 60,87$  s,  $SD = 23,22$  s). Asimismo, el número de eventos resultante fue similar en los cuatro textos [ $F_{(3,75)} = 1,45, p = 0,25$ ] (L1-AT:  $M = 62,65, DE = 3,93$ ; L1-NT:  $M = 69,57, DE = 3,93$ ; L2-AT:  $M = 68,46, SD = 3,93$ ; L2-NT:  $M = 63,96, DE = 3,93$ ). Luego, a partir de los datos continuos y en función de los eventos insertados, se seleccionaron segmentos de un segundo, tal como se realizó en estudios previos de wSMI (Imperator et al., 2019). Estas etapas de procesamiento se implementaron utilizando *scripts* de MATLAB y el *toolbox* EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004).

#### **5.2.4.2. Método wSMI**

La métrica wSMI es un método de conectividad funcional que capta información no lineal compartida entre electrodos. Este método es sensible a modulaciones que escapan a las posibilidades de métodos estrictamente lineales, como las correlaciones o las métricas de coherencia. Además, se demostró que capta diferencias en operaciones cognitivas de alto nivel (García-Cordero et al., 2017; Melloni et al., 2015), incluidos procesos semánticos generales (Hesse et al., 2019) y corporizados (Melloni et al., 2015), como así también diferencias entre estados cognitivos contrastivos durante periodos variables (Imperator et al., 2019). Siguiendo procedimientos estándar (King et al., 2013), las señales fueron transformadas en símbolos. Al definir los valores de  $k$  (el número de muestras que representan un símbolo, fijado en 3) y  $\tau$  (la separación temporal entre ellos, fijada en 32 ms), ajustamos la sensibilidad de wSMI a un rango de frecuencia de 0,5-11 Hz, que es apto para capturar modulaciones relacionadas con procesos de motores (Pfurtscheller & Neuper, 1997) y de semántica de la acción (Vukovic & Shtyrov, 2014), y que también discrimina entre individuos bilingües de alta y baja suficiencia durante el procesamiento de discurso naturalista en L1 y L2 (Reiterer et al., 2005). Luego se calculó la probabilidad conjunta entre las señales para cada par de canales, para cada segmento de datos, y se estimó el valor de wSMI usando una matriz de probabilidad conjunta multiplicada por pesos binarios. Estos pesos fueron definidos como cero para pares de (a) símbolos idénticos y (b) símbolos opuestos que podrían haberse originado en una única fuente común.

### 5.2.5. Análisis de datos

Todos los análisis se realizaron de manera independiente para cada tarea: se comparó, por una parte, el TA- L1 con el TnA-L1; y, por otra, el TA-L2 y el TnA- L2. Para analizar la matriz de conectividad de cada participante en cada tarea, realizamos un análisis de clúster espacial no paramétrico para muestras dependientes (Maris & Oostenveld, 2007), un enfoque que ha demostrado ser sensible a efectos semánticos (Moreno et al., 2015), incluso en estudios con bilingües (Vilas et al., 2019). Tanto en la tarea en L1 como en la tarea en L2, se evaluaron las redes de conectividad y se compararon el TA y el TnA a través de permutaciones (con 1000 iteraciones). Los pares de electrodos se consideraron parte del mismo clúster si su conectividad alcanzaba un nivel de significancia  $p < 0,05$ . Estos clústeres se consideraron significativos con un mínimo de diez electrodos y un  $p < 0,05$  (asumiendo un nivel alfa de 0,05), tal como se hizo en trabajos previos (Aravena et al., 2010; Vilas et al., 2019). Los clústeres significativos se utilizaron para enmascarar la matriz promedio. Luego, para cada lengua, se substrajeron los datos del TnA de los datos de TA y realizó el ploteo topográfico, donde los valores positivos del clúster representan una mayor conectividad para el TA y los valores negativos, una mayor conectividad para el TnA.

Además, para evaluar si el reclutamiento de los mecanismos corporizados se relaciona con el grado de consolidación de la L2, establecimos correlaciones de Pearson entre la conectividad de sitios motores y (a) la competencia en L2 de los participantes y (b) la edad de apropiación de la L2. Las correlaciones se replicaron sobre tres estimaciones de conectividad motora. En primer lugar, derivamos una región de interés (RdI) basada en los resultados del análisis del clúster significativo. Específicamente, dado que no se observaron clústeres significativos para la tarea en L2 (ver sección 5.3.2.1), establecimos una *RdI motora* derivada del análisis de clúster en L1, que abarcaba los electrodos que mostraban hiper-conectividad durante el procesamiento del TA-L1 [B30, B32, C2, C20, C21, D5, D11, D12, D20, D22, D28] (Anexo 2.4, **Figura S1A**) y la utilizamos para enmascarar la matriz de conectividad de las condiciones de la L2. Este análisis se complementó con una *RdI control* también derivado del análisis de clúster en L1, compuesto por los electrodos que produjeron una hiper-conectividad durante el procesamiento del TnA-L1 [B27, B28, B29, B31, C1, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, D1, D2, D3, D4, D6, D7, D8, D9, D10, D13, D14, D16, D17, D18, D21, D23, D24, D25, D26, D27, D29, D30, D31, D32] (Anexo 2.4, **Figura S1A**). En segundo lugar,

replicamos el análisis de correlación utilizando dos *RdI basadas en hipótesis* específicas: una *RdI corporizada* derivada de un estudio previo sobre semántica de acción [D12, D19, D28] (Vukovic & Shtyrov, 2014) (Anexo 2.4, **Figura S1B**), y una *RdI sensible al movimiento* tomada de un experimento de movimientos físicos con los dedos [D11, D12, D13, D18, D19, D20] (Yoris et al., 2017) (Anexo 2.4, **Figura S1C**). Luego de enmascarar las matrices con estos tres abordajes, sustrajimos los valores del TnA al TA y, para cada sujeto, promediamos la conectividad de todos los electrodos de la RdI y lo correlacionamos con la competencia y edad de apropiación en L2. Además, para asegurar que las correlaciones predichas fueran específicas para la corporización de la L2, analizamos si estas variables estaban relacionadas con la hiper-conectividad durante (i) el procesamiento del TnA-L2 y (ii) el TA-L1. Estos análisis se realizaron con MATLAB y R 3.5.2.

### **5.3. Resultados**

#### **5.3.1. Tarea en L1**

##### **5.3.1.1. Análisis de clúster en L1**

Las comparaciones de conectividad funcional entre el TA y el TnA en L1 revelaron un clúster significativo ( $p = 0,005$ , corregido por clúster; **Figura 4.1B**, recuadros izquierdo y central). Específicamente, el TA presenta una conectividad mayor entre electrodos motores bilaterales (**Figura 4.1B**, recuadro izquierdo), mientras que el TnA mostró mayor conectividad sobre el resto de los electrodos significativos del clúster, cubriendo las áreas frontal y temporal izquierda y derecha (**Figura 4.1B**, recuadro central).

#### **5.3.2. Tarea en L2**

##### **5.3.2.1. Análisis de clúster en L2**

El contraste directo entre el TA y el TnA no reveló diferencias significativas de conectividad funcional en L2 ( $p > 0,025$ , corregido por clúster).

##### **5.3.2.2. Correlaciones entre hiper-conectividad de TA en L2 y medidas de consolidación de la L2**

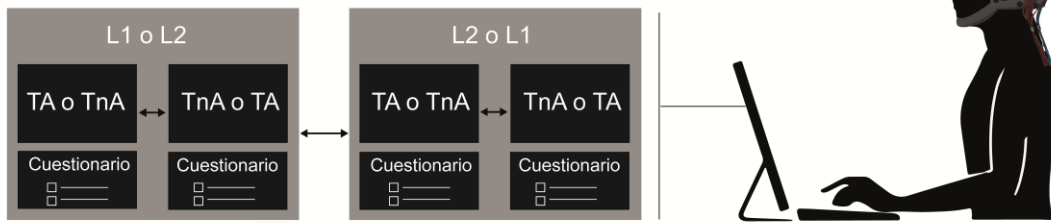
A pesar de la falta de diferencias globales en la conectividad entre los textos en L2, examinamos si la conectividad de los electrodos de la *RdI motora* derivada del clúster significativo en L1 se relacionaba con medidas de consolidación de la L2 (específicamente, competencia en L2 y edad de apropiación de la L2). Los resultados

revelaron una correlación positiva entre la competencia en L2 y la hiper-conectividad en el TA-L2 (TA vs. TnA) ( $r = 0,43, p = 0,03$ , **Figura 4.1C1**, recuadro izquierdo) pero no así en el *RdI control* basada en el análisis de clúster en el TnA-L2 ( $r = 0,29, p = 0,15$ , **Figura 4.1C1**, recuadro izquierdo). Estos resultados son específicos para la L2, ya que las correlaciones entre la competencia en L2 y la conectividad en el procesamiento del TA y el TnA en L1 (TA vs. TnA) no revelaron resultados significativos (Anexo 2.5). Estos resultados se replicaron en las correlaciones según las *RdI basadas en hipótesis*, ya que la competencia en L2 correlacionó positivamente con la conectividad de la *RdI corporizada* ( $r = 0,43, p = 0,03$ ) y de la *RdI sensible al movimiento* ( $r = 0,41, p = 0,03$ ) durante el procesamiento de la L2 (TA vs. TnA). Además, estos resultados son específicos para L2, ya que las correlaciones entre la competencia en L2 y la conectividad de las *RdI basadas en hipótesis* (corporizada y sensible al movimiento) no revelaron resultados significativos en L1 (Anexo 2.5).

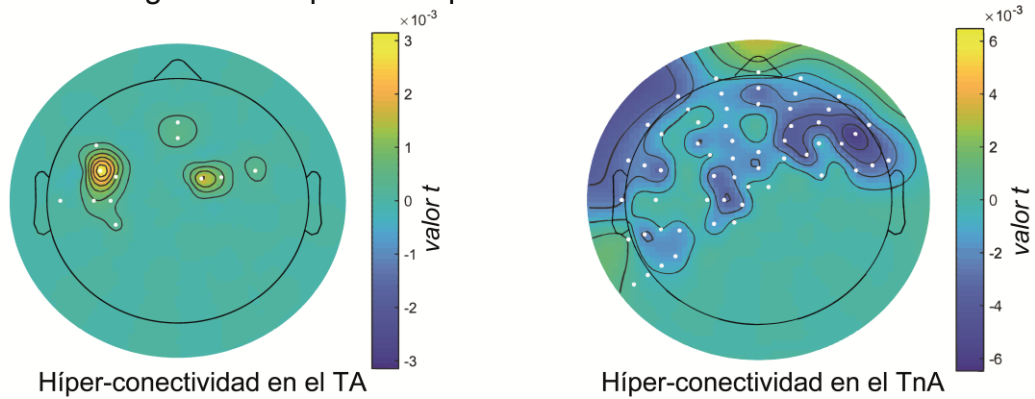
Adicionalmente, inspeccionamos la relación entre la edad de apropiación de la L2 y la conectividad para el TA y el TnA en L2. Encontramos una correlación negativa con la *RdI* derivada del clúster significativo ( $r = -0,40, p = 0,047$ , **Figura 4.1C2** panel izquierdo) pero no con la conectividad de la *RdI control* (basada en el análisis de clúster de L1) del TnA ( $r = -0,03, p = 0,87$ , **Figura 4.1C2**, panel derecho). Como en el análisis de competencia en L2, estos resultados fueron específicos para la L2, ya que no se observaron correlaciones significativas con la conectividad de ninguna de las *RdI* durante el procesamiento de la L1 (TA vs TnA) (Anexo 2.6). Sin embargo, la correlación significativa observada para la *RdI motora* derivada del análisis de clúster del TA no se replicó en las dos *RdI basadas en hipótesis*: la *RdI corporizada* ( $r = -0,25, p = 0,21$ ) y la *RdI sensible al movimiento* ( $r = -0,23, p = 0,26$ ). Además, volvimos a ejecutar estos análisis después de retirar a un sujeto cuya edad de aprendizaje de la L2 (específicamente, 18) se consideró valor atípico a 2 *DE*. La correlación entre la conectividad en la *RdI motora* (basada en el análisis de clúster de L1) del TA y la edad de aprendizaje de la L2 siguió siendo significativa, mientras que todas las correlaciones control se mantuvieron no significativas (para más detalles, ver Anexo 2.6).



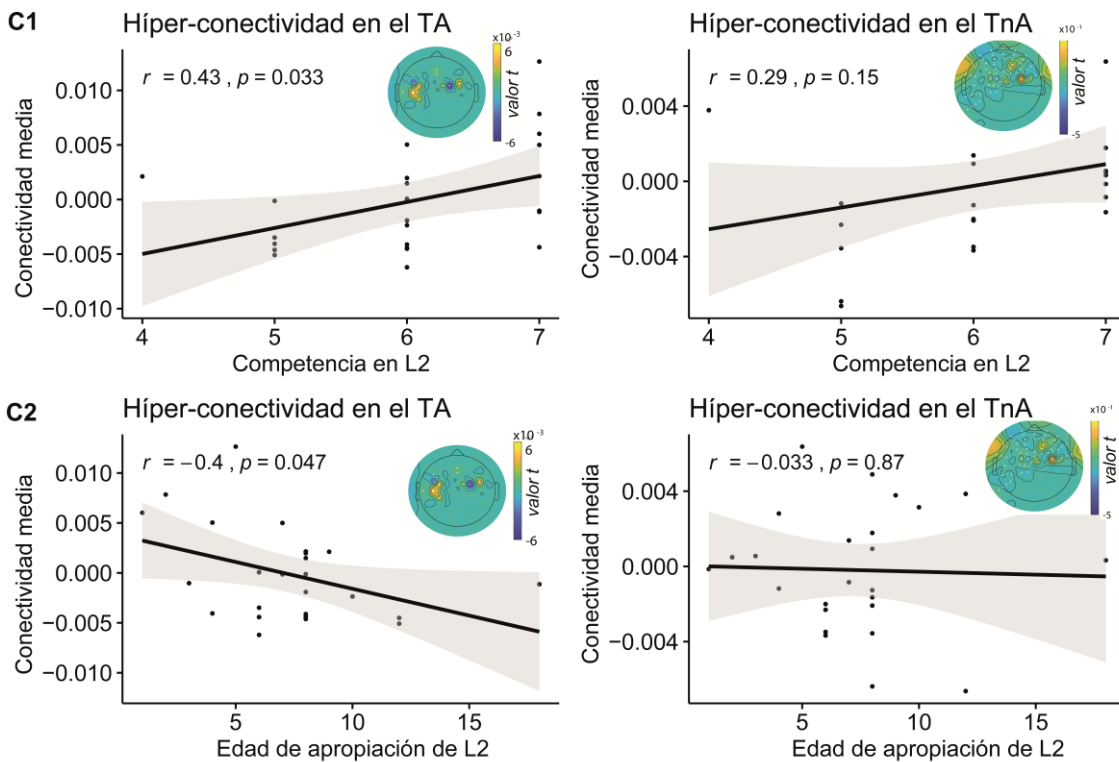
### A Paradigma experimental



### B Resultados significativos para el experimento en L1



### C Resultados significativos para el experimento en L2



**Figura 5.1. Diseño experimental y resultado.** A. Paradigma experimental. Los participantes leyeron un TA y un TnA en su L1 y en su L2. Luego de cada texto se presentaron tres preguntas de comprensión para forzar la atención durante la lectura. El orden de las tareas (L1, L2) y de los textos dentro de ellas (TA, TnA) se contrabalanceó entre los participantes. B. Resultados significativos para la tarea en L1. Los paneles izquierdo y derecho muestran los ploteos topográficos de la conectividad

sustraída entre TA y TnA (0,5-11 Hz). El panel muestra patrones de hiper-conectividad para el TA en relación con el TnA (recuadro izquierdo), y para el TnA en relación con el TA (recuadro derecho). **C. Resultados significativos para la tarea en L2. C1.** Correlación de Pearson entre la competencia en L2 y la conectividad en TA-L2 según la *RdI motora* basada en el análisis de clúster significativo en L1 (recuadro izquierdo), y también entre la competencia en L2 y la conectividad en la *RdI control* (basada en el análisis de clúster significativo en L1) en TnA- L2 (recuadro derecho). **C2.** Correlación de Pearson entre la edad de apropiación de la L2 y la conectividad en TA-L2 según la *RdI motora* basada en el análisis de clúster en L1 (panel izquierdo), también entre la edad de apropiación de la L2 y conectividad de la *RdI control* (basada en el análisis de clúster significativo en L1) en TnA-L2 según el mismo análisis (panel derecho). Los gráficos muestran la distribución topográfica de los patrones de conectividad sustraída entre el TA y el TnA (0,5-11 Hz) para cada RdI, enmascarada con el clúster significativo de la tarea en L1. Las barras de color muestran los valores *t* de las diferencias entre las condiciones, donde el amarillo indica mayor conectividad durante el procesamiento del TA y el azul denota mayor conectividad durante el procesamiento del TnA. Los puntos blancos representan los electrodos significativos del clúster. TA: texto de acción; TnA: texto de no acción; L1: primera lengua; L2: segunda lengua.

#### 5.4. Discusión

Este estudio examinó si el reclutamiento de los sistemas motores durante la lectura de textos naturalistas se ve influenciado por la edad y el nivel en que se aprendió una lengua. Durante el procesamiento en L1, la lectura del TA involucró una mayor conectividad entre electrodos centrales izquierdo y derecho (relacionados con procesos motores). Además, aunque no se observó ese patrón para la L2, la conectividad de electrodos motores durante el procesamiento del TA-L2 mostró una correlación positiva con la competencia en L2 y una negativa con la edad de apropiación de dicha lengua. Estos patrones fueron específicos para la lectura del TA (comparado con el TnA). Por lo tanto, la función de los sistemas semánticos corporizados durante el procesamiento de discurso naturalista parece ser sensible al grado de consolidación del lenguaje.

El principal hallazgo de la tarea en L1 es que la lectura del TA-L1 implicó una mayor conectividad entre electrodos canónicos de procesos motores. Los electrodos de este clúster se han implicado consistentemente en procesos relacionados a acciones, evidenciando, por ejemplo, desincronización de la banda beta al agarrar objetos (Ewen et al., 2016), cambios de actividad oscilatoria en tareas de imaginación motora (Edelman et al., 2015; Neuper et al., 2005b; Pfurtscheller et al., 2006) y la alteración de esos patrones en pacientes con tetraplejia subaguda (López-Larraz et al., 2015). Más específicamente, grupos similares de electrodos han mostrado modulaciones de ritmos mu (Vukovic &

Shtyrov, 2014) y el potencial pre-motor (Melloni et al., 2015) durante el acceso a verbos de acción. Considerando la manipulación específica entre el TA y el TnA, este patrón sugiere que la comprensión de acciones puede reclutar mecanismos motores distintivamente, tal como se indicó previamente por medio de estudios de neuroimágenes (Aziz-Zadeh et al., 2006; García et al., 2019; Hauk et al., 2004), electrofisiológicos (Aravena et al., 2010; Ibáñez et al., 2013) y conductuales (Bergen et al., 2010; García & Ibáñez, 2016a; Marino et al., 2014) que examinan el procesamiento de verbos de acción a través de palabras y oraciones aisladas. Esto sugiere que la comprensión del lenguaje es mediada por reconstrucciones tácitas de las experiencias sensoriomotoras evocadas por el material verbal (Gallese & Cuccio, 2018; Gallese & Sinigaglia, 2011; Pulvermüller, 2013b, 2018).

Es importante destacar que el intercambio de información entre los electrodos C3 y C4 fue específico para el procesamiento del TA, ya que el TnA-L1 se caracterizó por una mayor conectividad entre electrodos frontales y temporales (y no entre los electrodos que se asocian más frecuentemente con los procesos motores). Este patrón de resonancia motora selectiva para el TA replica resultados previos basados en los mismos textos naturalistas en usuarios de L1. De hecho, se ha demostrado que la disfunción motora (García et al., 2018) y el entrenamiento corporal sostenido (Trevisan et al. (2017), respectivamente, dificultan y potencian la comprensión de acciones en TA-L1, sin efectos comparables en el TnA. Así, el patrón de hiper-conectividad observado para el TA (comparado con el TnA) parece reflejar efectos específicos de reactivación motora antes que marcadores inespecíficos de lectura de textos en general.

Cabe resaltar que los resultados presentados constituyen nueva evidencia sobre el *intercambio de información* no lineal asociada a procesos motores durante el procesamiento del lenguaje de acción. El uso de métricas de conectividad funcional para la investigación sobre el lenguaje corporizado (Abrevaya et al., 2017; García et al., 2016a; Melloni et al., 2015) complementa los enfoques clásicos con perspectivas sobre patrones de actividad transregional (Mišić & Sporns, 2016). Diversos mecanismos motores operarían en conjunto durante el procesamiento semántico de modalidad específica. Además, y de manera más decisiva, esto indica que el reclutamiento de sistemas corporizados cumple un rol importante durante *la lectura libre de narraciones naturalistas*. Este hallazgo aporta evidencia neurocientífica novedosa a la propuesta de que los mecanismos de activación motora pueden ser robustos para funcionar incluso en escenarios ecológicos (García et al., 2018; Trevisan et al., 2017).

Ahora bien, hasta el momento se observó que los mecanismos motores son reclutados para el procesamiento del lenguaje de acción en L1, incluso a nivel discursivo. La tarea en L2 arroja precisiones adicionales. En primer lugar, no se observaron clústeres significativamente diferentes entre el TA-L2 y el TnA-L2. Aunque ningún estudio ha evaluado la conectividad no lineal en el mismo rango de frecuencia, nuestro resultado se alinea con experimentos que muestran que otros marcadores neurales corporizados se atenúan en la L2 en relación con la L1. Por ejemplo, se ha demostrado que modulaciones del ritmo  $\mu$  durante el procesamiento de verbos de acción están presentes en L1 pero ausentes en L2 (Vukovic & Shtyrov, 2014) y lo mismo se aplica al reclutamiento de áreas premotoras y motoras primarias (De Grauwe et al., 2014). En sintonía con estudios previos (Chee, 2009; García, 2015; Klein et al., 2006; Lucas et al., 2004; Ojemann & Whitaker, 1978; Paradis, 1989, 2009; Ullman, 2001a), esto sugiere que los mecanismos que subyacen al procesamiento de la L1 no necesariamente participarían de tareas similares en L2 a lo largo de la población bilingüe.

Sin embargo, en contra de propuestas anteriores (Pavlenko, 2012), la comprensión de la L2 no opera de modo “descorporizado”. Nuestros resultados sugieren que el reclutamiento de los sistemas motores durante el procesamiento de la L2 depende de qué tan consolidada esté la lengua (Kogan et al., 2020; Monaco et al., 2019). De hecho, la hiper-conectividad relacionada con el sistema motor durante la lectura del TA-L2 correlacionó positivamente con el nivel de competencia en L2 –patrón que se replicó en dos RfI alternativas derivadas de tareas motoras (Yoris et al., 2017) y de semántica de acción (Vukovic & Shtyrov, 2014). Además, este patrón no se observó en los análisis de TnA-L2. Estos resultados son compatibles con evidencia de que solo los bilingües con niveles altos de competencia muestran modulaciones mayores del N400 ante estímulos incongruentes en un paradigma de compatibilidad entre oraciones y gestos en L2 (Ibáñez et al., 2010). Además, durante tareas de asociación de imágenes y verbos (Bergen et al., 2010) y de traducción (Vukovic, 2013), se observó interferencia de efector específico durante el procesamiento de palabras de acción en individuos bilingües con alta competencia, pero no en sujetos con baja competencia. Como se demostró en otros estudios que comparan las dos lenguas de un individuo (Liu & Cao, 2016) o usuarios de L2 de alta y baja competencia (Oh et al., 2019), nuestros resultados sugieren que el reclutamiento de sistemas corporizados durante el procesamiento ecológico de la L2 está relacionado con la consolidación de la lengua.

En el mismo sentido, la hiper-conectividad relacionada con el sistema motor durante el procesamiento del TA-L2 mostró una correlación negativa con la edad de apropiación de la L2 –un patrón específico, ya que no surgieron resultados significativos de las correlaciones control. Estos resultados se alinean con estudios que demuestran que la edad de aprendizaje de la L2 modula múltiples aspectos del procesamiento de lenguaje, incluidos los efectos semánticos (Sabourin et al., 2014; Vilas et al., 2019). No obstante, como se observa en otras tareas verbales (Consonni et al., 2013; De Carli et al., 2015; Green, 2003) y no verbales (De Carli et al., 2015), puede que la edad de aprendizaje de la L2 no module los efectos neurocognitivos de forma tan robusta como la competencia en L2. En este sentido, es importante destacar que las correlaciones de las dos RfI basadas en hipótesis no replicaron los resultados de los análisis de competencia en L2. Tentativamente, esto podría sugerir que la activación sensoriomotora durante el procesamiento naturalista de la L2 depende de qué tan bien se aprendió una lengua más que de la etapa en que ocurrió este aprendizaje. Sin embargo, dicha conjetura debería contrastarse en futuras investigaciones.

En ambas tareas, los resultados de conectividad se capturaron dentro del rango de 0,5-11 Hz. Este rango incorpora las bandas de frecuencia implicadas en procesos semánticos generales, la semántica corporizada (incluidos el lenguaje de acción y la imaginaria de acción) y la planificación y ejecución motora, según lo revelan medidas de actividad oscilatoria o conectividad funcional (Babiloni et al., 2017; Babiloni et al., 2016; De Lange et al., 2008; Ewald et al., 2012; Hanouneh et al., 2018; Kikuchi et al., 2011; Moreno et al., 2013), como así también marcadores de lenguaje de acción medido con wSMI (Melloni et al., 2015). Además, análisis de conectividad funcional (Elmer & Kühnis, 2016; Reiterer et al., 2005) y de actividad oscilatoria (Grabner et al., 2007; Vilas et al., 2019; Vukovic & Shtyrov, 2014) dentro de este rango de frecuencia muestran efectos semánticos diferenciales en L1 y L2, e incluso patrones distintivos de corporización del lenguaje de acción en esas lenguas (Vukovic & Shtyrov, 2014). Por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que el mismo rango de frecuencias que indexa efectos relevantes en paradigmas a nivel de palabra u otros estímulos atomísticos también se involucran de manera distintiva durante la lectura ecológica.

Cabe señalar que nuestra evaluación del nivel de la L2 en los participantes está parcialmente sesgada por el uso de autoinformes. A pesar de su uso extendido en investigación en bilingüismo (Hulstijn, 2012), las medidas subjetivas de la competencia en L2 son susceptibles al sesgo de aceptación social y autoimagen. Sin embargo, estas

medidas predicen de manera confiable la habilidad en L2 (Marian et al., 2007), predicen resultados de tiempo de reacción en tareas en L2 (Langdon et al., 2005) e incluso replican puntajes en pruebas de denominación multilingües (Gollan et al., 2012). No obstante, como lo demuestran Tomoschuk et al. (2018), las autocalificaciones de competencia en L2 y el desempeño objetivo no siempre coinciden, especialmente cuando los participantes son heterogéneos en cuanto a la combinación de idiomas, perfiles culturales y patrones de dominancia de una lengua. Aunque nuestro estudio elude parcialmente estos problemas al presentar una muestra compuesta exclusivamente por bilingües español-inglés del mismo contexto socio-geográfico, esto no permite excluir totalmente los sesgos e imprecisiones mencionadas anteriormente. Además, aun cuando el cuestionario específico que utilizamos se utilizó con éxito tanto para separar en diferentes grupos como para armar muestras homogéneas de bilingües (Santilli et al., 2018; Vilas et al., 2019), no contiene elementos que permitan abordar individualmente cada macro-habilidad (hablar, escuchar, leer, escribir). Afortunadamente, estas desventajas podrían superarse en futuras réplicas del estudio incorporando herramientas de autoinforme más detalladas, como el *Language History Questionnaire* (Li et al., 2006; Li et al., 2014; Li et al., 2019), idealmente en conjunto con medidas objetivas de competencia (Hulstijn, 2012).

### **5.5. Limitaciones y proyecciones de la investigación**

Este estudio presenta varias limitaciones, que abren camino para futuras investigaciones. En primer lugar, a pesar de alcanzar una potencia estadística adecuada y superar el  $N$  de diversos estudios afines (De Grauwe et al., 2014; Trevisan et al., 2017; Vukovic & Shtyrov, 2014), nuestro tamaño muestral fue modesto, lo que invita a replicar el estudio con grupos más grandes. En segundo lugar, dadas las diferencias idiosincráticas entre el español y el inglés (y, por lo tanto, entre los textos utilizados en cada lengua), no pudimos comparar directamente la conectividad funcional de L1 y L2. Nuevas aplicaciones del protocolo que se detalla en Trevisan y García (2019) deberían orientarse a la construcción de pares de textos que sean comparables entre las lenguas y dentro de ellas y así permitir comparaciones interlingüísticas directas. En tercer lugar, aunque el TnA-L1 y el TnA-L2 eran estadísticamente comparables en cuanto al número de verbos abstractos, las cifras no eran idénticas. Se asume que ambos TnA son inmunes a los efectos de la resonancia motora en sus lenguas correspondientes, como lo evidencia la comprensión intacta de verbos abstractos en español en pacientes con atrofia de regiones motoras (García et al., 2018) y los efectos nulos del entrenamiento corporal ecológico en la comprensión de

verbos abstractos en inglés (Trevisan et al., 2017). Sin embargo, futuras investigaciones deberían esforzarse por seguir perfeccionando la comparabilidad de esta variable entre TnA en cada una de las lenguas. En quinto lugar, a pesar de sus claras ventajas, la métrica de conectividad que empleamos presenta algunas limitaciones. En particular, el método wSMI no permite analizar rangos de frecuencia aislados y puede llevar a una pérdida parcial de información al favorecer las diferencias relativas sobre las absolutas entre los datos (Lee et al., 2015), reduciendo así parcialmente la sensibilidad a ciertos patrones de conectividad (Casali et al., 2013; Gourévitch & Eggermont, 2007). En este sentido, futuros estudios deberían intentar reproducir estos resultados usando un método de conectividad diferente. Para finalizar, a pesar de responder a una decisión metodológica estratégica, la tarea de lectura libre genera varias desventajas conocidas en los registros de EEG, que se deben principalmente a artefactos oculares/motores que reflejan patrones de movimientos no controlados durante la lectura (Picton et al., 2000). Futuras investigaciones deberían replicar este estudio con registros simultáneos de seguimiento ocular.

## **5.6. Conclusión**

En conclusión, nuestros resultados indican que el reclutamiento de los sistemas semánticos corporizados se asocia con el grado de consolidación de la lengua (es decir, qué tan tempranamente y qué tan bien se incorporó tal idioma). Además, demostramos que estos los mecanismos corporizados cumplen una función crítica durante la lectura no restringida de narraciones naturalistas en L1. En conjunto, estos hallazgos abonan la validez ecológica de los efectos de resonancia motora y ofrecen nuevas perspectivas sobre su relación con variables experienciales.

## Capítulo VI

### Estudio 3: Modulación de la comprensión del lenguaje de acción según la integridad de los sistemas corporizados

Parte de los contenidos de este capítulo se encuentran en proceso de evaluación dentro del siguiente trabajo:

**Birba A.**, Fittipaldi S., Cediell Escobar J. C., Gonzalez Campo C., Legaz A., Galiani A., Diaz Rivera M. N., Martorell Caro M., Alifano F., Salamone P., Piña-Escudero S. D., Cardona J. F., Neely A., Forno G., Carpinella M., Slachevsky A., Serrano C., Sedeño L., Ibáñez A., & García A. M. (2021). Multimodal neurocognitive markers of ecological discourse typify diverse neurodegenerative diseases (en revisión).

#### Resumen

¿Cómo se altera la comprensión de textos naturalistas ante la disrupción de los sistemas corporizados? Para responder a esta pregunta evaluamos correlatos estructurales y funcionales de la comprensión de TA en pacientes con afectación motora (EP), sin déficits motores (EA, vcDFT) y participantes sanos. Asimismo, ampliamos la investigación a otro dominio corporizado no motor: el lenguaje social. Para tal fin, incorporamos textos con alto y bajo contenido social (TS y TnS, respectivamente), orientados a captar déficits distintivos en pacientes con déficits socio-comportamentales (vcDFT). Los resultados revelaron patrones distintivos para cada patología. Los pacientes con EP manifestaron un deterioro selectivo en la comprensión de los textos con alto contenido de acciones (TA y TnS), pero no así en el TS y TnA. Estas diferencias selectivas se asociaron con atrofia en regiones vinculadas a: la observación de acciones motoras (p. ej., giro fusiforme/lingual y temporal superior); patrones de conectividad espacial entre nodos motores (frontoestriado, cerebelo) y semánticos-multimodales (témpero-hipocampales), e hipoconectividad de EEG-ad en regiones frontales. Por el contrario, el grupo vcDFT exhibió déficits selectivos en el TS. Estos déficits correlacionaron con el volumen de regiones relacionadas con la cognición social (p. ej., corteza orbitofrontal medial, giro recto, giro temporal medial), conectividad espacial entre nodos pertenecientes a redes funcionales (fronto-amigdalina e hipocampal/parahipocampal) implicadas en dicho dominio, y con hipoconectividad (EEG-ad) fronto-temporal derecha. Por último, los pacientes con EA



presentaron déficits en los cuatro textos, con patrones de atrofia y conectividad espacial inespecíficos (en áreas t́mporo-hipocampales, parietales, frontales, occipitales y cerebelosas) e hiper-conectividad (EEG-ad) ocćpito-temporal derecha. En śntesis, nuestros resultados muestran que los pacientes con EP y vcDFT presentan déficits espećficos en la comprensi3n de textos de acci3n y sociales, respectivamente, asociados a disrupciones espećficas de mecanismos corporizados en cada caso. Ello sugiere que el procesamiento de dominios semánticos espećficos en historias naturalistas se asocia con la integridad de sistemas corporizados afines.

## **6.1. Introducci3n**

¿C3mo se modula la comprensi3n de textos ante la disrupci3n de los sistemas corporizados? Uno de los enfoques ḿs directos para responder esta pregunta radica en estudiar el procesamiento narrativo en pacientes con trastornos neurodegenerativos espećficos de distintos sistemas corporizados. Los pacientes con EP y vcDFT resultan estrat́gicos a tales fines, ya que presentan anomalías anátomo-funcionales en sistemas motores y de cognici3n social, respectivamente (Birba et al., 2017; Bora et al., 2015; Gallese & Cuccio, 2018; Garća & Ibáñez, 2018; Gregory et al., 2002; Healey et al., 2015; Ibáñez, 2018; Melloni et al., 2015). El presente estudio es el primero en evaluar ambas poblaciones en conjunto combinando cuatro narrativas (TA, TnA, TS, TnS), dos grupos control (personas sanas, pacientes con EA) y diversas dimensiones de análisis (desempeño conductual, correlatos neuroanatómicos y patrones relevantes de conectividad espacial y temporal).

Como se vio en el Capítulo I, los pacientes con EP son un excelente modelo para abordar la cuesti3n en el dominio semántico de la acci3n. Ḿs alĺ de sus t́picos śntomas motores y cognitivos (Helmich et al., 2012; Lewis et al., 2003), la EP implica déficits primarios, selectivos y tempranos en el procesamiento de est́mulos lingüísticos que denotan acciones. Estas dificultades se asocian con alteraciones de activaci3n regional (Péran et al., 2009), conectividad funcional (Abrevaya et al., 2017) y modulaciones electrofisiológicas (Melloni et al., 2015) a lo largo de regiones motoras. De hecho, cuanto mayor es la atrofia en los ganglios basales en esta poblaci3n, mayor es el reclutamiento de circuitos alternativos (no motores) para el procesamiento de tales verbos (Abrevaya et al., 2017).

Por otro lado, la vcDFT involucra diversos déficits en la cognici3n social (Piguet et al., 2011), incluyendo dificultades tempranas en tareas lingüísticas que evalúan

habilidades emocionales, empáticas y de mentalización (Hsieh et al., 2012; Ibáñez et al., 2018), detección del faux-pas (Bora et al., 2015; Gregory et al., 2002), y coordinación social (Healey et al., 2015; Mcmillan et al., 2012). Estos déficits se asocian con alteraciones en redes fronto-ínsulo-temporales (que se extienden a nodos amigdalinos e hipocampales) y con dinámicas oscilatorias frontotemporales (EEG-ad) aberrantes (Dottori et al., 2017; Ibáñez, 2018; Ibáñez et al., 2017; Ibáñez & Manes, 2012; Piguet et al., 2011; Seeley, 2009), que, a su vez, subyacen al procesamiento de otros estímulos sociales (Binney et al., 2016; Perdakis et al., 2017; Rice & Hoffman, 2018).

Sin embargo, como anticipamos, tanto la evidencia reseñada en EP como en vcDFT surge de materiales lingüísticos con poca validez ecológica y carece de marcadores neurocognitivos multidimensionales comparados entre diversos cuadros neurodegenerativos. Para superar esta brecha, complementamos nuestros TA y TnA con dos narrativas adicionales orientadas a captar alteraciones específicas en vcDFT: un TS (rico en eventos sociales) y, como control, un TnS (desprovisto de eventos sociales). Combinamos medidas conductuales, neuroanatómicas (morfometría basada en vóxeles [MBV]), y de conectividad funcional en reposo (CFr) (a través de RMNf y EEG-ad) para examinar características específicas de la comprensión de acciones en textos naturalistas en la EP y de contenidos sociales en la vcDFT. Como control, además de un grupo de voluntarios sanos, evaluamos pacientes con EA, que presentan trastornos generales de memoria (Litvan et al., 1991).

Planteamos tres hipótesis. Primero, predijimos que los pacientes con EP exhibirían déficits selectivos en la comprensión de acciones (en comparación con los controles), relacionados con alteraciones en atrofia y CFr espacial a lo largo de circuitos de acción (p. ej., regiones frontoestriadas, áreas extraestriatales, cerebelo), y alteraciones específicas en conectividad temporal (EEG-ad). Segundo, conjeturamos que los pacientes con vcDFT (en comparación con los controles) presentarían déficits en la comprensión de información social, asociados a disrupciones en redes de cognición social (p. ej., regiones prefrontales, amigdalinas y temporales), e hipo-conectividad frontotemporal (EEG-ad). Por último, anticipamos que ninguno de estos patrones específicos debería observarse en pacientes con EA, la cual entrañaría déficits transcategoriales asociados a alteraciones cerebrales difusas.

## 6.2. Métodos

### 6.2.1. Participantes

El estudio incluyó a 109 hispanohablantes nativos: 25 pacientes con EP, 20 con vcDFT, 23 con EA y 41 controles. Esta muestra alcanza una potencia estadística de 0,96 (Anexo 3.1). El reclutamiento se realizó en tres centros clínicos. Todos los participantes, a excepción de cinco, eran diestros (Oldfield, 1971). Todos poseían audición normal o corregida a normal. Los pacientes fueron diagnosticados por neurólogos expertos siguiendo los estándares del UKPD-SBB<sup>2</sup> (Hughes et al., 1992) para EP, criterios contemporáneos para vcDFT (Rascovsky et al., 2011) y los criterios NINCDS-ADRDA<sup>3</sup> (Mckhann et al., 1984; Mckhann et al., 2011) para EA. Los diagnósticos se definieron mediante evaluaciones neurológicas, neuropsiquiátricas y neuropsicológicas (Baez et al., 2014; Melloni et al., 2016; Piguet et al., 2011; Santamaria-García et al., 2017) (**Figura 6.1A**). Ningún paciente reportó historial de trastorno neurológico, condición psiquiátrica, déficits lingüísticos primarios o abuso de sustancias previo.

Los pacientes con EP no presentaban síntomas de Parkinson Plus y fueron evaluados durante la fase “on” de la medicación anti-parkinsoniana. Los pacientes con vcDFT se encontraban en estadios tempranos y exhibían déficits socio-comportamentales, corroborados por sus cuidadores (Ibáñez & Manes, 2012; Neary et al., 1998; Piguet et al., 2011), y atrofia fronto-temporal predominante (Anexo 3.2). Los pacientes con EA presentaron disfunciones ejecutivas, establecidas mediante la batería INECO Frontal Screening (IFS) (Torralva et al., 2009), y atrofia tèmpero-hipocampal predominante (Anexo 3.2). Todos los pacientes poseían deterioro cognitivo leve, en términos de la batería Montreal Cognitive Assessment (MoCA) (Nasreddine et al., 2005). Los controles no presentaban ningún deterioro cognitivo, tenían autonomía funcional y no poseían historial preexistente de enfermedad neuropsiquiátrica o abuso de sustancias.

Todos los grupos fueron pareados por edad y años de educación. Sin embargo, los pacientes con vcDFT y los controles difirieron en la proporción de hombres y mujeres. Por ende, aunque ningún otro par de grupos presentó diferencias, todos los análisis se covariaron por sexo. Los datos demográficos y neuropsicológicos se detallan en la **Tabla 6.1**.

---

<sup>2</sup> United Kingdom Parkinson's Disease Society Brain Bank

<sup>3</sup> National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Stroke and the Alzheimer's Disease and Related Disorders Association.

**Tabla 6.1.** Información demográfica y neuropsicológica.

	Control <i>N</i> = 41	EP <i>N</i> = 25	vcDFT <i>N</i> = 20	EA <i>N</i> = 23	Estadístico	Contrastes		
						Grupos	Estimador	Valor <i>p</i>
<b>Información demográfica</b>								
Sexo (F:M)	30:11	12:13	6:14	16:7	$\chi^2 = 12,64$ $p = 0,005^a$	CS-EP	3,23	0,07 <sup>b</sup>
						CS-vcDFT	8,65	0,003 <sup>b</sup>
						CS-EA	0,004	0,98 <sup>b</sup>
Edad	72,05 (5,84)	7,40 (7,00)	68,20 (9,41)	73,30 (4,94)	$F = 2,40$ $p = 0,07^a$	CS-EP	0,98	0,33 <sup>c</sup>
						CS-vcDFT	1,67	0,15 <sup>c</sup>
						CS-EA	-0,91	0,36 <sup>c</sup>
Educación	13,37 (3,56)	13,32 (4,54)	14,95 (5,18)	11,87 (4,38)	$F = 1,83$ $p = 0,14^a$	CS-EP	0,04	0,96 <sup>c</sup>
						CS-vcDFT	-1,23	0,22 <sup>c</sup>
						CS-EA	1,40	0,17 <sup>c</sup>
<b>Información neuropsicológica</b>								
MoCA	25,65 (3,3)	23,32 (5,19)	21,79 (5,38)	17,43 (4,19)	$F = 16,17$ $p < 0,001^a$	CS-EP	2,00	0,05 <sup>c</sup>
						CS-vcDFT	2,87	0,008 <sup>c</sup>
						CS-EA	7,77	< 0,001 <sup>c</sup>
IFS	21,26 (4,07)	2,16 (5,22)	18,89 (5,56)	14,50 (5,29)	$F = 9,68$ $p < 0,001^a$	CS-EP	0,89	0,81 <sup>c</sup>
						CS-vcDFT	1,61	0,12 <sup>c</sup>
						CS-EA	5,27	< 0,001 <sup>c</sup>

A excepción de sexo, los datos se presentan como la media (DE).

Control: grupo control, EP: Enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer; MoCA: Montreal Cognitive Assessment; IFS: INECO Frontal Screening.

<sup>a</sup> Valor *p* calculado mediante ANOVA de una vía.

<sup>b</sup> Valor *p* calculado mediante chi cuadrado.

<sup>c</sup> Valor *p* calculado mediante prueba t no pareada.

Todos los participantes brindaron consentimiento informado por escrito, conforme a la Declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de las instituciones involucradas.

### 6.2.2. Protocolo experimental

El protocolo comprendió evaluaciones neuropsicológicas y conductuales, complementadas con medidas de RMN, RMNf y EEG-ad (**Figura 6.1**).

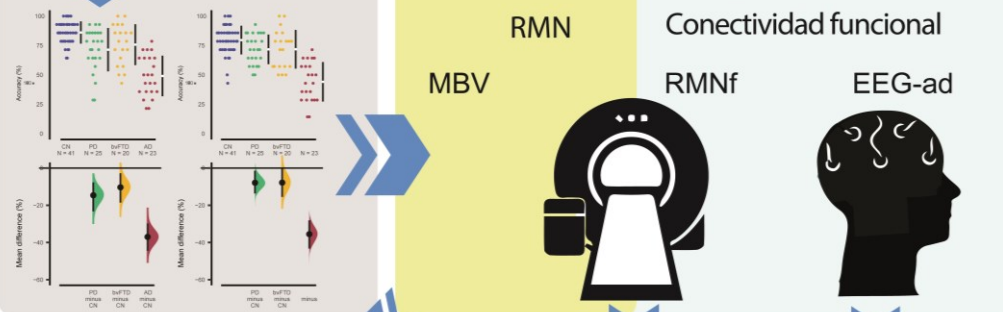
## A Reclutamiento de la muestra y evaluación neuropsicológica



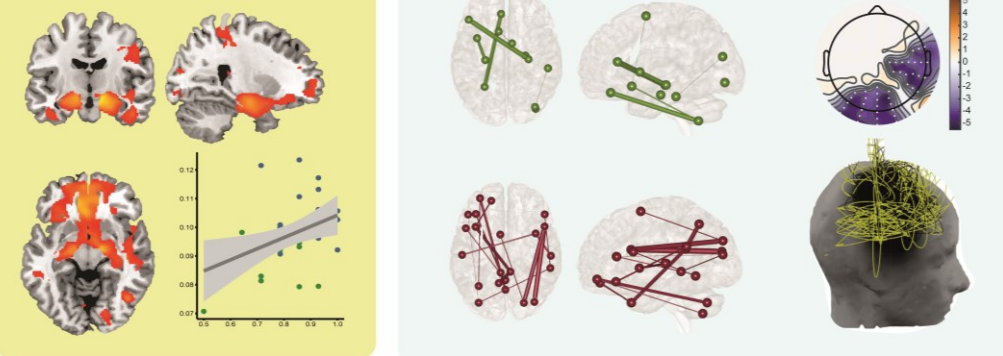
## B Evaluación discursiva de textos naturalistas



## C Datos de neuroimágenes



## D Análisis de datos



**Figura 6.1. Protocolo experimental y análisis de datos. A. recolección de muestra y evaluación neuropsicológica.** Los pacientes con la EP, vcDFT, EA y los controles sanos fueron incluidos en el

estudio en base a una evaluación neuropsicológica y clínica. **B. Evaluación conductual.** En la tarea de textos naturalistas, los participantes escucharon cuatro narrativas: un TA, un TnA, un TS y un TnS. Luego de cada uno, respondieron un cuestionario de 14 preguntas de opción múltiple, el cual abarcaba información relacionada a verbos y circunstancias. Los resultados fueron, primero, sometidos a un análisis intra-texto, para evaluar si alguna condición específica (verbos o circunstancias) en cada texto reflejaba déficits en cada grupo patológico contrastado con controles. Luego, realizamos un análisis inter-texto, incluyendo 'texto' como factor y evaluando todas sus posibles interacciones con 'grupo' y 'condición'. Luego de confirmar que la variable 'condición' no obtuvo ninguna interacción con 'grupo', promediamos ambas condiciones en cada texto y generamos cuatro puntajes (TA, TnA, TS, TnS). De esta forma, redujimos la dimensionalidad y aumentamos la varianza para las regresiones con datos de RMN, RMNf, y EEG-ad. **C. Adquisición de datos de neuroimágenes.** Los participantes se sometieron a una sesión de RMN y otra de RMNf en estado de reposo. Luego, obtuvimos la señal de EEG-ad en estado de reposo de una submuestra de cada grupo. **D. Análisis de datos.** Los puntajes de los textos fueron regresionados en un análisis de MBV y asociados con las métricas de conectividad funcional derivadas de sesiones de estado de reposo de RMNf y EEG-ad. CS: controles sanos; EP: pacientes con la enfermedad de Parkinson; vcDFT: pacientes con la variante conductual de la demencia fronto-temporal; EA: pacientes con enfermedad de Alzheimer; MoCA: Montreal Cognitive Assessment; IFS: INECO Frontal Screening; VA: verbos de acción; CA: circunstancias de acción; VN: verbos de no-acción; CN: circunstancias de no-acción; VS: verbos sociales; VnS: verbos no-sociales; RMN: resonancia magnética nuclear; MBV: morfometría basada en voxels; RMNf: resonancia magnética nuclear funcional; TA: texto de acción; TnA: texto de no acción; TS: texto social; TnS: texto no social; EEG-ad: electroencefalografía de alta densidad.

### **6.2.3. Tarea de textos naturalistas**

#### **6.2.3.1 Textos**

La tarea comprendió cuatro textos: un TA, un TnA un TS, y un TnS. Las variables lingüísticas fueron controladas entre las cuatro narrativas como se muestra en la **Tabla 6.2**. Los textos completos y sus cuestionarios se encuentran en el Anexo 3.3

**Tabla 6.2.** Características lingüísticas de los textos.

	TA	TnA	TS	TnS	Estadístico	valores- <i>p</i>	Contrastes <sup>#</sup>
Caracteres <sup>a</sup>	936	974	959	949	$\chi^2 = 0,81$	0,85	
Palabras	207	203	199	199	$\chi^2 = 0,21$	0,97	
Sustantivos	48	44	43	40	$\chi^2 = 0,74$	0,86	
<b>Verbos</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	$\chi^2 = 1$	0,00	
<b>Verbos de acción</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	$\chi^2 = 25,42$	< 0,001	TA-TnA: $\chi^2 = 21,16, p < 0,001$ TA-TS: $\chi^2 = 9,33, p = 0,002$ TnS-TnA: $\chi^2 = 12,25, p < 0,001$ TnA-TS: $\chi^2 = 4,5, p = 0,03$
<b>Verbos no de acción</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>17</b>	$\chi^2 = 14,75$	0,002	TA-TnA: $\chi^2 = 13,56, p < 0,001$ TA-TS: $\chi^2 = 8,75, p = 0,003$ TnS-TnA: $\chi^2 = 4,1, p = 0,04$ TS-TA: $\chi^2 = 12,48, p < 0,001$ TS-TnA: $\chi^2 = 1,8, p = 0,001$ TS-TnS: $\chi^2 = 24, p < 0,001$ TnS-TA: $\chi^2 = 5, p = 0,02$ TnS-TnA: $\chi^2 = 6, p = 0,01$
<b>Verbos sociales</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	$\chi^2 = 37,8$	< 0,001	TS-TA: $\chi^2 = 1,31, p = 0,001$ TS-TnA: $\chi^2 = 9,5, p = 0,002$ TS-nST: $\chi^2 = 14,4, p < 0,001$
<b>Verbos no sociales</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	$\chi^2 = 13,13$	0,004	
<b>Circunstancias</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	$\chi^2 = 1,29$	0,72	
<b>Circunstancias sociales</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	$\chi^2 = 25,67$	< 0,001	TS-TA: $\chi^2 = 6,36, p = 0,01$ TS-TnA: $\chi^2 = 9,9, p = 0,001$ TS-TnS: $\chi^2 = 15, p < 0,001$
<b>Circunstancias no sociales</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	$\chi^2 = 6,93$	0,07	TS-TnS: $\chi^2 = 6,72, p = 0,009$
Frecuencia <sup>b,x</sup>	1,64	1,79	1,73	1,82	$F = 1,23$	0,29	
Familiaridad <sup>b,x</sup>	6,17	6,28	6,33	6,23	$F = 0,85$	0,46	
Imaginabilidad <sup>c,x</sup>	5,17	4,96	4,85	5,00	$F = 0,82$	0,48	
Longitud silábica <sup>c,x</sup>	2,50	2,45	2,59	2,42	$F = 0,76$	0,52	
Longitud grafémica <sup>c,x</sup>	5,95	6,03	6,29	5,81	$F = 1,09$	0,35	
Oraciones	22	22	22	23	$\chi^2 = 0,03$	0,99	
Oraciones menores	3	3	3	4	$\chi^2 = 0,23$	0,97	
Oraciones simples	8	8	8	8	$\chi^2 = 1$	0,99	
Oraciones compuestas	3	4	4	5	$\chi^2 = 0,05$	0,91	
Oraciones complejas	8	7	7	6	$\chi^2 = 0,28$	0,96	
Gramaticalidad <sup>d</sup>	4,45	4,24	3,74	4,24	$F = 1,90$	0,12	
Coherencia <sup>d</sup>	4,00	4,00	3,74	4,00	$F = 0,65$	0,63	
Comprehensibilidad <sup>d</sup>	4,50	4,38	4,25	4,38	$F = 0,37$	0,83	
Legibilidad <sup>e</sup>	77,30	79,92	74,81	72,26			
Dificultad de lectura <sup>f</sup>	Bastante fácil	Bastante fácil	Bastante fácil	Bastante fácil			
Valencia emocional <sup>g</sup>					Efecto principal de texto:		Los contrastes con Tukey HSD no mostraron diferencias significativas entre textos en ninguna emoción ( $p > 0,05$ ).
Positivo	55,45	56,06	6,71	61,18	$F = 0,03, p = 0,99,$		
Negativo	5,61	11,97	1,62	0,31	Interacción de		
Neutral	39,09	31,97	36,04	39,29	Texto-por-emoción: $F = 2,98, p = 0,008.$		

TA: Texto de acción; TnA: texto de no acción; TS: texto social; TnS: texto no social.

<sup>a</sup> El conteo de los caracteres se realizó sin contar espacios.

<sup>b</sup> Los datos fueron extraídos de la base de datos LEXESP (Davis, 2005). Se tuvieron en cuenta todas las palabras de cada texto.

<sup>c</sup> Los datos fueron extraídos por medio de B-Pal (Davis & Perea, 2005). Se tuvieron en cuenta todas las palabras de cada texto.

<sup>d</sup> Los datos provienen de un panel de 13 hispanohablantes que puntuaron cada texto en una escala del 1 (muy baja) a 5 (muy alta).

<sup>e</sup> Índice de Szigriszt-Pazos (Szigriszt Pazos, 1993).

<sup>f</sup> Índice de Inflezs (Barrio-Cantalejo et al., 2008).

<sup>g</sup> Los datos se tomaron en base a un panel de 17 hispanohablantes nativos, que puntuaron cada oración de los textos en base a su contenido emocional (positivo, negativo o neutral).

<sup>x</sup> Calculado en base al promedio de las palabras con contenido.

### 6.2.3.2. Procedimiento

Antes de la tarea, presentamos una narrativa distinta para familiarizar a los participantes con el protocolo. Cada texto se presentó mediante auriculares estéreo. Se indicó a los sujetos que cerraran los ojos y prestaran atención para luego responder el cuestionario correspondiente. Luego de cada narración, el examinador leyó las preguntas y sus opciones en voz alta. Cuando fue necesario las preguntas se leyeron una segunda vez; si se solicitaba una tercera repetición, el ítem en cuestión recibía puntaje cero. Los participantes respondieron de forma oral. Los textos fueron contrabalanceados entre participantes. La tarea duró aproximadamente 25 minutos (**Figura 6.1B**, superior).

### 6.2.3.3. Análisis conductual

Los resultados conductuales se analizaron bajo dos enfoques (**Figura 6.1B**, medio). Primero, en línea con investigaciones previas en EP, utilizando narrativas (García et al., 2018) y palabras aisladas (Bocanegra et al., 2017), realizamos análisis intra-texto. Esto nos permitió evitar factores de confusión entre textos (a pesar de nuestro estricto protocolo de pareo) al inspeccionar condiciones específicas (verbos y circunstancias) en cada narrativa. Específicamente, para cada texto separado, empleamos un ANOVA 4x2 de efectos mixtos, con un factor inter-sujeto ('grupo': controles, EP, vcDFT, EA) y un factor intra-sujeto ('condición': verbos, circunstancias). Luego, para mayor exigencia, implementamos un análisis inter-texto mediante un ANOVA 4x4x2 de efectos mixtos, incluyendo el mismo factor inter-grupo ('grupo': controles, EP, vcDFT, EA) y dos factores intra-sujeto: 'texto' (TA, TnA, TS, TnS) y 'condición' (verbos, circunstancias). Dado que ninguna interacción grupo-condición resultó significativa, promediamos las dos condiciones por texto y generamos cuatro puntajes agregados (**Figura 6.1B**, parte inferior), reduciendo de esta forma la dimensionalidad y al mismo tiempo aumentando la varianza para las asociaciones con medidas neurofuncionales. Todos los análisis fueron covariados por 'sexo'. Los resultados significativos fueron inspeccionados con contrastes de Tukey HSD. Para controlar por posibles diferencias en las habilidades mnésicas de los participantes, se replicaron los análisis covariando por el índice de memoria de trabajo del IFS (calculado como la suma de los puntajes en las tareas de dígitos hacia atrás, memoria de trabajo verbal y espacial). Los niveles alfa fueron definidos con un  $p < 0,05$ . Los tamaños de efecto se calcularon mediante un eta parcial cuadrado ( $\eta^2$ ) para los resultados del ANOVA (con un punto de corte de 0,02 para efectos chicos, 0,13 para efectos medios, y 0,26 para efectos grandes), y la  $d$  de Cohen para las comparaciones de



a pares (con un punto de corte de 0,2 para efectos chicos, 0,5 para efectos medios, y 0,8 para efectos grandes). Todos los análisis conductuales se ejecutaron en *R* (versión 3.5.2).

## **6.2.4. Métodos de RMN/RMNf**

### **6.2.4.1. Adquisición de datos y preprocesamiento**

Los pasos de adquisición y preprocesamiento de RMN/RMNf se reportan según las recomendaciones de la OHBM<sup>4</sup> (Nichols et al., 2017; Poldrack et al., 2017). Se adquirieron secuencias tridimensionales de diez minutos en estado de reposo de RMN (**Figura 6.1C**, izquierda). Los participantes debían mantenerse lo más quietos posible, despiertos, con los ojos cerrados y sin pensar en nada en particular (García-Cordero et al., 2016; Zou et al., 2015). Debido a artefactos, se excluyeron 20 imágenes volumétricas tridimensionales (de ocho controles y cuatro pacientes por grupo patológico) y 24 imágenes funcionales (de ocho controles, cinco pacientes con EP, seis con vcDFT, y cinco EA). Las muestras resultantes no presentaron diferencias significativas en las variables demográficas (Anexo 3.4). Los parámetros específicos y detalles del preprocesamiento de RMN se detallan en el Anexo 3.5.

### **6.2.4.2. Análisis de MBV**

Se calculó la atrofia en todo el cerebro para cada grupo de pacientes, comparando sus mapas pesados con los de los controles, a través de una prueba de comparación de dos muestras (en SPM12). Los análisis se covariaron por sexo y por volumen intracraneal total (VIT) para descartar artefactos relacionados al tamaño de la cabeza (el valor de significancia establecidos fue de  $p < 0,001$ , sin corregir, umbral de extensión = 50) (García-Cordero et al., 2016; Santamaria-García et al., 2017; Sedeño et al., 2016). Luego, examinamos asociaciones entre el volumen de la materia gris (MG) del cerebro completo y los puntajes de los cuatro textos (TA, TnA, TS, TnS) utilizando el módulo de regresión múltiple de SPM12. Dado el tamaño de muestra de los pacientes (< 30), y para incrementar la varianza conductual y el poder estadístico (García-Cordero et al., 2016; O'callaghan et al., 2016; Sollberger et al., 2009), cada grupo patológico fue analizado junto con los controles. Todas las regresiones incluyeron sexo y VIT como covariables. Siguiendo trabajos previos (García-Cordero et al., 2016; Irish et al., 2014; Yoris et al.,

---

<sup>4</sup> Organization for Human Brain Mapping

2018), el valor de significancia establecido fue de  $p < 0,001$  (sin corrección, umbral de extensión = 50 vóxeles) (**Figura 6.1D**, izquierda).

### **6.2.4.3. Análisis de CFr en FMRI**

Se examinaron asociaciones positivas entre cada puntaje de cada texto y patrones de CFr (**Figura 6.1C**, medio). Para detalles del preprocesamiento y la construcción de la matriz, ver Anexo 3.5.3.

Utilizamos correlaciones de Pearson (García-Cordero et al., 2016) para establecer la CFr entre cada par de áreas de la matriz. Luego examinamos la correlación de Spearman entre los patrones de conectividad y el puntaje agregado de cada texto. Nuevamente, para incrementar el poder estadístico, cada grupo de pacientes fue analizado junto con los controles (García-Cordero et al., 2016; O'callaghan et al., 2016; Sollberger et al., 2009). Ya que realizamos análisis de CFr en el cerebro completo sin seleccionar pares de regiones a-priori (reduciendo de tal manera los falsos positivos), se empleó un umbral de  $p < 0,001$  (sin corregir), al igual que con MBV (Chen et al., 2017). Los resultados fueron visualizados vía BrainNet Viewer (<http://www.nitrc.org/projects/bnv/>) (**Figura 6.1D**, medio).

### **6.2.5. Métodos de EEG-ad**

#### **6.2.5.1. Adquisición de datos y preprocesamiento**

Sesenta y tres participantes (21 controles, 12 pacientes con EP, 15 con vcDFT, 15 con EA) completaron un protocolo de CFr EEG-ad con una duración de 10 minutos (**Figura 6.1C**, derecha). Estas submuestras no presentaron diferencias sociodemográficas significativas (Anexo 3.6). Al igual que en las sesiones de RMNf y reportes previos de EEG-ad (Dottori et al., 2017), los participantes debían mantenerse lo más quietos posible, despiertos, con los ojos cerrados y sin pensar en nada en particular. La adquisición y el preprocesamiento de estos datos fue el mismo que el realizado en el estudio 2, ver Capítulo V, sección 5.2.4. La descripción demográfica de esta submuestra se presenta en el Anexo 3.6.

#### **6.2.5.2. Análisis de CFr EEG-ad**

Los análisis de CFr EEG-ad se realizaron a través de la métrica wSMI, al igual que en el Capítulo V. En este caso, restringimos el análisis al rango de 4-11 Hz, que resulta sensible al procesamiento motor (Pfurtscheller & Neuper, 1997), la semántica de la acción

(Vukovic & Shtyrov, 2014), la cognición social (Urgen et al., 2013; Yin et al., 2017) y la semántica social (Jaušovec et al., 2001).

Para identificar patrones de wSMI específicos de cada patología, realizamos permutaciones no-paramétricas basadas en clústeres (1000 iteraciones) para muestras independientes (Maris & Oostenveld, 2007), comparando el grupo control con cada grupo de pacientes (**Figura 6.1D**, superior derecha). Cada par de electrodos se consideró parte del mismo clúster bajo un umbral de  $p < 0,05$ , y los clústeres fueron considerados significativos si abarcaban al menos diez electrodos con un  $p < 0,05$  (Dottori et al., 2020). Los clústeres significativos de cada comparación fueron utilizados para enmascarar las matrices crudas de cada sujeto. Para cada comparación, a las matrices promedio de los pacientes se le restó la de los controles y se graficó en un ploteo topográfico. Los valores positivos y negativos de los clústeres representan mayor y menor CFr, respectivamente. Las conexiones significativas fueron graficadas en un modelo 3D de una cabeza (**Figura 6.1D**, inferior derecha). Los análisis fueron realizados con MATLAB.

Luego, evaluamos correlaciones de Pearson entre la conectividad media de los clústeres significativos y los puntajes de los participantes en cada texto. Como en el resto de los análisis de este estudio y como se reportó previamente (García-Cordero et al., 2016; O'callaghan et al., 2016; Sollberger et al., 2009), cada grupo de pacientes fue combinado con el grupo control para incrementar la varianza y poder estadístico. Asimismo, para evaluar la especificidad de los resultados, implementamos correlaciones de tipo control inter-grupo (p. ej., el clúster controles-vs.-EP fue utilizado para enmascarar las matrices de las otras muestras, y las medias consiguientes fueron correlacionadas con los puntajes de los textos). Dado que realizamos 12 correlaciones para evaluar los efectos específicos de cada grupo y 16 correlaciones control, se realizó una corrección por múltiples comparaciones, utilizando la tasa de descubrimiento falso (FDR, del inglés *false discovery rate*).

### **6.3. Resultados**

#### **6.3.1. Resultados conductuales**

##### **6.3.1.1. Análisis intra-texto**

El TA reveló una interacción entre grupo y condición [ $F_{(3,105)} = 3,1$ ,  $p = 0,03$ ,  $\eta^2 = 0,08$ ] (**Figura 6.2A**, primer recuadro). Las comparaciones post-hoc (Tukey's HSD:  $MSE = 0,03$ ,  $gl = 172,16$ ) demostraron que el grupo de pacientes con EP, en comparación con los controles, exhibieron déficits relacionados a verbos de acción ( $p < 0,001$ ,  $d = 5,94$ ) y no

en circunstancias ( $p = 0,76$ ,  $d = 2,33$ ). Además, su propio desempeño en verbos de acción fue significativamente menor que el de las circunstancias ( $p = 0,05$ ,  $d = 3,40$ ). No se observaron diferencias para el contraste vcDFT vs controles o pacientes con EP (valores  $p > 0,08$ ). Los pacientes con EA fueron superados en ambas condiciones por todos los grupos (valores  $p < 0,001$ ). Los resultados post-hoc completos se presentan en el Anexo 3.7.

El TnA presentó efectos significativos de condición [ $F_{(3,105)} = 19,1$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,14$ ] y grupo [ $F_{(3,104)} = 31,5$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,48$ ], sin interacción entre ellos [ $F_{(3,105)} = 2,04$ ,  $p = 0,09$ ,  $\eta^2 = 0,05$ ] (**Figura 6.2A**, segundo recuadro). Las comparaciones post-hoc (Tukey HSD:  $MSE = 0,04$ ,  $gl = 104$ ) revelaron diferencias no significativas entre EP, vcDFT y controles (valores  $p > 0,15$ ). Los pacientes con EA tuvieron puntajes más bajos del resto de los grupos (valores  $p < 0,001$ ). Los resultados post-hoc completos se presentan en el Anexo 3.7.

Los resultados del TS revelaron efectos significativos de condición [ $F_{(3,105)} = 16,69$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,14$ ] y grupo [ $F_{(3,104)} = 26,50$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,43$ ], sin interacción entre ambos factores [ $F_{(3,105)} = 0,25$ ,  $p = 0,86$ ,  $\eta^2 = 0,007$ ] (**Figura 6.2A**, tercer recuadro). Las comparaciones post-hoc (Tukey HSD:  $MSE = 0,05$ ,  $gl = 104$ ) demostraron que los controles tuvieron un mayor puntaje que los pacientes con vcDFT ( $p = 0,01$ ,  $d = 4,11$ ) pero no a los pacientes con EP ( $p = 0,25$ ,  $d = 2,74$ ). Los pacientes con EA fueron superados por los otros tres grupos (valores  $p < 0,05$ ). Los resultados post-hoc completos se presentan en el Anexo 3.7.

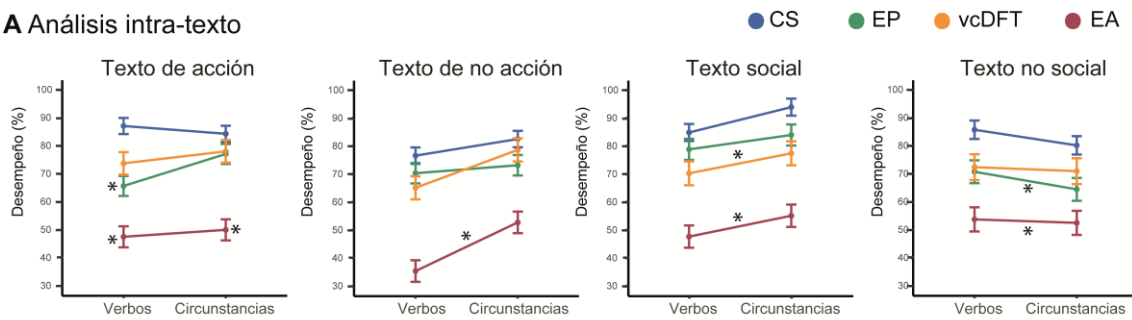
En el TnS se observó un efecto de grupo significativo [ $F_{(3,104)} = 15,43$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,31$ ] y un efecto de condición nulo [ $F_{(3,105)} = 2,6$ ,  $p = 0,11$ ,  $\eta^2 = 0,02$ ], sin interacción entre ambos [ $F_{(3,105)} = 0,36$ ,  $p = 0,78$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ] (**Figura 6.2A**, cuarto recuadro). Las comparaciones post-hoc (Tukey HSD:  $MSE = 0,06$ ,  $gl = 104$ ) revelaron diferencias no significativas para pacientes con vcDFT ( $p = 0,10$ ,  $d = 4,00$ ) y déficits para pacientes con EP ( $p < 0,005$ ,  $d = 5,33$ ) en contraste con los controles. Los pacientes con EA fueron superados por el resto de los grupos (valores  $p < 0,05$ ). Los resultados post-hoc completos se presentan en el Anexo 3.7. Asimismo, todos los resultados se mantuvieron significativos luego de la covarianza por el índice de memoria de trabajo. Ver Anexo 3.8.

### 6.3.1.2. Análisis inter-texto

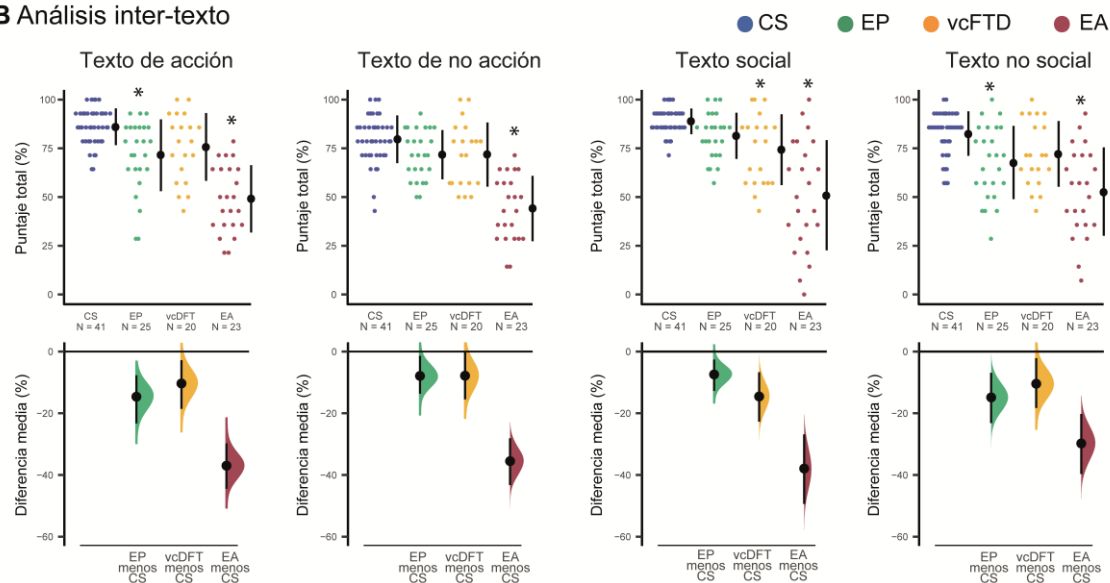
El análisis inter-texto (**Figura 6.2B**) evidenció una interacción significativa entre grupo y texto [ $F_{(9,735)} = 2,36, p = 0,01, \eta^2 = 0,06$ ]. La interacción entre grupo y condición y la triple interacción entre grupo, texto y condición fueron no significativas (valores  $p > 0,18$ ). Las comparaciones post-hoc (Tukey HSD:  $MSE = 0,02, gl = 223,4$ ) demostraron que, en comparación a controles, los pacientes con EP presentaron déficits selectivos en el TA ( $p < 0,005, d = 4,31$ ) y en el TnS ( $p < 0,005, d = 5,88$ ), mientras que los pacientes con vcDFT presentaron déficits selectivos en el TS ( $p = 0,005, d = 5,88$ ). Los pacientes con EA fueron superados por los otros tres grupos en todos los textos (valores  $p < 0,05$ ). Los resultados completos se presentan en el Anexo 3.9. Asimismo, todos los resultados se mantuvieron significativos luego de la covarianza por el índice de memoria de trabajo. Ver Anexo 3.10.

En resumen, en relación con los controles, los pacientes con EP presentaron dificultades en el TA y en el TnS (textos con alta motilidad), mientras que los pacientes con vcDFT demostraron déficits selectivos en el TS. Por último, los pacientes con EA presentaron déficits en los cuatro textos.

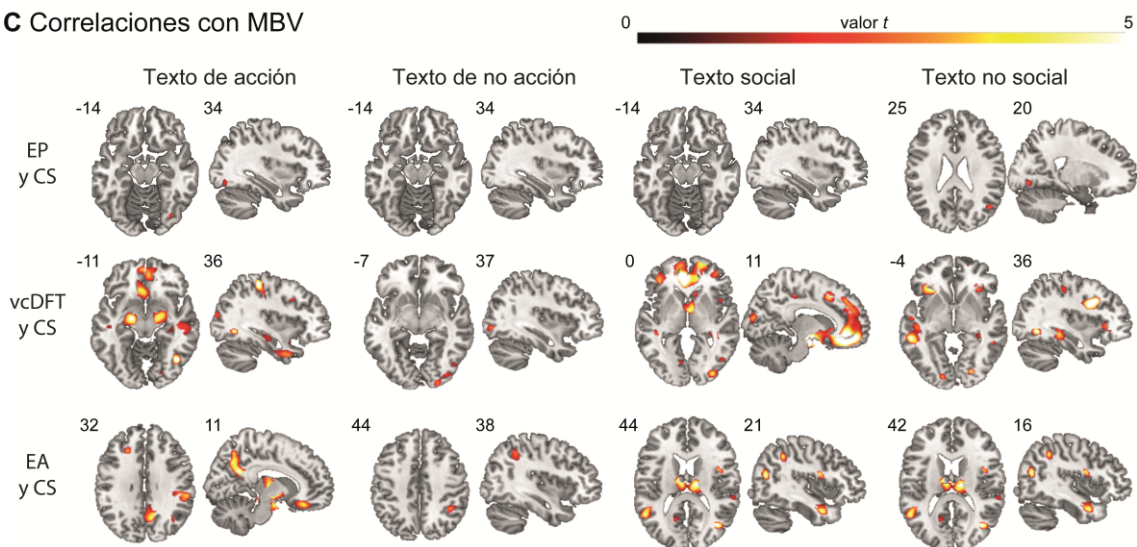
### A Análisis intra-texto



### B Análisis inter-texto



### C Correlaciones con MBV



**Figura 6.2. Resultados conductuales y asociaciones con resultados de MBV. A. Análisis intra-texto.**

Los resultados del TA demostraron que, en comparación con controles, los pacientes con EP presentaron déficits en verbos, pero no en circunstancias; dicho déficit no fue observado en los pacientes con vcDFT. Los resultados del TnA reflejaron un desempeño similar entre los controles y pacientes con EP y con vcDFT. En comparación con los controles, los puntajes de los TS revelaron un déficit en ambas condiciones para los pacientes con vcDFT; este déficit no se encontró en pacientes con EP. Los resultados del TnS demostraron déficits significativos en el grupo con EP respecto del

grupo control; dicho déficit no se observó en pacientes con vcDFT. Los pacientes con EA presentaron déficits en las dos condiciones de cada texto comparado con los otros tres grupos. Los asteriscos laterales denotan déficits de específicos de la condición en relación a los controles. Los asteriscos en la línea media indican diferencias significativas para un texto completo en comparación con los controles. **B. Análisis inter-texto.** Los puntajes totales confirmaron el patrón observado en los análisis intra-texto. En relación con los controles, los pacientes con EP presentaron déficits en el TA y TnS, mientras que los pacientes con vcDFT demostraron un déficit selectivo en el TS. Los pacientes con EA reflejaron déficits en los cuatro textos. Los asteriscos indican diferencias significativas con respecto a los controles. **C. Asociaciones con MBV.** Cada grupo paciente fue analizado en tándem con el grupo control para poder identificar regiones asociadas al puntaje total de cada texto ( $p < 0,001$  sin corregir, límite extendido = 50 vóxeles). Para los pacientes con EP se observaron asociaciones significativas entre el TA y el TnS con áreas relacionadas con la observación e imaginación de movimientos corporales. Para pacientes con vcDFT, el TS se vio asociado principalmente con regiones implicadas en cognición social, mientras que el TnS se asoció con el volumen de áreas relacionadas con la semántica de la acción y semántica general –los otros dos textos presentaron un menor número de asociaciones e inespecíficas. Para los pacientes con la EA, los cuatro textos se vieron asociados con regiones temporo-hipocampales, siendo la atrofia de estas regiones responsable de los déficits de memoria característicos de esta patología. CS: controles sanos; EP: pacientes con enfermedad de Parkinson; vcDFT: pacientes con la variante conductual de la demencia fronto-temporal; EA: pacientes con enfermedad de Alzheimer; MBV: morfometría basada en vóxeles.

### **6.3.2. Resultados de RMN/RMNf**

#### **6.3.2.1. Asociación entre MBV y desempeño conductual**

En el tándem EP-contróles (**Figura 6.2C**, fila superior), los puntajes del TA se asociaron con el volumen de regiones del área corporal extraestriada (ACE) (p. ej., giro fusiforme [GF]). Lo mismo se observó con los puntajes del TnS. Estas áreas son críticas en la percepción e imaginación del movimiento corporal (giro temporal superior izquierdo [GTS], giro parietal inferior [GPI], corteza occipital media [CO], giro lingual derecho [GL], giro parietal inferior [GPI], giro angular [GA]). No se encontraron asociaciones significativas para los puntajes del TnA ni del TS. Para más detalles, ver Anexo 3.11.1.

En el tándem vcDFT-contróles (**Figura 6.2C**, fila del medio), los puntajes de los TS se asociaron con el volumen de regiones frontales (corteza orbitofrontal media [COF], giro frontal superior medio [GFS], giro precentral [GpreC], giro recto derecho [GR], corteza cingulada anterior bilateral [CCA]), temporo parietales (precúneo izquierdo, giro temporal medio [GTM], giro temporal inferior derecho [GTI], cúneo, GR, GL bilateral,

giro postcentral [GpostC]) y occipitales (corteza calcarina izquierda, corteza occipital medial derecha). Por otro lado, el TnS se asoció con el volumen de áreas frontoestriadas (caudado derecho, GR, CpreG, GFS superior derecho, ínsula bilateral, GFI, giro frontal medial [GFM], opérculo frontal inferior), temporo-parietales (GPI izquierdo, GTI derecho, cúneo, precúneo bilateral, GL, GpostC, CTM), occipitales (CO medial e inferior derecha), paracentrales e hipocampales derechas. Un patrón similar surgió para los puntajes del TA, asociados a regiones frontales (COF izquierda, CFM, amígdala, GpreC, GFM, GR, GL), temporo-parietales (p. ej., GpostC derecho, GTI bilateral, precúneo) y occipitales (p. ej., CO medial derecha). Finalmente, los puntajes del TnA se correlacionaron con el GTI derecho y CO inferior. Para más detalles, ver Anexo 3.11.2.

En el tándem EA-contróles (**Figura 6.2C**, fila inferior), se observaron asociaciones significativas entre los puntajes del TA y el volumen de regiones temporo-hipocampales (GTM izquierdo, parahipocampo derecho, GTI bilateral), parietales (GPI izquierdo, cúneo, precúneo derecho), frontales (GFS izquierdo, ínsula derecha) y occipitales (CO media e inferior derecha), como también la parte derecha del cerebelo. El TnA presentó asociaciones significativas con el hipocampo izquierdo, como así también con el parahipocampo derecho, GTM, amígdala y el GPI. Los puntajes del TS se asociaron con el volumen de regiones temporo-hipocampales (hipocampo izquierdo, cíngulo), parietales (giro supramarginal derecho, precúneo, GPI bilateral) y frontales (GFI izquierdo, CFM, COF, ínsula, GFS derecho), y con la parte izquierda del cerebelo. Finalmente, el TnS se asoció con el volumen de regiones temporo-hipocampales (GRM izquierdo, GTS, parahipocampo derecho), parietales (GPS izquierdo, cúneo, GA, precúneo bilateral, GPI) y frontales (CFM superior izquierda, COF superior derecha, ínsula bilateral), como también con la CO derecha. Para más detalles, ver Anexo 3.11.3.

#### **6.3.2.2. Asociaciones entre desempeño y la CFr espacial (derivada de RMNf)**

En el tándem EP-contróles (**Figura 6.3A**, fila superior), los puntajes del TA correlacionaron con la CFr en regiones frontoestriales (corteza piriforme izquierda [CP], GR, ínsula, GFI, área motora suplementaria derecha [AMS]), temporo-hipocampales (GTI derecho, parahipocampo, hipocampo bilateral) y occipitales (CO inferior y medial derecha), como así también con el cerebelo. No se observaron asociaciones significativas para el TnA. Los puntajes del TS correlacionaron con la CFr entre el hipocampo derecho y áreas posteriores (GF derecho, GTS, CO inferior), y entre la CP y la parte derecha del cerebelo. Finalmente, los puntajes del TnS correlacionaron



con la CFr entre el hipocampo y el GTS izquierdo y CO inferior derecha, como así también entre el cúneo izquierdo y el vermis. Para más detalles, ver Anexo 3.12.1.

En el tándem vcDFT-controles (**Figura 6.3A**, fila media), los puntajes del TS se asociaron con la CFr entre regiones frontales (OFI izquierdo, GFM; amígdala derecha) y nodos hipocampales/parahipocampales derechos. Los puntajes del TA correlacionaron con la CFr entre regiones fronto-estriadas (CP izquierda; OFI derecho) y posteriores (hipocampo derecho, parahipocampo, cerebelo). No se encontraron asociaciones significativas para los puntajes del TnS y del TnA. Para más detalles, ver Anexo 3.12.2.

En el tándem EA-controles (**Figura 6.3A**, fila inferior), los puntajes del TA se asociaron con la CFr a lo largo de múltiples nodos (OFI, cíngulo posterior, precúneo, CFO) de la red neuronal por defecto (RND), como así también con el AMS y la CO. Los resultados del TnA se asociaron con la CFr a través de nodos de la COF, cerebelosos y occipitales. A su vez, los puntajes del TS se asociaron con la CFr entre la ínsula derecha y el GTS bilateral, y entre el GA derecho y el precúneo. Finalmente, los resultados del TnS correlacionaron con la CFr a lo largo de centros de la RND (COF medial derecha; cíngulo bilateral), entre otros. Para más detalles, ver Anexo 3.12.3.

### 6.3.3. Resultados de EEG-ad

#### 6.3.3.1. Clústeres de wSMI específicos de cada enfermedad

En relación con los controles, los pacientes con EP presentaron hipo-conectividad frontal bilateral ( $p = 0,04$ , corregido por clúster) (**Figura 6.3B1**, izquierda), mientras que los pacientes con vcDFT exhibieron hipo-conectividad fronto-temporal ( $p = 0,04$ , corregido por clúster) (**Fig. 3B1**, medio) y los pacientes con EA una hiper-conectividad occípito-temporal derecha ( $p = 0,04$ , corregido por clúster) (**Figura 6.3B1**, derecha).

#### 6.3.3.2. Asociaciones entre CFr (EEG-ad) y desempeño

En el tándem EP-control (**Figura 6.3B2**, izquierda), la conectividad media del clúster frontal correlacionó positivamente con los puntajes del TA ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,04$ , corregido por FDR) y del TS ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,04$ , corregido por FDR). En el tándem vcDFT-controles (**Figura 6.3B2**, medio), la conectividad media del clúster fronto-temporal derecho correlacionó con los resultados del TS ( $r = 0,45$ ,  $p = 0,02$ , corregidos por FDR). Para el tándem EA-controles (**Figura 6.3B2**, derecho), el clúster occípito-temporal derecho correlacionó negativamente con los puntajes del TA ( $r = -0,56$ ,  $p < 0,001$ , corregido por FDR), de los TnA ( $r = -0,44$ ,  $p = 0,01$ , corregido por FDR), y del TS ( $r = -$



para pacientes con vcDFT (recuadro del medio), así como hiper-conectividad t mporo-occipital para los pacientes con EA (recuadro derecho). El mapa de color indica rangos que van de naranja (indicando una menor conectividad para el grupo paciente) a violeta (indicando una menor conectividad para el grupo control). El modelo de cabeza 3D representa las asociaciones entre clústeres, con el tamaño del arco indicando la fuerza de la conexión. **B2. Asociaciones entre clústeres de CFr en EEG-ad significativos y resultados conductuales.** Correlaciones de Pearson entre la conectividad media de cada clúster significativo y los puntajes totales de cada texto. Las correlaciones significativas se encuentran resaltadas. Todos los *valores p* fueron corregidos con FDR. CS: controles sanos; EP: pacientes con enfermedad de Parkinson; vcDFT: pacientes con la variante conductual de la demencia fronto-temporal; EA: pacientes con enfermedad de Alzheimer; CFr: conectividad funcional en estado de reposo; wSMI: weighted symbolic mutual information.

#### 6.4. Discusión

El presente estudio evaluó los correlatos multinivel del procesamiento textual en personas con alteraciones en sistemas corporizados vinculados con los movimientos corporales (EP) y la cognición social (vcDFT). Los pacientes con la EP exhibieron déficits selectivos en discursos de acción, vinculados a la atrofia en circuitos de percepción/imaginación de movimiento, conectividad espacial a través de redes motoras y semánticas (nodos frontoestriado-cerebelar y t mporo-hipocampal), e hipo-conectividad frontal medida con EEG-ad. Por el contrario, los pacientes con vcDFT demostraron déficits selectivos en el TS, correlacionados con el volumen de regiones frontotemporales, conectividad espacial de redes de cognición social (nodos fronto-amigdalinos e hipocampales/parahipocampales), e hipo-conectividad fronto-temporal medida con EEG-ad. Finalmente, los pacientes con EA presentaron déficits en todos los textos, con resultados relacionados a patrones distribuidos de atrofia y de conectividad espacial, como así también hiper-conectividad occ pito-temporal medida con EEG-ad. A continuación, se discuten los resultados.

##### 6.4.1. Déficits selectivos para contenidos de acción en pacientes con EP

Los pacientes con EP demostraron déficits específicos en la comprensión de acciones, evidenciados por el peor desempeño en el TA. Dichos déficits no se encontraron en el TS ni en el TnA. Estos resultados replican evidencias previas de dificultades en el lenguaje de acción en pacientes con EP, con preservación de múltiples categorías semánticas (Bocanegra et al., 2015; Fernandino et al., 2013), incluso a nivel discursivo (García et al., 2018; García et al., 2016b). Ello corrobora que este dominio recluta mecanismos motores

(García et al., 2019; Pulvermüller, 2013b, 2018). La especificidad de este nexo en pacientes con EP se vio reforzada por sus déficits en el TnS (los cuales también describían acciones motoras de un individuo), a la par de resultados normales para el TA y el TnS en pacientes con vcDFT. En consecuencia, este dominio podría discriminar entre trastornos no-motores y EP, como se reportara en trabajos recientes sobre cognición corporizada (Birba et al., 2017).

Los resultados de MBV refuerzan la naturaleza corporizada de dichas dificultades selectivas. Estas se vieron asociadas con el volumen de nodos centrales del ACE (GF, GL, GTS), región implicada en la observación e imaginación de partes del cuerpo como también su movimiento (Astafiev et al., 2004). En efecto, el daño a estas regiones en EP (Potgieser et al., 2014) acarrea déficits a nivel de percepción del movimiento (Mestre et al., 1990; Weil et al., 2016). Además, la asociación con tales áreas posteriores apoya la noción de que, en contraste a los sujetos sanos (Pulvermüller, 2018), los pacientes con EP recurren a áreas alternativas (no-motoras) (Birba et al., 2017) y de imaginación motora (Helmich et al., 2007) para el procesamiento del lenguaje de acción.

Sin embargo, estos déficits no dependen únicamente de la disrupción de redes motoras, sino también de las conexiones de éstas con otras regiones. Para el TA, los nodos frontoestriados que pertenecen a [p. ej., AMS (Morris et al., 2016)] o se proyectan hacia [p. ej., cerebelo (Wu & Hallett, 2013), GR, CP (Diodato et al., 2016)] regiones sensoriomotoras que procesan el lenguaje de acción (García et al., 2016a, 2017b; Pulvermüller, 2013a, 2018), se conectaron distintivamente con nodos témporo-(para)hipocampales implicados en habilidades de semántica general (Binder et al., 2009; Ullman, 2001a) e imaginación motora (Vingerhoets et al., 2002) –algunas de las cuales cumplen un rol secundario durante el procesamiento de lenguaje de acción (Hauk et al., 2004). Asimismo, la reducción de imaginación motora en pacientes con EP ha sido asociada con patrones de conectividad entre regiones motoras extraestriales y temporales (Helmich et al., 2007). En conjunto, estos resultados corroboran que los sistemas corporizados y multimodales interactúan durante el procesamiento del lenguaje de acción en esta población. A su vez, sustentan la idea de que la comprensión de acciones en textos naturalistas depende de la integridad de los circuitos motores.

Adicionalmente, los resultados del TA, en contraposición a los del TnA, correlacionaron significativamente con un patrón de hipo-conectividad frontal (EEG-ad) en la EP. La topografía de este clúster (y, parcialmente, su rango de frecuencias) se ha vinculado al procesamiento de acciones. Por ejemplo, se observaron desincronizaciones

oscilatorias al agarrar objetos (Ewen et al., 2016); modulaciones oscilatorias durante tareas de imaginación motora (Edelman et al., 2015; Neuper et al., 2005a; Pfurtscheller et al., 2006); y desincronizaciones en las bandas alfa alto y beta bajo (11-15 Hz) (Vukovic & Shtyrov, 2014). Asimismo, los pacientes con EP presentan alteraciones electrofisiológicas durante la integración de significados de acción y movimientos corporales (Melloni et al., 2015). Además, este patrón fue distintivo en los pacientes con EP, dado que los efectos del TA no se vieron asociados con los clústeres significativos de EEG-ad en pacientes con vcDFT. Por lo tanto, estos resultados sugieren que las alteraciones del sistema motor conllevan déficits específicos en la comprensión del lenguaje de acción, aun a nivel discursivo.

#### **6.4.2. Déficit selectivos para contenidos sociales en pacientes con vcDFT**

A diferencia de los pacientes con EP, los pacientes con vcDFT se caracterizaron por dificultades selectivas en la comprensión del discurso social (TS). Posiblemente, estas dificultades se deban a los déficits socio-cognitivos típicos de esta enfermedad (Piguet et al., 2011). Estos pacientes presentan fallas en la inferencia de pensamientos ajenos y en la interpretación de claves sociales (Hsieh et al., 2012; Ibáñez, 2018). De hecho, la vcDFT se caracteriza por una mala detección de *faux-pas* (Bora et al., 2015; Gregory et al., 2002) y una pobre coordinación social (Healey et al., 2015; Mcmillan et al., 2012) en tareas con estímulos textuales, sugiriendo que sus habilidades sociales a nivel discursivo se encuentran enraizadas en mecanismos socio-cognitivos más generales.

De hecho, mientras el desempeño conservado de los pacientes con vcDFT en el TnS se asoció con el volumen de áreas funcionalmente inespecíficas, los déficits en el TS correlacionaron principalmente con regiones centrales de redes-sociales (COF medial, CCA, GR, GTM). Estas áreas estarían afectadas en pacientes con vcDFT (Mychack et al., 2001; Piguet et al., 2011; Seeley, 2009), lo que entraña comportamientos sociales no deseados (Mychack et al., 2001), déficits en teoría de la mente (Gregory et al., 2002) y déficits en el procesamiento socio-cognitivo (Binney et al., 2016; Rice & Hoffman, 2018). La relación entre los resultados del TS y la integridad de estas áreas respalda las teorías de corporización del lenguaje, indicando que la comprensión del lenguaje con carga social depende de sistemas sociocognitivos más básicos.

Este déficit selectivo en el TS también se relacionó con patrones de conectividad relevantes. Mientras que los resultados del TnS no demostraron asociaciones con CFr en pacientes con vcDFT, los resultados del TS sí correlacionaron con el acoplamiento de

nodos fronto-amigdalinos implicados en procesos de cognición social (Banks et al., 2007; Hesse et al., 2016) y de con nodos hipocampales/parahipocampales que intervienen en procesos socio-cognitivos (Ibáñez & Manes, 2012; Tavares et al., 2015) y semánticos multimodales (Binder et al., 2009; Ullman, 2001a). Dado que las disrupciones en conectividad fronto-temporal se vinculan con alteraciones socio-comportamentales en vcDFT (Melloni et al., 2016), este patrón específico del TS también aparentaría verse arraigado a alteraciones socio-cognitivas más generales.

Además, los resultados del TS en pacientes con vcDFT correlacionaron con un patrón de hipo-conectividad fronto-temporal derecho (EEG-ad). En otros estudios sobre vcDFT se han reportado alteraciones en clústeres topográficamente y frecuentemente similares (Dottori et al., 2017) implicados en procesos de cognición social, como las sincronizaciones en delta-theta durante el reconocimiento de emociones faciales (Perdikis et al., 2017) y también alteraciones oscilatorias durante la cooperación interpersonal (Melloni et al., 2016). De hecho, las oscilaciones frontotemporales atípicas son marcadores característicos de los comportamientos sociales inapropiados de esta enfermedad (Ibáñez, 2018). Dado que ningún otro grupo presentó hipo-conectividad fronto-temporal ni déficits selectivos en el TS, este patrón es distintivo de pacientes con vcDFT.

#### **6.4.3. Déficit trans-categoriales en pacientes con EA**

La especificidad nosológica de los patrones de EP y vcDFT se respalda por los resultados de los pacientes con EA. Dichos pacientes tuvieron el peor desempeño en todos los textos, con correlatos neuroanatómicos inespecíficos y de conectividad espacial extendidos, los cuales comprendían áreas corticales dispersas y el cerebelo. Esto podría reflejar déficits de memoria semántica, relacionados a una atrofia ténporo-hipocampal temprana, acompañada de una degeneración parietal, insular y perisilviana (Whitwell et al., 2012). Además, los pacientes con EA exhibieron hiper-conectividad ténporo-occipital (EEG-ad), la cual correlacionó negativamente con el desempeño en tres de cuatro textos y mostró una tendencia en el restante. En este sentido, se observó que la hiper-conectividad posterior en pacientes con EA (Knyazeva et al., 2010; Tahaei et al., 2012) correlaciona negativamente con habilidades cognitivas de dominio general (Knyazeva et al., 2010). En suma, la naturaleza inespecífica de estos patrones confirma la especificidad de los resultados observados en los pacientes con EP y vcDFT.

## **6.5. Limitaciones y futuras líneas de investigación**

Este estudio presenta limitaciones. Primero, el tamaño de muestra fue moderado. Aunque otros estudios reportaron resultados replicables con un tamaño similar o incluso menor (García-Cordero et al., 2016; Hughes et al., 2011; Moretti et al., 2009), nuestro enfoque debería ser puesto a prueba con más pacientes. Segundo, los cuestionarios de comprensión se vieron limitados a 14 preguntas por texto. Sin embargo, en otras versiones de este paradigma se obtuvieron efectos robustos con una cantidad de ensayos similar (García et al., 2018; Trevisan et al., 2017); y otras tareas de lenguaje (Goodglass et al., 2001) demostraron sensibilidad para pacientes con la EP con apenas 10 ítems (Bocanegra et al., 2015; García et al., 2017b). Aun así, esta cifra debería aumentarse en implementaciones futuras del protocolo. Finalmente, nuestra tarea se enfocó exclusivamente en los campos semánticos de la acción y la interacción social. Futuras líneas de investigación deberían examinar otros dominios corporizados en enfermedades relevantes.

## **6.6. Conclusión**

Este estudio sugiere que la integridad de los circuitos corporizados impacta de modo selectivo en la comprensión de campos semánticos afines a nivel textual. Los déficits en los textos con alto contenido de acciones, propios de los pacientes con EP, se correlacionaron con marcadores anatómicos y de conectividad funcional en regiones motoras. Asimismo, los pacientes con vcDFT mostraron déficits selectivos en el TS, con alteraciones anátomo-funcionales a lo largo de mecanismos de cognición social. Por último, los pacientes con EA presentaron alteraciones trans-categoriales inespecíficas, lo cual realza la especificidad nosológica de los patrones observados en EP y vcDFT. Así, este estudio indica que la disrupción de mecanismos cerebrales implicados en funciones corporales o sociales impacta selectivamente en la comprensión de textos que evocan tales dominios.

## Capítulo VII

### Discusión general

Parte de los contenidos del presente capítulo se encuentran parcialmente publicados en los siguientes artículos:

- Birba A.**, García-Cordero I., Kozono G., Legaz A., Ibáñez A., Sedeño L., & García AM. (2017) Losing ground: frontostriatal atrophy disrupts language embodiment in Parkinson's and Huntington's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 673-687. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.011>
- García AM.\*, Hesse E.\*, **Birba A.\***, Adolphi F., Mikulan E., Martorell Caro M., Petroni A., García M., Silva W., Ciralo C., Vaucheret E., Lew S., Sedeño L. & Ibáñez A. (2020). Time to face language: Embodied mechanisms underpin the inception of face-related meanings in the human brain. *Cerebral Cortex*, 30(11), 6051-6068. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa178> \*Igual contribución
- Birba A.**, Vitale F., Padrón I., Dottori M., de Vega M., Zimmerman M., Sedeño L., Ibáñez A. & García AM. (2020). Electrifying discourse: Anodal tDCS of the primary motor cortex selectively reduces action appraisal in naturalistic narratives. *Cortex*, 132, 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.08.005>
- Birba A.**, Guerrero DB., Martorell Caro M., Trevisan P., Kogan B., Sedeño L., Ibáñez A., & García, AM. (2020). Motor-system dynamics during naturalistic reading of action narratives in first and second language. *NeuroImage*, 216, 116820. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116820>
- Birba A.**, Fittipaldi S., Cediél Escobar J. C., Gonzalez Campo C., Legaz A., Galiani A., Diaz Rivera M. N., Martorell Caro M., Alifano F., Salamone P., Piña-Escudero S. D., Cardona J. F., Neely A., Forno G., Carpinella M., Slachevsky A., Serrano C., Sedeño L., Ibáñez A., & García A. M. (2021). Multimodal neurocognitive markers of ecological discourse typify diverse neurodegenerative diseases. (en revisión).

#### Resumen

Este capítulo resume los principales hallazgos de los tres estudios, los discute de modo integral, y responde a los tres interrogantes planteados de modo focal y pormenorizado. Se propone una visión multidimensional del rol de los mecanismos motores en el procesamiento de acciones en textos naturalistas, con énfasis en su rol crítico y en sus modulaciones según la experiencia lingüística y la integridad de dichos circuitos. Luego



se puntualizan implicancias metodológicas, teóricas y aplicadas de los resultados. Por último, se identifican las limitaciones generales de los tres estudios y se delinear abordajes futuros para profundizar el entendimiento de las bases neurocognitivas de la comprensión textual. Concluimos que diversos mecanismos neurocognitivos implicados en procesos motores y semánticos cumplen un papel clave en el procesamiento de acciones evocadas por textos naturalistas, lo cual abre nuevas líneas de investigación en el campo.

## **7.1. Recapitulación y síntesis**

El objetivo general de esta tesis fue caracterizar diversos mecanismos neurocognitivos que subyacen la comprensión de acciones a nivel textual, con énfasis en cómo estos se modulan según las experiencias lingüísticas de los sujetos y la integridad de sus sistemas corporizados. En el primer estudio, mediante tDCS en participantes sanos, se demostró que los circuitos motores cumplen un rol crítico en la comprensión de acciones evocadas por textos naturalistas. El segundo estudio reveló que la conectividad funcional de nodos motores durante el procesamiento de TA varía según la competencia y edad de apropiación de la lengua en cuestión. Por último, el tercer estudio indicó que los pacientes con alteraciones motoras y socio-comportamentales presentan déficits selectivos en la comprensión de TA y TS, respectivamente, asociados al volumen y la conectividad de mecanismos corporizados afines. En conjunto, los hallazgos de esta tesis constituyen evidencia novedosa sobre el rol de los mecanismos corporizados en el procesamiento textual y su modulación según variables individuales. A continuación, discutimos los principales resultados en el marco de las preguntas centrales de la tesis y luego explicitamos sus implicancias metodológicas, teóricas y aplicadas.

## **7.2. Respuestas pormenorizadas a las preguntas centrales de la tesis**

### **7.2.1. Bases críticas del procesamiento del lenguaje de acción a nivel textual**

El primer estudio de la tesis evaluó si los circuitos motores cumplen un rol relevante en el procesamiento de acciones evocadas por textos naturalistas. Para que un sistema cumpla un rol crítico en cierta función han de cumplirse al menos cuatro imperativos. La asociación entre dicho sistema y la función deberá ser: (1) potencialmente directa, (2) selectiva, (3) independiente de otros dominios cognitivos relevantes, y (4) específica de las regiones involucradas. Para corroborar si estos imperativos se cumplían en el caso de los circuitos motores y el lenguaje de acción, evaluamos la influencia de tDCS en M1 y

dos estimulaciones control (estimulación placebo de M1 y estimulación anodal-CPFVL) en el procesamiento de TA y TnA. Los resultados satisfacen dichos criterios, como se detalla a continuación.

En primer lugar, la tDCS permite modular de forma directa la actividad cerebral, induciendo cambios neuroplásticos (Roche et al., 2015; Wiethoff et al., 2014). Nuestro estudio indica que al alterarse la excitabilidad cortical de M1 pueden *desencadenarse* efectos en una categoría lingüística específica, indicando que la comprensión de acciones puede afectarse mediante modulación de dicha región. Además, la dirección del efecto refuerza esta interpretación. Dado que un mejor desempeño podría deberse al aprendizaje o familiarización de la tarea, la evidencia de *reducción* en el desempeño destaca el lazo directo de los circuitos motores en la semántica de la acción (Vukovic et al., 2017). Entonces, estos resultados indicarían que la modulación de la excitabilidad de los circuitos motores afecta la comprensión del lenguaje de acción a nivel textual.

En segundo lugar, en comparación con el grupo placebo-M1, la comprensión de acciones del TA fue significativamente peor en el grupo anodal-M1, mientras que el desempeño de los verbos en el TnA y las circunstancias en ambas narrativas no mostraron diferencias. Entonces, estos resultados reducen la posibilidad de que el rol de los circuitos motores se manifieste anárquicamente entre diversos campos semánticos. Ello sugiere una selectividad del rol de M1 en el procesamiento de acciones evocadas en textos naturalistas.

En tercer lugar, nuestro estudio mostró que el efecto conductual observado no está mediado por el nivel de vocabulario o memoria de trabajo. Esto se alinea con estudios previos que muestran que los déficits semánticos diferenciales y específicos encontrados en trastornos del movimiento no se explican por alteraciones de dominio general (García et al., 2018; García et al., 2017a; Ibáñez et al., 2013). En consecuencia, el efecto parecería deberse a la modulación de tDCS sobre la comprensión del lenguaje de acción *per se*, y no se explicaría por las habilidades mnésicas o lingüísticas generales de los sujetos.

Por último, el efecto fue específico para M1, ya que los grupos placebo-M1 y anodal-CPFVL no presentaron resultados significativos para procesamiento de acciones. De hecho, el grupo anodal-CPFVL presentó una mayor comprensión de verbos abstractos en relación con el grupo placebo-M1. Si el resultado de la estimulación anódica de M1 fuera inespecífico de esa región y común a cualquier región frontal, debería haberse visto reflejado en el grupo anodal-CPFVL. La ausencia de tal efecto selectivo en este último grupo refuerza la especificidad del vínculo entre M1 y la comprensión de acciones.

En síntesis, los resultados muestran que los mecanismos motores poseen un rol potencialmente directo, selectivo del procesamiento del lenguaje de acción, sin mediación evidente de otros dominios cognitivos relevantes y con una contribución aparentemente específica de las áreas motoras. Estas observaciones sugieren que los mecanismos motores están implicados de un modo no trivial en la comprensión de acciones a nivel textual.

### **7.2.2. Impacto de la experiencia lingüística en el procesamiento del lenguaje de acción a nivel textual**

El segundo estudio partió de la hipótesis de que el reclutamiento de mecanismos motores durante la lectura de TA se ve influenciado por la experiencia lingüística. Una respuesta afirmativa supondría observar (1) una modulación diferencial de tales mecanismos para el TA respecto del TnA en una L1, (2) una mayor manifestación de dicho efecto en una L1 que en una L2 tardía, y (3) correlaciones significativas entre tal efecto en una L2 tardía e índices de consolidación de dicha lengua, como la edad de apropiación y el nivel de competencia. Para corroborar si estos imperativos se cumplían, evaluamos la conectividad funcional (EEG-ad) de procesos relacionados con posibles mecanismos motores en bilingües tardíos mientras leían un TA y un TnA en cada una de sus lenguas (L1: español; L2: inglés). Los resultados satisfacen esos tres requisitos.

En primer lugar, durante el procesamiento en L1, la lectura del TA involucró una mayor conectividad entre electrodos relacionados con procesos motores. Dicho patrón fue específico para el TA, dado que el TnA se caracterizó por un patrón frontal no motor disperso. Esto abona la tesis de que la comprensión del lenguaje es mediada por reconstrucciones tácitas de las experiencias sensoriomotoras evocadas por el material verbal (Gallese & Cuccio, 2018; Gallese & Sinigaglia, 2011; Pulvermüller, 2013a, 2018).

En segundo lugar, los análisis a nivel del grupo completo arrojaron dicho patrón sólo en L1, pues no hubo clúster significativo en L2. Nuestros resultados coinciden con aquellos que muestran que otros marcadores neurales corporizados se atenúan en la L2 en relación a la L1 (Vukovic & Shtyrov, 2014). Por lo tanto, los efectos de corporización del lenguaje, efectivamente, parecerían ser más salientes en una lengua aprendida de forma intrauterina que en una adquirida tardíamente. He aquí un primer indicio del rol de la edad de apropiación como determinante de efectos corporizados durante la lectura de TA naturalistas.

En tercer lugar, nuestros resultados sugieren que el reclutamiento de los sistemas motores durante el procesamiento de la L2 depende de qué tan consolidada esté la lengua (Kogan et al., 2020; Monaco et al., 2019). De hecho, la hiper-conectividad relacionada con mecanismos motores durante el procesamiento del TA-L2 mostró una correlación negativa con la edad de apropiación de la L2. Además, en el mismo sentido, esta hiper-conectividad durante la lectura del TA-L2 correlacionó positivamente con el nivel de competencia en L2. Estos resultados son compatibles con otros estudios que muestran mayor modulación de marcadores neurales en personas más competentes en L2 (Bergen et al., 2010; Ibáñez et al., 2010; Vukovic, 2013). Esto refuerza la idea de que el reclutamiento de procesos motores durante la lectura del TA se vincula con el grado de consolidación de la lengua.

En resumen, nuestros resultados muestran una modulación diferencial de la conectividad potencialmente asociada con procesos motores para el TA en L1 y una asociación con el grado de consolidación de la L2. En conclusión, nuestra segunda pregunta parece hallar una respuesta afirmativa: la experiencia lingüística influiría en el reclutamiento de los mecanismos motores durante el procesamiento del lenguaje de acción a nivel textual.

### **7.2.3. Rol de la integridad de los sistemas corporizados en el procesamiento del lenguaje de acción a nivel discursivo**

El tercer estudio evaluó el impacto de la alteración de los sistemas corporizados en el procesamiento semántico motor y social. Para que un patrón de afectación cerebral pueda juzgarse directamente asociado a déficits comportamentales en un dominio semántico particular deben cumplirse al menos tres condiciones. Dichos déficits deben ser (1) selectivos, (2) específicos de cuadros con alteraciones en dichos circuitos, y (3) concordantes con alteraciones estructurales y funcionales de mecanismos particulares. Para corroborar si estos imperativos se cumplían, evaluamos los correlatos multinivel del procesamiento de TA en personas con capacidades motoras reducidas (EP) y de la comprensión de TS en pacientes con alteraciones en la conducta social (vcDFT).

En primer lugar, los pacientes con la EP exhibieron déficits en el discurso de acción. Estos déficits fueron específicos y selectivos de aquellos pasajes textuales que evocaron información motora (el TA y TnS). De hecho, en el TA los déficits se observaron exclusivamente en la comprensión de acciones (no en la comprensión de información circunstancial). Estos resultados replican un patrón análogo en un estudio

previo con otra cohorte de pacientes con EP (García et al., 2018). Del mismo modo, los pacientes con vcDFT mostraron déficits selectivos en el TS. Esto sugiere que, en poblaciones con daño cerebral, los principales déficits en la comprensión textual se ciñen sobre dominios semánticos referidos a las capacidades afectadas en los pacientes.

En segundo lugar, estos patrones deficitarios fueron propios de los pacientes con EP y vcDFT, ya que los pacientes con EA mostraron déficits inespecíficos en todas las categorías. Si bien otros estudios han demostrado que los pacientes con EP también presentan déficits de cognición social (Ibarretxe-Bilbao et al., 2009; Martins et al., 2008; Pell & Leonard, 2005), y que los pacientes con vcDFT poseen una comprensión de acciones deficitaria en paradigmas verbales (Cotelli et al., 2006; Silveri et al., 2003), estos déficits se encuentran reportados a través de diferentes tareas descontextualizadas y sin comparación entre ambas enfermedades. En cambio, nuestro estudio aborda ambos cuadros en conjunto mediante un mismo paradigma experimental e indica que los déficits selectivos en comprensión de acciones en textos naturalistas no solo son robustos en la EP y en vcDFT, sino que son distintivos de tal condición. Esto corrobora la especificidad de las alteraciones del lenguaje de acción y social en pacientes con capacidades motoras y sociales reducidas, respectivamente.

Por último, cabe resaltar que este estudio posee un abordaje multinivel que evalúa el desempeño conductual, con sus correlatos estructurales (RMN) y funcionales (RMNf y EEG-ad). En este sentido, los déficits del TA y TnS en los pacientes con EP se vincularon específicamente con el volumen de áreas de percepción/imaginación de movimiento (ACE), conectividad espacial a través de redes motoras y semánticas, e hipo-conectividad frontal en EEG-ad. En cambio, el desempeño en los pacientes con vcDFT correlacionó con el volumen de regiones frontotemporales, conectividad espacial de redes de cognición social e hipo-conectividad fronto-temporal medida con EEG-ad. A su vez, los pacientes con EA presentaron un desempeño deficitario en todos los textos, relacionados a patrones distribuidos de atrofia y de conectividad espacial, como también hiper-conectividad occípito-temporal medida con EEG-ad. Esto indica que los déficits semánticos específicos observados en EP y vcDFT se asocian con alteraciones multidimensionales de mecanismos corporizados.

En síntesis, estos resultados sugieren que los déficits de la comprensión del lenguaje de acción y social en pacientes con EP y vcDFT son selectivos para dichos dominios semánticos, potencialmente específicos de cada cuadro y mediados por alteraciones estructurales y funcionales características de cada enfermedad. Así, la

alteración de sistemas corporizados se asociaría con déficits distintivos en campos semánticos predecibles, aun a nivel textual.

### **7.3. Implicancias**

#### **7.3.1. Implicancias metodológicas**

Más allá de las respuestas empíricas que propician, los estudios realizados tienen implicancias metodológicas. Estas operan tanto a nivel de las tareas como de las técnicas neurocientíficas y las poblaciones empleadas. A continuación, identificamos las principales.

Primero, las tareas de los tres estudios muestran que se puede reducir el compromiso entre validez ecológica y el control típico de los experimentos de laboratorio. Los estímulos utilizados presentan todas las propiedades típicas de textos reales (coherencia, cohesión, relaciones semánticas que se desarrollan en tiempo), a la vez que mantienen comparabilidad estadística en múltiples factores (grafémicos, léxicos, sintácticos y macrotextuales). Más aún, el protocolo es lo suficientemente maleable como para adaptarse a distintos abordajes (que van desde la modulación de la excitabilidad cortical en jóvenes hasta medidas multinivel estructurales y de conectividad funcional en modelos neurodegenerativos y experticia), y a su vez robusto como para evaluar aspectos finos del procesamiento semántico. Futuras aplicaciones de este paradigma podrían contribuir a una mejor comprensión de los fenómenos en cuestión.

Además, el protocolo no se limita al campo del lenguaje de acción, sino que puede evaluar múltiples dominios corporizados (p. ej., el lenguaje social en el capítulo VI, donde mostramos un déficit específico en vcDFT). Así, futuras líneas de investigación deberían examinar otros modelos neurodegenerativos de lesión –p. ej., comprensión del discurso visual (enfaticando en colores y formas) en pacientes con atrofia cortical posterior (Keuss et al., 2019). Por último, cabe destacar que pocos paradigmas son tan sensibles y específicos como para caracterizar diversos mecanismos corporizados en sujetos sanos, modelos de experticia lingüística y modelos de lesión. He aquí otro atributo distintivo del presente abordaje ecológico.

Segundo, esta tesis presenta un variado repertorio de métodos para caracterizar fenómenos neurocognitivos corporizados. A diferencia de los abordajes típicos del campo, donde se evalúa una sola dimensión, este abordaje multinivel responde a las recientes necesidades de comprender de forma más completa y desde diversas perspectivas la cognición humana (Bassett & Sporns, 2017). Por separado, cada uno de

los métodos utilizados en la tesis es ciego a ciertas propiedades cerebrales relevantes (p. ej., el EEG posee una baja resolución espacial, mientras que la RMNf posee baja resolución temporal). Sólo mediante la conjunción de diversos métodos se alcanza una mirada pluralista y holística de las bases neurocognitivas de un fenómeno determinado. A futuro, nuevas elaboraciones multinivel permitirán evaluar este y otros dominios cognitivos con atención a sus mecanismos electrofisiológicos, anatómicos y hemodinámicos.

Por último, a diferencia de otras líneas de investigación en el campo, el presente abordaje no busca caracterizar su fenómeno de interés en personas sanas o en bilingües o en modelos de lesión. Al contrario, se trata de escoger la población más estratégica para elucidar cada arista del fenómeno. Nuevas implementaciones de esta aproximación de muestreo estratégica permitirán el conocimiento sobre las bases corporizadas del lenguaje y otros dominios.

### **7.3.2. Implicancias teóricas**

Cabe señalar dos implicancias teóricas de esta tesis. En primer lugar, esta brinda un marco para detectar efectos corporizados en una tarea de textos naturalistas. Hasta ahora, la mayoría la investigación sobre corporeidad en individuos neurotípicos con estimulación cerebral no invasiva (D'ausilio et al., 2009; Gijssels et al., 2018; Liuzzi et al., 2010; Papeo et al., 2009; Willems et al., 2011), bilingües (Bergen et al., 2010; Buccino et al., 2017; De Grauwe et al., 2014; Ibáñez et al., 2010; Vukovic, 2013; Vukovic & Shtyrov, 2014; Xue et al., 2015) y modelos de lesión (Abrevaya et al., 2017; Bocanegra et al., 2017; Melloni et al., 2015; Péran et al., 2009) ha dependido de oraciones o palabras aisladas secuenciadas aleatoriamente. Aunque estos estudios entregan una gran variedad de información, no se puede asumir *a priori* que sus hallazgos resulten válidos durante la comprensión de textos, dado que la información contextual modula el procesamiento de las palabras (García & Ibáñez, 2016b; Van Dam et al., 2010) y afecta de diversas maneras la comprensión al favorecer la retención de información pertinente (Ledoux et al., 2006). Los resultados obtenidos muestran que los efectos corporizados observados durante la lectura/escucha de textos naturalistas son robustos y emergen incluso a nivel textual. De manera más particular, el hecho de que aparezcan en ambientes de lectura/escucha restringida indica que ese fenómeno no se limita a las condiciones de procesamiento artificial del ambiente de laboratorio. Estos resultados permiten conciliar la brecha teórica

entre los modelos de cognición corporizada (Pulvermüller, 2013a) y aquellos que pregonan caracterizaciones naturalistas del procesamiento lingüístico (Desai et al., 2016).

En segundo lugar, los modelos que no explicitan cómo los sistemas corporizados se moldean en función de la experiencia individual corren el riesgo de promover visiones erróneamente universalistas. Si bien toda construcción teórica sacrifica el detalle particular en función de la generalidad, el campo ha madurado lo suficiente como para incorporar matices de cada modelo en función de subpoblaciones particulares. En consecuencia, nuestros resultados promueven una nueva visión sobre la *dinámica* de los mecanismos corporizados, focalizada principalmente en la *adaptabilidad* y *vulnerabilidad* de tales mecanismos en función de variables experienciales. En este sentido, la evidencia sugiere que las reactivaciones inducidas por el lenguaje son (a) moldeables según la experiencia lingüística, y (b) vulnerables de modo selectivo ante diversas alteraciones cerebrales corporizadas.

### **7.3.3. Implicancias aplicadas**

La evidencia aquí presentada también conlleva implicancias aplicadas. En primer lugar, a nivel educativo, la mayoría de los enfoques para la enseñanza de lenguas extranjeras hacen caso omiso de la experiencia corpórea. Tal es el caso del método audiolingual o el comunicativo, que priorizan la combinación de material verbal oral o escrito con recursos pictóricos, auditivos o audiovisuales, pero no promueven una integración directa entre los significados verbales y la experiencia corporal. Nuestro segundo estudio indica que la comprensión de los textos en tiempo real, de hecho, implica acoplamientos distintivos de circuitos que median las experiencias predominantes evocadas por los textos. Estos resultados brindan sustento neurocientífico a corrientes didácticas que sí abogan por un involucramiento central de la experiencia corporal en el aprendizaje de lenguas extranjeras (como la escuela de ‘respuesta total física’) (Kogan et al., 2020). A la luz del capítulo V, bien valdría la pena profundizar en líneas de investigación que permitan evaluar el impacto o la aplicabilidad áulica de abordajes corporizados.

En segundo lugar, cabe apuntar algunas posibles implicancias clínicas. En particular, los resultados del capítulo VI podrían redundar en marcadores sensibles de enfermedades neurodegenerativas. La mayoría de las evaluaciones lingüísticas para tales cuadros se enfocan en aspectos generales y aislados de la fonología, la morfosintaxis o la léxico-semántica. Generalmente, estas arrojan déficits similares en diversas enfermedades, sin advertirse una relación distintiva entre dominios y patologías



particulares (Ash et al., 2006; Benke et al., 2000; Birba et al., 2017; Bocanegra et al., 2015; Grossman et al., 2003; Grossman et al., 2013; Hughes et al., 2011; Libon et al., 2009; Longworth et al., 2005; Nevler et al., 2017; Saxon et al., 2017). Nuestro abordaje supera al menos parcialmente esta limitación al enfocarse en dominios corporizados sensibles. Además, esos enfoques clásicos típicamente dependen de ítems descontextualizados y secuenciados arbitrariamente, sin tener en cuenta factores ecológicos que naturalmente afectan el funcionamiento de la vida diaria (Aviezer et al., 2009; Ibáñez et al., 2018; Ledoux et al., 2006). Por el contrario, el paradigma aquí empleado utiliza narrativas contextualmente ricas, cohesivas y coherentes, captando en ellas propiedades clave del discurso diario (Halliday & Matthiessen, 2014). Esto, a su vez, crea condiciones de evaluación más rigurosas: si emergen déficits específicos de una enfermedad, aun cuando existe una influencia contextual, su potencial como marcadores sensibles se magnifica (García et al., 2018). Por otro lado, dado el rol fundamental que tiene la comprensión del lenguaje en el quehacer comunicativo cotidiano de los pacientes nuestros resultados tienen implicancias para posibles intervenciones neuromodulatorias. En particular, sería interesante si las deficiencias selectivas observados en la comprensión de acciones en EP y de contenido social en vcDFT pueden revertirse mediante la estimulación no invasiva de los circuitos críticos detectados en este trabajo. Así, distintas evaluaciones e intervenciones lingüísticas focalizadas en dominios corporizados podrían contribuir a las prácticas clínicas actuales y potenciar los protocolos de diagnóstico, pronóstico, monitoreo y evaluación de respuesta al tratamiento en poblaciones pertinentes.

#### **7.4. Limitaciones generales y futuras investigaciones**

Esta tesis presenta limitaciones transversales a los tres estudios. En primer lugar, todas las evaluaciones se realizaron con textos muy concisos. Si bien la brevedad nos permitió evaluar pacientes con diversas enfermedades neurodegenerativas y realizar protocolos multimetodológicos, futuros estudios deberían evaluar si los efectos son robustos en nuevas narrativas igualmente controladas pero de mayor extensión. En segundo lugar, en todos los estudios evaluamos el desempeño y los correlatos a nivel del texto en su totalidad. Este tipo de abordajes facilitó la implementación de diseños más ecológicos y naturalistas como la lectura y escucha no restringidas. Sin embargo, en los TA, el nivel de motilidad suscitado y sus asociones varía mucho de palabra a palabra. Futuras investigaciones deberían complementar estos resultados con mediciones de actividad

evocada por distintos pasajes del texto. En tercer lugar, todos nuestros estudios se centran en la dimensión receptiva. Sin embargo, sería interesante evaluar los efectos encontrados a nivel de producción lingüística, acaso mediante abordajes de procesamiento de lenguaje natural, como se ha hecho en estudios recientes (García et al., 2016b; Norel et al., 2020). En cuarto lugar, los eventos de acción captados por los TA combinan movimientos realizados por distintas partes corporales, resultando nuestro paradigma ciego a efectos somatotópicos o de efector específico. A la luz de que dichos efectos parecen ser robustos en la literatura (Pulvermüller, 2013a), sería bueno profundizar el potencial de nuestro paradigma con manipulaciones afines (p. ej., narrativas que contengan solo verbos manuales). Por último, una limitación de esta tesis, y del campo de la neurolingüística en general, es que todos los estudios someten a los participantes a ser espectadores (pero no actores) de las situaciones. Es decir, no hay comunicación entre personas en tiempo real. Si bien reconocemos que esta limitación es una frontera difícil de atravesar, es abordable con registros de dos participantes en simultáneo. En particular, la técnica de *hyperscanning* ofrece registros cerebrales simultáneos de dos personas mientras realizan tareas interactivas, como conversar (Kelsen et al., 2020). Sobrepasar este límite permitiría, en un futuro, no solo comprender mejor los sistemas corporizados a nivel de comprensión y producción, sino también a nivel comunicacional, lo cual abre nuevas puertas para explorar la neurobiología del lenguaje como *semiótica social* (García & Ibáñez, en preparación).

## **7.5. Conclusiones**

Este trabajo destaca la importancia del estudio de las bases neurocognitivas de la comprensión textual con un enfoque multimetodológico. En conjunto, los resultados evidencian que los sistemas motores cumplen un rol crítico en la comprensión de acciones evocadas por narrativas naturalistas, moldeable por la experiencia lingüística de los sujetos y la integridad de sus sistemas corporizados. Este último punto, de hecho, se vio corroborado en el dominio de la semántica social. Además, los resultados presentados poseen implicancias teóricas en neurociencias cognitivas (enfocadas principalmente en el desarrollo de paradigmas ecológicos), metodológicas (con abordajes multidimensionales), y aplicadas (de cara a la búsqueda y validación de posibles marcadores neurocognitivos específicos para distintas enfermedades neurodegenerativas). La triangulación entre teorías de cognición corporizada, nuevos desarrollos en diseños ecológicos y metodologías multidimensionales abre nuevos

caminos en el estudio básico y aplicado de los mecanismos que sustentan nuestras capacidades verbales. Estas precisiones constituyen un faro no solo para guiar el desarrollo del área, sino también para comprender mejor los vínculos lingüístico-biológicos que nos identifican como especie.

## Referencias

- Abrevaya, S., Sedeño, L., Fittipaldi, S., Pineada, D., Lopera, F., Buriticá, O., Villegas, A., Bustamante, C., Gomez, D., Trujillo, N., Pautassi, R., Ibáñez, A., & García, A. M. (2017). The road less traveled: Alternative pathways for action-verb processing in Parkinson's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, *55*(4), 1429-1435. doi:10.3233/JAD-160737
- Afonso, O., Suárez-Coalla, P., Cuetos, F., Ibáñez, A., Sedeño, L., & García, A. M. (2019). The embodied penman: effector-specific motor–language integration during handwriting. *Cognitive science*, *43*(7), e12767.
- Ahlberg, D. K., Bischoff, H., Kaup, B., Bryant, D., & Stroyk, J. V. (2017). Grounded cognition: comparing language × space interactions in first language and second language. *Applied Psycholinguistics*, *39*(2), 437-459. doi:10.1017/S014271641700042X
- Alemanno, F., Houdayer, E., Cursi, M., Velikova, S., Tettamanti, M., Comi, G., Cappa, S., & Leocani, L. (2012). Action-related semantic content and negation polarity modulate motor areas during sentence reading: An event-related desynchronization study. *Brain Research*, *1484*, 39-49.
- Alexander, G. E., & Crutcher, M. D. (1990). Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. *Trends in Neurosciences*, *13*(7), 266-271.
- Alexander, G. E., DeLong, M. R., & Strick, P. L. (1986). Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annual Review of Neuroscience*, *9*, 357-381. doi:10.1146/annurev.ne.09.030186.002041
- Amadi, U., Allman, C., Johansen-Berg, H., & Stagg, C. J. (2015). The homeostatic interaction between anodal transcranial direct current stimulation and motor learning in humans is related to GABAA activity. *Brain Stimulation*, *8*(5), 898-905.
- Apsvalka, D., Ramsey, R., & Cross, E. S. (2018). Anodal tDCS over primary motor cortex provides no advantage to learning motor sequences via observation. *Neural Plasticity*, *29*(1237962).
- Aravena, P., Hurtado, E., Riveros, R., Cardona, J. F., Manes, F., & Ibáñez, A. (2010). Applauding with closed hands: neural signature of action-sentence compatibility effects. *PLoS one*, *5*(7), e11751.
- Ash, S., Moore, P., Antani, S., McCawley, G., Work, M., & Grossman, M. (2006). Trying to tell a tale: discourse impairments in progressive aphasia and frontotemporal dementia. *Neurology*, *66*(9), 1405-1413. doi:10.1212/01.wnl.0000210435.72614.38
- Astafiev, S. V., Stanley, C. M., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2004). Extrastriate body area in human occipital cortex responds to the performance of motor actions. *Nature Neuroscience*, *7*(5), 542-548.
- Aviezer, H., Bentin, S., Hassin, R. R., Meschino, W. S., Kennedy, J., Grewal, S., Esmail, S., Cohen, S., & Moscovitch, M. (2009). Not on the face alone: perception of contextualized face expressions in Huntington's disease. *Brain*, *132*(6), 1633-1644.
- Aziz-Zadeh, L., Maeda, F., Zaidel, E., Mazziotta, J., & Iacoboni, M. (2002). Lateralization in motor facilitation during action observation: a TMS study. *Current Biology*, *14*(1), 127-131.

- Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current Biology*, *16*(18), 1818-1823.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Lopez, S., Di Gennaro, G., Quarato, P. P., Pavone, L., Morace, R., Soricelli, A., Noce, G., & Esposito, V. (2017). Frontal functional connectivity of electrocorticographic delta and theta rhythms during action execution versus action observation in humans. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *11*, 20.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Vecchio, F., Sebastiano, F., Di Gennaro, G., Quarato, P. P., Morace, R., Pavone, L., Soricelli, A., & Noce, G. (2016). Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans. *Clinical Neurophysiology*, *127*(1), 641-654.
- Bachtiar, V., Johnstone, A., Berrington, A., Lemke, C., Johansen-Berg, H., Emir, U., & Stagg, C. (2018). Modulating regional motor cortical excitability with non-invasive brain stimulation results in neurochemical changes in bilateral motor cortices. *Journal of Neuroscience*, 2853-2817.
- Baez, S., Couto, B., Torralva, T., Sposato, L. A., Huepe, D., Montanes, P., Reyes, P., Matallana, D., Viglicca, N. S., Slachevsky, A., Manes, F., & Ibáñez, A. (2014). Comparing moral judgments of patients with frontotemporal dementia and frontal stroke. *JAMA Neurology*, *71*(9), 1172-1176. doi:10.1001/jamaneurol.2014.347
- Banks, S. J., Eddy, K. T., Angstadt, M., Nathan, P. J., & Phan, K. L. (2007). Amygdala–frontal connectivity during emotion regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *2*(4), 303-312.
- Barrio-Cantalejo, I. M., Simón-Lorda, P., Melguizo, M., Escalona, I., Marijuán, M. I., & Hernando, P. (2008). *Validación de la Escala INFLESZ para evaluar la legibilidad de los textos dirigidos a pacientes*. Paper presented at the Anales del Sistema Sanitario de Navarra.
- Barrós-Loscertales, A., González, J., Pulvermüller, F., Ventura-Campos, N., Bustamante, J. C., Costumero, V., Parcet, M. A., & Ávila, C. (2012). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral Cortex*, *22*(11), 2554-2563.
- Barsalou, L. W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. *Topics in Cognitive Science*, *2*(4), 716-724.
- Bates, E., Wilson, S. M., Saygin, A. P., Dick, F., Sereno, M. I., Knight, R. T., & Dronkers, N. F. (2003). Voxel-based lesion–symptom mapping. *Nature Neuroscience*, *6*(5), 448-450.
- Bedny, M., & Caramazza, A. (2011). Perception, action, and word meanings in the human brain: the case from action verbs. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1224*, 81-95. doi:10.1111/j.1749-6632.2011.06013.x
- Beilock, S. L., Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2008). Sports experience changes the neural processing of action language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(36), 13269-13273.
- Benke, T., Hohenstein, C., Poewe, W., & Butterworth, B. (2000). Repetitive speech phenomena in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *69*(3), 319-324. doi:10.1136/jnnp.69.3.319
- Bergen, B., Lau, T. T., Narayan, S., Stojanovic, D., & Wheeler, K. (2010). Body part representations in verbal semantics. *Memory & Cognition*, *38*(7), 969-981. doi:10.3758/mc.38.7.969

- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, *19*(12), 2767-2796.
- Binney, R. J., Hoffman, P., & Lambon Ralph, M. A. (2016). Mapping the multiple graded contributions of the anterior temporal lobe representational hub to abstract and social concepts: evidence from distortion-corrected fMRI. *Cerebral Cortex*, *26*(11), 4227-4241. doi:10.1093/cercor/bhw260
- Birba, A., García-Cordero, I., Kozono, G., Legaz, A., Ibáñez, A., Sedeño, L., & García, A. M. (2017). Losing ground: Frontostriatal atrophy disrupts language embodiment in Parkinson's and Huntington's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 673-687.
- Bocanegra, Y., García, A. M., Lopera, F., Pineda, D., Baena, A., Ospina, P., Alzate, D., Buriticá, O., Moreno, L., Ibáñez, A., & Cuetos, F. (2017). Unspeakable motion: Selective action-verb impairments in Parkinson's disease patients without mild cognitive impairment. *Brain and Language*, *168*, 37-46. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2017.01.005>
- Bocanegra, Y., García, A. M., Pineda, D., Buriticá, O., Villegas, A., Lopera, F., Gómez, D., Arias, C., Cardona, J., Trujillo, N., & Ibáñez, A. M. (2015). Syntax, action verbs, action semantics, and object semantics in Parkinson's disease: Dissociability, progression, and executive influences. *Cortex*, *69*, 237-254.
- Bora, E., Walterfang, M., & Velakoulis, D. (2015). Theory of mind in behavioural-variant frontotemporal dementia and Alzheimer's disease: a meta-analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *86*(7), 714-719. doi:10.1136/jnnp-2014-309445
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2009). Grasping ideas with the motor system: semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral Cortex*, *19*(8), 1905-1914.
- Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S., Broussolle, E., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, *46*(2), 743-756.
- Braak, H., Del Tredici, K., Rüb, U., De Vos, R. A., Steur, E. N. J., & Braak, E. (2003). Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease. *Neurobiology of Aging*, *24*(2), 197-211.
- Branscheidt, M., Hoppe, J., Freundlieb, N., Zwitserlood, P., & Liuzzi, G. (2017). tDCS over the motor cortex shows differential effects on action and object words in associative word learning in healthy aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *9*, 137.
- Buccino, G., Marino, B. F., Bulgarelli, C., & Mezzadri, M. (2017). Fluent speakers of a second language process graspable nouns expressed in L2 like in their native language. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1306.
- 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. *Cognitive Brain Research*, *24*(3), 355-363.
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease.
- Canseco-Gonzalez, E., Brehm, L., Brick, C. A., Brown-Schmidt, S., Fischer, K., & Wagner, K. (2010). Carpet or Cárcel: The effect of age of acquisition and language mode on bilingual lexical access. *Language and Cognitive Processes*, *25*(5), 669-705. doi:10.1080/01690960903474912

- Caramazza, A., Anzellotti, S., Strnad, L., & Lingnau, A. (2014). Embodied cognition and mirror neurons: a critical assessment. *Annual Review of Neuroscience*, *37*, 1-15.
- Casali, A. G., Gosseries, O., Rosanova, M., Boly, M., Sarasso, S., Casali, K. R., Casarotto, S., Bruno, M.-A., Laureys, S., Tononi, G., & Massimini, M. (2013). A theoretically based Index of consciousness independent of sensory processing and behavior. *Science Translational Medicine*, *5*(198), 198ra105-198ra105. doi:10.1126/scitranslmed.3006294
- Cattaneo, Z., Pisoni, A., & Papagno, C. (2011). Transcranial direct current stimulation over Broca's region improves phonemic and semantic fluency in healthy individuals. *Neuroscience*, *183*, 64-70.
- Chee, M. W. (2009). fMRI-adaptation and the bilingual brain. *Brain and Language*, *109*(2-3), 75-79. doi:10.1016/j.bandl.2008.06.004
- Chen, Y., Wang, W., Zhao, X., Sha, M., Liu, Y. n., Zhang, X., Ma, J., Ni, H., & Ming, D. (2017). Age-related decline in the variation of dynamic functional connectivity: a resting state analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *9*, 203.
- Chrysikou, E. G., Hamilton, R. H., Coslett, H. B., Datta, A., Bikson, M., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Noninvasive transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex facilitates cognitive flexibility in tool use. *Cognitive Neuroscience*, *4*(2), 81-89.
- Consonni, M., Cafiero, R., Marin, D., Tettamanti, M., Iadanza, A., Fabbro, F., & Perani, D. (2013). Neural convergence for language comprehension and grammatical class production in highly proficient bilinguals is independent of age of acquisition. *Cortex*, *49*(5), 1252-1258.
- Cotelli, M., Borroni, B., Manenti, R., Alberici, A., Calabria, M., Agosti, C., Arevalo, A., Ginex, V., Ortelli, P., & Binetti, G. (2006). Action and object naming in frontotemporal dementia, progressive supranuclear palsy, and corticobasal degeneration. *Neuropsychology*, *20*(5), 558.
- Cotelli, M., Borroni, B., Manenti, R., Zanetti, M., Arévalo, A., Cappa, S., & Padovani, A. (2007). Action and object naming in Parkinson's disease without dementia. *European Journal of Neurology*, *14*(6), 632-637.
- Courellis, H. S., Iversen, J. R., Poizner, H., & Cauwenberghs, G. (2016). *EEG channel interpolation using ellipsoid geodesic length*. Paper presented at the 2016 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS).
- D'Ausilio, A., Pulvermüller, F., Salmas, P., Bufalari, I., Begliomini, C., & Fadiga, L. (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, *19*(5), 381-385.
- da Silva, F. L. (2013). EEG and MEG: relevance to neuroscience. *Neuron*, *80*(5), 1112-1128.
- Damasio, A. R., & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *90*(11), 4957-4960. doi:10.1073/pnas.90.11.4957
- Davis, C. J. (2005). N-Watch: A program for deriving neighborhood size and other psycholinguistic statistics. *Behavior Research Methods*, *37*(1), 65-70.
- Davis, C. J., & Perea, M. (2005). BuscaPalabras: A program for deriving orthographic and phonological neighborhood statistics and other psycholinguistic indices in Spanish. *Behavior Research Methods*, *37*(4), 665-671.
- De Carli, F., Dessi, B., Mariani, M., Girtler, N., Greco, A., Rodriguez, G., Salmon, L., Morelli, M., & Cognition. (2015). Language use affects proficiency in Italian-Spanish bilinguals irrespective of age of second language acquisition. *Bilingualism: Language and Cognition*, *18*(2), 324-339.

- De Grauwe, S., Willems, R. M., Rueschemeyer, S. A., Lemhofer, K., & Schriefers, H. (2014). Embodied language in first- and second-language speakers: neural correlates of processing motor verbs. *Neuropsychologia*, *56*, 334-349. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.003
- De Lange, F. P., Spronk, M., Willems, R. M., Toni, I., & Bekkering, H. (2008). Complementary systems for understanding action intentions. *Current Biology*, *18*(6), 454-457.
- de Vega, M., Moreno, V., & Castillo, D. (2013). The comprehension of action-related sentences may cause interference rather than facilitation on matching actions. *Psychological Research*, *77*(1), 20-30.
- de Zubicaray, G., Arciuli, J., & McMahon, K. (2013). Putting an “end” to the motor cortex representations of action words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25*(11), 1957-1974.
- Deeny, S. P., Haufler, A. J., Saffer, M., & Hatfield, B. D. J. J. o. m. b. (2009). Electroencephalographic coherence during visuomotor performance: a comparison of cortico-cortical communication in experts and novices. *Journal of Motor Behavior*, *41*(2), 106-116.
- DeLong, E. R., DeLong, D. M., & Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 837-845.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9-21.
- Desai, R. H., Binder, J. R., Conant, L. L., & Seidenberg, M. S. (2010). Activation of sensory–motor areas in sentence comprehension. *Cerebral Cortex*, *20*(2), 468-478.
- Desai, R. H., Choi, W., Lai, V. T., & Henderson, J. M. (2016). Toward semantics in the wild: activation to manipulable nouns in naturalistic reading. *Journal of Neuroscience*, *36*(14), 4050-4055.
- Diodato, A., De Brimont, M. R., Yim, Y. S., Derian, N., Perrin, S., Pouch, J., Klatzmann, D., Garel, S., Choi, G. B., & Fleischmann, A. (2016). Molecular signatures of neural connectivity in the olfactory cortex. *Nature Communications*, *7*(1), 1-10.
- Dottori, M., Hesse, E., Santilli, M., Vilas, M. G., Caro, M. M., Fraiman, D., Sedeño, L., Ibáñez, A., & García, A. M. (2020). Task-specific signatures in the expert brain: Differential correlates of translation and reading in professional interpreters. *NeuroImage*, 116519.
- Dottori, M., Sedeño, L., Caro, M. M., Alifano, F., Hesse, E., Mikulan, E., García, A. M., Ruiz-Tagle, A., Lillo, P., & Slachevsky, A. (2017). Towards affordable biomarkers of frontotemporal dementia: A classification study via network’s information sharing. *Scientific Reports*, *7*(1), 3822.
- Dudschig, C., de la Vega, I., & Kaup, B. (2014). Embodiment and second-language: automatic activation of motor responses during processing spatially associated L2 words and emotion L2 words in a vertical Stroop paradigm. *Brain and Language*, *132*, 14-21. doi:10.1016/j.bandl.2014.02.002
- Dunn, L. M., & Dunn, L. M. (1997). *Examiner's manual for the PPVT-III peabody picture vocabulary test: Form IIIA and Form IIIB*: AGS.
- Edelman, B. J., Baxter, B., & He, B. (2015). EEG source imaging enhances the decoding of complex right-hand motor imagery tasks. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *63*(1), 4-14.



- Elmer, S., & Kühnis, J. (2016). Functional connectivity in the left dorsal stream facilitates simultaneous language translation: an EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience, 10*, 60.
- Ewald, A., Aristei, S., Nolte, G., & Rahman, R. A. (2012). Brain oscillations and functional connectivity during overt language production. *Frontiers in Psychology, 3*, 166.
- Ewen, J. B., Lakshmanan, B. M., Pillai, A. S., McAuliffe, D., Nettles, C., Hallett, M., Crone, N. E., & Mostofsky, S. H. (2016). Decreased modulation of EEG oscillations in high-functioning autism during a motor control task. *Frontiers in Human Neuroscience, 10*, 198.
- Fargier, R., Paulignan, Y., Boulenger, V., Monaghan, P., Reboul, A., & Nazir, T. A. (2012). Learning to associate novel words with motor actions: Language-induced motor activity following short training. *Cortex, 48*(7), 888-899.
- Fernandino, L., Conant, L. L., Binder, J. R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R. H. (2013). Where is the action? Action sentence processing in Parkinson's disease. *Neuropsychologia, 51*(8), 1510-1517.
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly journal of experimental psychology, 61*(6), 825-850.
- Fox, M. D., & Raichle, M. E. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature Reviews Neuroscience, 8*(9), 700-711.
- Fregni, F., & Pascual-Leone, A. (2007). Technology insight: noninvasive brain stimulation in neurology-perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. *Nature Clinical Practice Neurology, 3*(7), 383-393.
- Friederici, A. D. (2012). The cortical language circuit: from auditory perception to sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(5), 262-268.
- Gallese, V., & Cuccio, V. (2018). The neural exploitation hypothesis and its implications for an embodied approach to language and cognition: Insights from the study of action verbs processing and motor disorders in Parkinson's disease. *Cortex, 100*, 215-225. doi:10.1016/j.cortex.2018.01.010
- Gallese, V., & Lakoff, G. J. C. n. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology, 22*(3-4), 455-479.
- Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in Cognitive Sciences, 15*(11), 512-519. doi:S1364-6613(11)00194-X [pii];10.1016/j.tics.2011.09.003 [doi]
- Galli, G., Feurra, M., Pavone, E. F., Sirota, M., & Rossi, S. (2017). Dynamic changes in prefrontal cortex involvement during verbal episodic memory formation. *Biological Psychology, 125*, 36-44.
- Galli, G., Vadillo, M. A., Sirota, M., Feurra, M., & Medvedeva, A. (2019). A systematic review and meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on episodic memory. *Brain Stimulation, 12*(2), 231-241. doi:10.1016/j.brs.2018.11.008
- Gandiga, P. C., Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clinical Neurophysiology, 117*(4), 845-850.
- Gao, Q., Duan, X., & Chen, H. (2011). Evaluation of effective connectivity of motor areas during motor imagery and execution using conditional Granger causality. *NeuroImage, 54*(2), 1280-1288.

- García-Cordero, I., Esteves, S., Mikulan, E. P., Hesse, E., Baglivo, F. H., Silva, W., García, M. d. C., Vaucheret, E., Ciruolo, C., García, H. S., Adolffi, F., Pietto, M., Herrera, E., Legaz, A., Manes, F., García, A. M., Sigman, M., Bekinschtein, T. A., Ibáñez, A., & Sedeño, L. (2017). Attention, in and out: scalp-level and intracranial EEG correlates of interoception and exteroception. *Frontiers in Neuroscience, 11*, 411.
- García-Cordero, I., Sedeño, L., de la Fuente, L., Slachevsky, A., Forno, G., Klein, F., Lillo, P., Ferrari, J., Rodriguez, C., Bustin, J., Torralva, T., Baez, S., Yoris, A., Esteves, S., Melloni, M., Salamone, P., Huepe, D., Manes, F., García, A. M., & Ibáñez, A. (2016). Feeling, learning from and being aware of inner states: interoceptive dimensions in neurodegeneration and stroke. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371*(1708). doi:10.1098/rstb.2016.0006
- García, A. M. (2015). Translating with an injured brain: Neurolinguistic aspects of translation as revealed by bilinguals with cerebral lesions. *Meta: Translators' Journal, 60*(1), 112-134.
- García, A. M., Abrevaya, S., Kozono, G., Cordero, I. G., Córdoba, M., Kauffman, M. A., Pautassi, R., Muñoz, E., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (2016a). The cerebellum and embodied semantics: evidence from a case of genetic ataxia due to STUB1 mutations. *Journal of Medical Genetics, 54*, 114-124. doi:10.1136/jmedgenet-2016-104148
- García, A. M., Bocanegra, Y., Herrera, E., Moreno, L., Carmona, J., Baena, A., Lopera, F., Pineda, D., Melloni, M., Legaz, A., Muñoz, E., Sedeño, L., Baez, S., & Ibáñez, A. (2018). Parkinson's disease compromises the appraisal of action meanings evoked by naturalistic texts. *Cortex, 100*, 111-126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.07.003>
- García, A. M., Bocanegra, Y., Herrera, E., Pino, M., Muñoz, E., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (2017a). Action-semantic and syntactic deficits in subjects at risk for Huntington's disease. *Journal of Neuropsychology, 11*(10), 12120.
- García, A. M., Carrillo, F., Orozco-Arroyave, J. R., Trujillo, N., Vargas Bonilla, J. F., Fittipaldi, S., Adolffi, F., Noth, E., Sigman, M., Fernandez Slezak, D., Ibáñez, A., & Cecchi, G. A. (2016b). How language flows when movements don't: An automated analysis of spontaneous discourse in Parkinson's disease. *Brain and Language, 162*, 19-28. doi:10.1016/j.bandl.2016.07.008
- García, A. M., Hesse, E., Birba, A., Adolffi, F., Mikulan, E., Caro, M. M., Petroni, A., Bekinschtein, T. A., del Carmen García, M., Silva, W., Ciruolo, C., Vaucheret, E., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (2020). Time to Face Language: Embodied Mechanisms Underpin the Inception of Face-Related Meanings in the Human Brain. *Cerebral Cortex*. doi:10.1093/cercor/bhaa178
- García, A. M., & Ibáñez, A. (2016a). Hands typing what hands do: Action-semantic integration dynamics throughout written verb production. *Cognition, 149*, 56-66.
- García, A. M., & Ibáñez, A. (2016b). A touch with words: dynamic synergies between manual actions and language. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 68*, 59-95.
- García, A. M., & Ibáñez, A. (2018). When embodiment breaks down: Language deficits as novel avenues into movement disorders. *Cortex, 100*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.12.022>
- García, A. M., Moguilner, S., Torquati, K., García-Marco, E., Herrera, E., Muñoz, E., Castillo, E. M., Kleineschay, T., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (2019). How meaning unfolds in neural time: Embodied reactivations can precede multimodal semantic effects during language processing. *NeuroImage, 197*, 439-449.

- García, A. M., Sedeño, L., Trujillo, N., Bocanegra, Y., Gomez, D., Pineda, D., Villegas, A., Muñoz, E., Arias, W., & Ibáñez, A. (2017b). Language deficits as a preclinical window into Parkinson's disease: evidence from asymptomatic parkin and dardarin mutation carriers. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(2), 150-158.
- Gijssels, T., Ivry, R. B., & Casasanto, D. (2018). tDCS to premotor cortex changes action verb understanding: Complementary effects of inhibitory and excitatory stimulation. *Scientific Reports*, 8(1), 018-29600.
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin Review*, 9(3), 558-565.
- Glenberg, A. M., Sato, M., & Cattaneo, L. (2008). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology*, 18(7), R290-R291.
- Gollan, T. H., Weissberger, G. H., Runnqvist, E., Montoya, R. I., & Cera, C. M. (2012). Self-ratings of spoken language dominance: A multi-lingual naming test (MINT) and preliminary norms for young and aging Spanish-English bilinguals. *Biling (Camb Engl)*, 15(3), 594-615. doi:10.1017/s1366728911000332
- Gonzalez-Rosa, J. J., Natali, F., Tettamanti, A., Cursi, M., Velikova, S., Comi, G., Gatti, R., & Leocani, L. (2015). Action observation and motor imagery in performance of complex movements: Evidence from EEG and kinematics analysis. *Behavioural Brain Research*, 281, 290-300.
- González, J., Barros-Loiscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., & Ávila, C. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage*, 32(2), 906-912.
- Goodglass, H., Kaplan, E., & Barresi, B. (2001). *BDAE-3: Boston Diagnostic Aphasia Examination—Third Edition*: Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, PA.
- Gourévitch, B., & Eggermont, J. J. (2007). Evaluating information transfer between auditory cortical neurons. *Journal of Neurophysiology*, 97(3), 2533-2543.
- Grabner, R. H., Brunner, C., Leeb, R., Neuper, C., & Pfurtscheller, G. (2007). Event-related EEG theta and alpha band oscillatory responses during language translation. *Brain Research Bulletin*, 72(1), 57-65.
- Green, D. W. (2003). The neural basis of the lexicon and the grammar in L2 acquisition. *The interface between syntax the lexicon in second language acquisition*, 197-208.
- Gregory, C., Lough, S., Stone, V., Erzinclioglu, S., Martin, L., Baron-Cohen, S., & Hodges, J. R. (2002). Theory of mind in patients with frontal variant frontotemporal dementia and Alzheimer's disease: theoretical and practical implications. *Brain*, 125(4), 752-764. doi:10.1093/brain/awf079
- Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12(1), 1-19.
- Groenewegen, H. (2003). The basal ganglia and motor control. *Neural Plasticity*, 10.
- Grossman, M., Cooke, A., DeVita, C., Lee, C., Alsop, D., Detre, J., Gee, J., Chen, W., Stern, M. B., & Hurtig, H. I. (2003). Grammatical and resource components of sentence processing in Parkinson's disease: an fMRI study. *Neurology*, 60(5), 775-781.
- Grossman, M., McMillan, C., Powers, J., Boller, A., Weinberg, D., & Haley, J. (2013). Interpreting Ambiguous Sentences in Behavioral-Variant Frontotemporal Degeneration (P07.159). *Neurology*, 80(7 Supplement), P07.159-P107.159.

- Halliday, M. A. K., & Matthiessen, C. (2014). *Halliday's Introduction to Functional Grammar* (fourth ed.). New York: Routledge.
- Halliday, M. A. K., Matthiessen, C., & Halliday, M. (2014). *An introduction to functional grammar*: Routledge.
- Hanakawa, T., Dimyan, M. A., & Hallett, M. (2008). Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI. *Cerebral Cortex*, *18*(12), 2775-2788.
- Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, *143*(1), 29-36.
- Hanouneh, S., Amin, H. U., Saad, N. M., & Malik, A. S. (2018). EEG power and functional connectivity correlates with semantic long-term memory retrieval. *Ieee Access*, *6*, 8695-8703.
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. (2018). Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *94*, 31-44.
- Hasson, U., Egidi, G., Marelli, M., & Willems, R. M. (2018). Grounding the neurobiology of language in first principles: The necessity of non-language-centric explanations for language comprehension. *Cognition*, *180*, 135-157.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, *41*(2), 301-307.
- Healey, M. L., McMillan, C. T., Golob, S., Spotorno, N., Rascovsky, K., Irwin, D. J., Clark, R., & Grossman, M. (2015). Getting on the same page: the neural basis for social coordination deficits in behavioral variant frontotemporal degeneration. *Neuropsychologia*, *69*, 56-66. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.028
- Helmich, R. C., de Lange, F. P., Bloem, B. R., & Toni, I. (2007). Cerebral compensation during motor imagery in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, *45*(10), 2201-2215.
- Helmich, R. C., Hallett, M., Deuschl, G., Toni, I., & Bloem, B. R. (2012). Cerebral causes and consequences of parkinsonian resting tremor: a tale of two circuits? *Brain*, *135*(Pt 11), 3206-3226. doi:aws023 [pii];10.1093/brain/aws023 [doi]
- Herrera, E., & Cuetos, F. (2012). Action naming in Parkinson's disease patients on/off dopamine. *Neuroscience Letters*, *513*(2), 219-222.
- Hesse, E., Mikulan, E., Decety, J., Sigman, M., García, M. d. C., Silva, W., Ciraolo, C., Vaucheret, E., Baglivo, F., & Huepe, D. (2016). Early detection of intentional harm in the human amygdala. *Brain*, *139*(1), 54-61.
- Hesse, E., Mikulan, E., Sitt, J. D., del Carmen García, M., Silva, W., Ciraolo, C., Vaucheret, E., Raimondo, F., Baglivo, F., & Adolphi, F. (2019). Consistent gradient of performance and decoding of stimulus type and valence from local and network activity. *IEEE Transactions on Neural Systems Rehabilitation Engineering*, *27*(4), 619-629.
- Hickok, G. (2014). *The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition*: WW Norton & Company.
- Hickok, G., Houde, J., & Rong, F. (2011). Sensorimotor integration in speech processing: computational basis and neural organization. *Neuron*, *69*(3), 407-422.
- Holland, R., Leff, A. P., Josephs, O., Galea, J. M., Desikan, M., Price, C. J., Rothwell, J. C., & Crinion, J. (2011). Speech facilitation by left inferior frontal cortex stimulation. *Current Biology*, *21*(16), 1403-1407. doi:10.1016/j.cub.2011.07.021
- Hsieh, S., Foxe, D., Leslie, F., Savage, S., Piguet, O., & Hodges, J. R. (2012). Grief and joy: emotion word comprehension in the dementias. *Neuropsychology*, *26*(5), 624-630. doi:10.1037/a0029326

- Hughes, A. J., Daniel, S. E., Kilford, L., & Lees, A. J. (1992). Accuracy of clinical diagnosis of idiopathic Parkinson's disease: a clinico-pathological study of 100 cases. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *55*(3), 181-184.
- Hughes, L. E., Nestor, P. J., Hodges, J. R., & Rowe, J. B. (2011). Magnetoencephalography of frontotemporal dementia: spatiotemporally localized changes during semantic decisions. *Brain*, *134*(Pt 9), 2513-2522. doi:10.1093/brain/awr196
- Hulstijn, J. H. (2012). The construct of language proficiency in the study of bilingualism from a cognitive perspective. *Bilingualism: Language Cognition*, *15*(2), 422-433.
- Hurley, R., & Machado, L. (2017). Using tDCS priming to improve brain function: Can metaplasticity provide the key to boosting outcomes? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *83*, 155-159.
- Huth, A. G., De Heer, W. A., Griffiths, T. L., Theunissen, F. E., & Gallant, J. L. (2016). Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*, *532*(7600), 453-458.
- Ibáñez, A. (2018). Brain oscillations, inhibition and social inappropriateness in frontotemporal degeneration. *Brain*, *141*(10), 73-73.
- Ibáñez, A., Billeke, P., de la Fuente, L., Salamone, P., García, A. M., & Melloni, M. (2017). Reply: towards a neurocomputational account of social dysfunction in neurodegenerative disease. *Brain*, *140*(3), e15-e15.
- Ibáñez, A., Cardona, J. F., Dos Santos, Y. V., Blenkmann, A., Aravena, P., Roca, M., Hurtado, E., Nerguizian, M., Amoruso, L., & Gómez-Arévalo, G. (2013). Motor-language coupling: direct evidence from early Parkinson's disease and intracranial cortical recordings. *Cortex*, *49*(4), 968-984.
- Ibáñez, A., García, A. M., Esteves, S., Yoris, A., Muñoz, E., Reynaldo, L., Pietto, M. L., Adolphi, F., & Manes, F. (2018). Social neuroscience: undoing the schism between neurology and psychiatry. *Social Neuroscience*, *13*(1), 1-39.
- Ibáñez, A., & Manes, F. (2012). Contextual social cognition and the behavioral variant of frontotemporal dementia. *Neurology*, *78*(17), 1354-1362. doi:10.1212/WNL.0b013e3182518375
- Ibáñez, 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. *Neuroscience Letters*, *471*(1), 48-52.
- Ibarretxe-Bilbao, N., Junque, C., Tolosa, E., Martí, M. J., Valldeoriola, F., Bargallo, N., & Zarei, M. (2009). Neuroanatomical correlates of impaired decision-making and facial emotion recognition in early Parkinson's disease. *European Journal of Neuroscience*, *30*(6), 1162-1171.
- Imperatori, L. S., Betta, M., Cecchetti, L., Canales-Johnson, A., Ricciardi, E., Siclari, F., Pietrini, P., Chennu, S., & Bernardi, G. (2019). EEG functional connectivity metrics wPLI and wSMI account for distinct types of brain functional interactions. *Scientific Reports*, *9*(1), 8894.
- Irish, M., Piguet, O., Hodges, J. R., & Hornberger, M. (2014). Common and unique gray matter correlates of episodic memory dysfunction in frontotemporal dementia and Alzheimer's disease. *Hum Brain Mapping*, *35*(4), 1422-1435. doi:10.1002/hbm.22263
- Jaušovec, N., Jaušovec, K., & Gerlič, I. (2001). Differences in event-related and induced EEG patterns in the theta and alpha frequency bands related to human emotional intelligence. *Neuroscience Letters*, *311*(2), 93-96.
- Jiang, T., He, Y., Zang, Y., & Weng, X. (2004). Modulation of functional connectivity during the resting state and the motor task. *Human Brain Mapping*, *22*(1), 63-71.

- Kaski, D., Allum, J., Bronstein, A., & Dominguez, R. (2014). Applying anodal tDCS during tango dancing in a patient with Parkinson's disease. *Neuroscience Letters*, *568*, 39-43.
- Kelsen, B. A., Sumich, A., Kasabov, N., Liang, S. H., & Wang, G. Y. (2020). What has social neuroscience learned from hyperscanning studies of spoken communication? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.
- Kemper, S., & Sumner, A. (2001). The structure of verbal abilities in young and older adults. *Psychology Aging*, *16*(2), 312.
- Keuss, S. E., Bowen, J., & Schott, J. M. (2019). Looking beyond the eyes: visual impairment in posterior cortical atrophy. *The Lancet* *394*(10203), 1055.
- Kikuchi, M., Shitamichi, K., Yoshimura, Y., Ueno, S., Remijn, G. B., Hirosawa, T., Munesue, T., Tsubokawa, T., Haruta, Y., & Oi, M. (2011). Lateralized theta wave connectivity and language performance in 2-to 5-year-old children. *Journal of Neuroscience*, *31*(42), 14984-14988.
- King, J.-R., Sitt, J. D., Faugeras, F., Rohaut, B., El Karoui, I., Cohen, L., Naccache, L., & Dehaene, S. (2013). Information sharing in the brain indexes consciousness in noncommunicative patients. *Current Biology*, *23*(19), 1914-1919.
- Klein, D., Zatorre, R. J., Chen, J. K., Milner, B., Crane, J., Belin, P., & Bouffard, M. (2006). Bilingual brain organization: a functional magnetic resonance adaptation study. *NeuroImage*, *31*(1), 366-375. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.012
- Knyazeva, M. G., Jalili, M., Brioschi, A., Bourquin, I., Fornari, E., Hasler, M., Meuli, R., Maeder, P., & Ghika, J. (2010). Topography of EEG multivariate phase synchronization in early Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *31*(7), 1132-1144.
- Kogan, B., Muñoz, E., Ibáñez, A., & García, A. M. (2020). Too late to be grounded? Motor resonance for action words acquired after middle childhood. *Brain and Cognition*, *138*, 105509. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.105509>
- Kuipers, J.-R., van Koningsbruggen, M., & Thierry, G. (2013). Semantic priming in the motor cortex: evidence from combined repetitive transcranial magnetic stimulation and event-related potential. *Neuroreport*, *24*(12), 646-651.
- Langdon, H. W., Wiig, E. H., & Nielsen, N. P. (2005). Dual-dimension naming speed and language-dominance ratings by bilingual hispanic adults. *Bilingual Research Journal*, *29*(2), 319-336. doi:10.1080/15235882.2005.10162838
- Ledoux, K., Camblin, C. C., Swaab, T. Y., & Gordon, P. C. (2006). Reading words in discourse: The modulation of lexical priming effects by message-level context. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *5*(3), 107-127.
- Lee, U., Blain-Moraes, S., & Mashour, G. A. (2015). Assessing levels of consciousness with symbolic analysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical Engineering Sciences*, *373*(2034), 20140117.
- Leow, L. A., Hammond, G., & de Rugy, A. (2014). Anodal motor cortex stimulation paired with movement repetition increases anterograde interference but not savings. *European Journal of Neuroscience*, *40*(8), 3243-3252.
- Lewis, S. J., Dove, A., Robbins, T. W., Barker, R. A., & Owen, A. M. (2003). Cognitive impairments in early Parkinson's disease are accompanied by reductions in activity in frontostriatal neural circuitry. *Journal of Neuroscience*, *23*(15), 6351-6356.
- Li, P., Sepanski, S., & Zhao, X. (2006). Language history questionnaire: A Web-based interface for bilingual research. *Behavior Research Methods*, *38*(2), 202-210. doi:10.3758/bf03192770

- Li, P., Zhang, F., Tsai, E., & Puls, B. (2014). Language history questionnaire (LHQ 2.0): A new dynamic web-based research tool. *Bilingualism: Language and Cognition*, 17(03), 673-680. doi:10.1017/S1366728913000606
- Li, P., Zhang, F., Yu, A., & Zhao, X. (2019). Language History Questionnaire (LHQ3): An enhanced tool for assessing multilingual experience. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1-7. doi:10.1017/S1366728918001153
- Libon, D. J., McMillan, C., Gunawardena, D., Powers, C., Massimo, L., Khan, A., Morgan, B., Farag, C., Richmond, L., Weinstein, J., Moore, P., Coslett, H. B., Chatterjee, A., Aguirre, G., & Grossman, M. (2009). Neurocognitive contributions to verbal fluency deficits in frontotemporal lobar degeneration. *Neurology*, 73(7), 535-542. doi:10.1212/WNL.0b013e3181b2a4f5
- Liljeström, M., Tarkiainen, A., Parviainen, T., Kujala, J., Numminen, J., Hiltunen, J., Laine, M., & Salmelin, R. (2008). Perceiving and naming actions and objects. *NeuroImage*, 41(3), 1132-1141.
- Litvan, I., Mohr, E., Williams, J., Gomez, C., & Chase, T. N. (1991). Differential memory and executive functions in demented patients with Parkinson's and Alzheimer's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, Psychiatry*, 54(1), 25-29.
- Liu, H., & Cao, F. (2016). L1 and L2 processing in the bilingual brain: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Brain and Language*, 159, 60-73.
- Liuzzi, G., Freundlieb, N., Ridder, V., Hoppe, J., Heise, K., Zimmerman, M., Dobel, C., Enriquez-Geppert, S., Gerloff, C., & Zwitserlood, P. (2010). The involvement of the left motor cortex in learning of a novel action word lexicon. *Current Biology*, 20(19), 1745-1751.
- Llano, D. A. (2013). Functional imaging of the thalamus in language. *Brain Language and Cognitive Processes*, 126(1), 62-72.
- Locatelli, M., Gatti, R., & Tettamanti, M. (2012). Training of manual actions improves language understanding of semantically related action sentences. *Frontiers in Psychology*, 3, 547.
- Longworth, C. E., Keenan, S. E., Barker, R. A., Marslen-Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (2005). The basal ganglia and rule-governed language use: evidence from vascular and degenerative conditions. *Brain*, 128(Pt 3), 584-596. doi:10.1093/brain/awh387
- López-Larraz, E., Montesano, L., Gil-Agudo, Á., Minguez, J., & Oliviero, A. (2015). Evolution of EEG motor rhythms after spinal cord injury: a longitudinal study. *PloS one*, 10(7), e0131759.
- Lucas, T. H., 2nd, McKhann, G. M., 2nd, & Ojemann, G. A. (2004). Functional separation of languages in the bilingual brain: a comparison of electrical stimulation language mapping in 25 bilingual patients and 117 monolingual control patients. *Journal of Neurosurgery*, 101(3), 449-457. doi:10.3171/jns.2004.101.3.0449
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 59-70.
- Marian, V., Blumenfeld, H. K., & Kaushanskaya, M. (2007). The language experience and proficiency questionnaire (LEAP-Q): Assessing language profiles in bilinguals and multilinguals. *Journal of Speech, Language, hearing Research*.
- Marino, B. F., Sirianni, M., Volta, R. D., Magliocco, F., Silipo, F., Quattrone, A., & Buccino, G. (2014). Viewing photos and reading nouns of natural graspable objects similarly modulate motor responses. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 968.

- Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG-and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, 164(1), 177-190.
- Martins, A., Muresan, A., Justo, M., & Simao, C. (2008). Basic and Social Emotion Recognition in Patients With Parkinson Disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 25(4).
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. M. (1984). Clinical diagnosis of Alzheimer's disease: report of the NINCDS-ADRDA Work Group under the auspices of Department of Health and Human Services Task Force on Alzheimer's Disease. *Neurology*, 34(7), 939-944.
- McKhann, G. M., Knopman, D. S., Chertkow, H., Hyman, B. T., Jack, C. R., Jr., Kawas, C. H., Klunk, W. E., Koroshetz, W. J., Manly, J. J., Mayeux, R., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rossor, M. N., Scheltens, P., Carrillo, M. C., Thies, B., Weintraub, S., & Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia* 7(3), 263-269. doi:10.1016/j.jalz.2011.03.005
- McMillan, C. T., Rascovsky, K., Khella, M. C., Clark, R., & Grossman, M. (2012). The neural basis for establishing a focal point in pure coordination games. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(8), 881-887. doi:10.1093/scan/nsr070
- Meinzer, M., Antonenko, D., Lindenberg, R., Hetzer, S., Ulm, L., Avirame, K., Flaisch, T., & Flöel, A. (2012). Electrical brain stimulation improves cognitive performance by modulating functional connectivity and task-specific activation. *Journal of Neuroscience*, 32(5), 1859-1866.
- Meinzer, M., Lindenberg, R., Antonenko, D., Flaisch, T., & Floel, A. (2013). Anodal transcranial direct current stimulation temporarily reverses age-associated cognitive decline and functional brain activity changes. *Journal of Neuroscience*, 33(30), 12470-12478. doi:10.1523/jneurosci.5743-12.2013
- Melloni, M., Billeke, P., Baez, S., Hesse, E., de la Fuente, L., Forno, G., Birba, A., García-Cordero, I., Serrano, C., Plastino, A., Slachevsky, A., Huepe, D., Sigman, M., Manes, F., García, A. M., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (2016). Your perspective and my benefit: multiple lesion models of self-other integration strategies during social bargaining. *Brain*. doi:10.1093/brain/aww231
- Melloni, M., Sedeño, L., Hesse, E., García-Cordero, I., Mikulan, E., Plastino, A., Marcotti, A., López, J. D., Bustamante, C., & Lopera, F. (2015). Cortical dynamics and subcortical signatures of motor-language coupling in Parkinson's disease. *Scientific Reports*, 5, 11899.
- Mestre, D., Blin, O., Serratrice, G., & Pailhous, J. (1990). Spatiotemporal contrast sensitivity differs in normal aging and Parkinson's disease. *Neurology*, 40(11), 1710-1710.
- Mišić, B., & Sporns, O. (2016). From regions to connections and networks: new bridges between brain and behavior. *Current Opinion in Neurobiology*, 40, 1-7.
- Monaco, E., Jost, L. B., Gygax, P. M., & Annoni, J.-M. (2019). Embodied semantics in a second language: critical review and clinical implications. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(110). doi:10.3389/fnhum.2019.00110
- Moreno, I., de Vega, M., & León, I. (2013). Understanding action language modulates oscillatory mu and beta rhythms in the same way as observing actions. *Brain and Cognition*, 82(3), 236-242.
- Moreno, I., De Vega, M., León, I., Bastiaansen, M., Lewis, A. G., & Magyari, L. (2015). Brain dynamics in the comprehension of action-related language. A time-frequency analysis of mu rhythms. *NeuroImage*, 109, 50-62.



- Moretti, L., Dragone, D., & Di Pellegrino, G. (2009). Reward and social valuation deficits following ventromedial prefrontal damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(1), 128-140.
- Morris, L. S., Kundu, P., Dowell, N., Mechelmans, D. J., Favre, P., Irvine, M. A., Robbins, T. W., Daw, N., Bullmore, E. T., & Harrison, N. A. (2016). Frontostriatal organization: defining functional and microstructural substrates of behavioural flexibility. *Cortex*, *74*, 118-133.
- Mychack, P., Kramer, J., Boone, K., & Miller, B. (2001). The influence of right frontotemporal dysfunction on social behavior in frontotemporal dementia. *Neurology*, *56*(suppl 4), S11-S15.
- Nashmi, R., Mendonça, A. J., & MacKay, W. A. (1994). EEG rhythms of the sensorimotor region during hand movements. *Electroencephalography clinical neurophysiology*, *91*(6), 456-467.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bedirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, *53*(4), 695-699. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x
- Neary, D., Snowden, J. S., Gustafson, L., Passant, U., Stuss, D., Black, S., Freedman, M., Kertesz, A., Robert, P. H., Albert, M., Boone, K., Miller, B. L., Cummings, J., & Benson, D. F. (1998). Frontotemporal lobar degeneration: a consensus on clinical diagnostic criteria. *Neurology*, *51*(6), 1546-1554.
- Neuper, C., Grabner, R. H., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2005a). Long-term stability and consistency of EEG event-related (de-) synchronization across different cognitive tasks. *Electroencephalography clinical neurophysiology*, *116*(7), 1681-1694.
- Neuper, C., Scherer, R., Reiner, M., & Pfurtscheller, G. (2005b). Imagery of motor actions: Differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. *Cognitive Brain Research* *25*(3), 668-677.
- Nevler, N., Ash, S., Jester, C., Irwin, D. J., Liberman, M., & Grossman, M. (2017). Automatic measurement of prosody in behavioral variant FTD. *Neurology*, *89*(7), 650-656. doi:10.1212/wnl.0000000000004236
- Nichols, T. E., Das, S., Eickhoff, S. B., Evans, A. C., Glatard, T., Hanke, M., Kriegeskorte, N., Milham, M. P., Poldrack, R. A., & Poline, J.-B. (2017). Best practices in data analysis and sharing in neuroimaging using MRI. *Nature Neuroscience*, *20*(3), 299.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, *527*(3), 633-639.
- Nitsche, M. A., Schauenburg, A., Lang, N., Liebetanz, D., Exner, C., Paulus, W., & Tergau, F. (2003). Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(4), 619-626.
- Nitsche, M. A., Seeber, A., Frommann, K., Klein, C. C., Rochford, C., Nitsche, M. S., Fricke, K., Liebetanz, D., Lang, N., & Antal, A. (2005). Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *The Journal of physiology*, *568*(1), 291-303.
- Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine? *Nature biotechnology*, *24*(12), 1565-1567.
- Norel, R., Agurto, C., Heisig, S., Rice, J., Zhang, H., Ostrand, R., Wacnik, P., Ho, B., Ramos, V., & Cecchi, G. (2020). Speech-based characterization of dopamine

- replacement therapy in people with Parkinson's disease. *npj Parkinson's Disease*, 6(1), 1-8.
- Núñez, H., Angulo, C., & Català, A. (2002). *Rule extraction from support vector machines*. Paper presented at the Esann.
- O'Callaghan, C., Bertoux, M., Irish, M., Shine, J. M., Wong, S., Spiliopoulos, L., Hodges, J. R., & Hornberger, M. (2016). Fair play: social norm compliance failures in behavioural variant frontotemporal dementia. *Brain*, 139(1), 204-216.
- Oh, T. M., Graham, S., Ng, P., Yeh, B. I., Chan, B. P., & Edwards, A. M. (2019). Age and proficiency in the bilingual brain revisited: Activation patterns across different L2-learner types. *Frontiers in Communication*, 4, 39.
- Ojemann, G. A., & Whitaker, H. A. (1978). The bilingual brain. *Archives of Neurology*, 35, 409-412.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. doi:[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Olson, G. M., Duffy, S. A., & Mack, R. L. (2018). Thinking-out-loud as a method for studying 11 real-time comprehension processes. *New methods in reading comprehension research*, 253.
- Orozco-Aroyave, J. R., Vásquez-Correa, J. C., Vargas-Bonilla, J. F., Arora, R., Dehak, N., Nidadavolu, P. S., Christensen, H., Rudzicz, F., Yancheva, M., Chinaei, H., Vann, A., Vogler, N., Bocklet, T., Cernak, M., Hannink, J., & Nöth, E. (2018). NeuroSpeech: An open-source software for Parkinson's speech analysis. *Digital Signal Processing*, 77, 207-221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.07.004>
- Papeo, L., Lingnau, A., Agosta, S., Pascual-Leone, A., Battelli, L., & Caramazza, A. (2014). The origin of word-related motor activity. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1668-1675.
- Papeo, L., Pascual-Leone, A., & Caramazza, A. (2013). Disrupting the brain to validate hypotheses on the neurobiology of language. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 148.
- Papeo, L., Vallesi, A., Isaja, A., & Rumiati, R. I. (2009). Effects of TMS on different stages of motor and non-motor verb processing in the primary motor cortex. *PLoS one*, 4(2), e4508.
- Paradis, M. (1989). Bilingual and polyglot aphasia. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 2, pp. 117-140). Amsterdam: Elsevier.
- Paradis, M. (2009). *Declarative and procedural determinants of second languages*. Amsterdam: John Benjamins.
- Pascual-Leone, A., Walsh, V., & Rothwell, J. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience—virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 232-237.
- Pavlenko, A. (2012). Affective processing in bilingual speakers: disembodied cognition? *International Journal of Psychology*, 47(6), 405-428. doi:10.1080/00207594.2012.743665
- Pell, M. D., & Leonard, C. L. (2005). Facial expression decoding in early Parkinson's disease. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 327-340.
- Péran, P., Cardebat, D., Cherubini, A., Piras, F., Luccichenti, G., Peppe, A., Caltagirone, C., Rascol, O., Démonet, J.-F., & Sabatini, U. (2009). Object naming and action-verb generation in Parkinson's disease: a fMRI study. *Cortex*, 45(8), 960-971.
- Perdikis, D., Volhard, J., Müller, V., Kaulard, K., Brick, T. R., Wallraven, C., & Lindenberger, U. (2017). Brain synchronization during perception of facial emotional expressions with natural and unnatural dynamics. *PLoS one*, 12(7).

- Pfurtscheller, G., Brunner, C., Schlögl, A., & Da Silva, F. L. (2006). Mu rhythm (de) synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *NeuroImage*, *31*(1), 153-159.
- Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neurosciences Letters*, *239*(2-3), 65-68. doi:10.1016/s0304-3940(97)00889-6
- Picton, T., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S., Johnson, R., Miller, G., Ritter, W., Ruchkin, D., & Rugg, M. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, *37*(2), 127-152.
- Piguet, O., Hornberger, M., Mioshi, E., & Hodges, J. R. (2011). Behavioural-variant frontotemporal dementia: diagnosis, clinical staging, and management. *The Lancet Neurology*, *10*(2), 162-172. doi:10.1016/S1474-4422(10)70299-4
- Poldrack, R. A., Baker, C. I., Durnez, J., Gorgolewski, K. J., Matthews, P. M., Munafò, M. R., Nichols, T. E., Poline, J.-B., Vul, E., & Yarkoni, T. (2017). Scanning the horizon: towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nature Reviews Neuroscience*, *18*(2), 115.
- Potgieser, A. R., van der Hoorn, A., Meppelink, A. M., Teune, L. K., Koerts, J., & de Jong, B. M. (2014). Anterior temporal atrophy and posterior progression in patients with Parkinson's disease. *Neurodegenerative Diseases*, *14*(3), 125-132.
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(7), 576-582.
- Pulvermüller, F. (2013a). How neurons make meaning: brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(9), 458-470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.004>
- Pulvermüller, F. (2013b). Semantic embodiment, disembodiment or misembodiment? In search of meaning in modules and neuron circuits. *Brain and Language*, *127*(1), 86-103. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2013.05.015>
- Pulvermüller, F. (2018). Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication. *Progress in neurobiology*, *160*, 1-44.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(5), 351-360. doi:10.1038/nrn2811
- Pulvermüller, F., Härle, M., & Hummel, F. (2001). Walking or talking?: Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain Language and Cognitive Processes*, *78*(2), 143-168.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, *21*(3), 793-797.
- Ralph, M. A. L., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, *18*(1), 42.
- Raposo, A., Moss, H. E., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2009). Modulation of motor and premotor cortices by actions, action words and action sentences. *Neuropsychologia*, *47*(2), 388-396.
- Rascovsky, K., Hodges, J. R., Knopman, D., Mendez, M. F., Kramer, J. H., Neuhaus, J., Van Swieten, J. C., Seelaar, H., Dopper, E. G. P., Onyike, C. U., & others. (2011). Sensitivity of revised diagnostic criteria for the behavioural variant of frontotemporal dementia. *Brain*, *134*(9), 2456-2477.

- Reis, J., & Fritsch, B. (2011). Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. *Current Opinion in Neurology*, 24(6), 590-596.
- Reiterer, S., Hemmelmann, C., Rappelsberger, P., & Berger, M. L. (2005). Characteristic functional networks in high-versus low-proficiency second language speakers detected also during native language processing: an explorative EEG coherence study in 6 frequency bands. *Cognitive Brain Research*, 25(2), 566-578.
- Rice, G. E., & Hoffman, P. (2018). Concrete versus abstract forms of social concept: an fMRI comparison of knowledge about people versus social terms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1752). doi:10.1098/rstb.2017.0136
- Rizzolatti, G., & Luppino, G. (2001). The cortical motor system. *Neuron*, 31(6), 889-901.
- Roche, N., Geiger, M., & Bussel, B. (2015). Mechanisms underlying transcranial direct current stimulation in rehabilitation. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58(4), 214-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.04.009>
- Rodrigo, M. J., Padrón, I., De Vega, M., & Ferstl, E. C. (2014). Adolescents' risky decision-making activates neural networks related to social cognition and cognitive control processes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 60.
- Rodriguez-Oroz, M. C., Jahanshahi, M., Krack, P., Litvan, I., Macias, R., Bezard, E., & Obeso, J. A. (2009). Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: features and pathophysiological mechanisms. *The Lancet Neurology*, 8(12), 1128-1139.
- Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2004). *Semantic cognition: A parallel distributed processing approach*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Rorden, C., Karnath, H.-O., & Bonilha, L. (2007). Improving lesion-symptom mapping. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(7), 1081-1088.
- Sabourin, L., Brien, C., & Burkholder, M. (2014). The effect of age of L2 acquisition on the organization of the bilingual lexicon: Evidence from masked priming. *Bilingualism: Language and Cognition*, 17(3), 542-555.
- Saiote, C., Tacchino, A., Bricchetto, G., Roccatagliata, L., Bommarito, G., Cordano, C., Battaglia, M., Mancardi, G. L., & Inglese, M. (2016). Resting-state functional connectivity and motor imagery brain activation. *Human Brain Mapping*, 37(11), 3847-3857.
- Santamaria-García, H., Baez, S., Reyes, P., Santamaria-García, J. A., Santacruz-Escudero, J. M., Matallana, D., Arevalo, A., Sigman, M., García, A. M., & Ibáñez, A. (2017). A lesion model of envy and Schadenfreude: legal, deservingness and moral dimensions as revealed by neurodegeneration. *Brain*. doi:10.1093/brain/awx269
- Santilli, M., Vilas, M. G., Mikulan, E., Martorell Caro, M., Muñoz, E., Sedeño, L., Ibáñez, A., & García, A. M. (2018). Bilingual memory, to the extreme: Lexical processing in simultaneous interpreters. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1-18. doi:10.1017/S1366728918000378
- Saxon, J. A., Thompson, J. C., Jones, M., Harris, J. M., Richardson, A. M., Langheinrich, T., Neary, D., Mann, D. M., & Snowden, J. S. (2017). Examining the language and behavioural profile in FTD and ALS-FTD. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 88(8), 675-680. doi:10.1136/jnnp-2017-315667
- Schilhaf, T., Stjernfelt, F., & Deacon, T. (2012). *The symbolic species evolved* (Vol. 6): Springer Science & Business Media.
- Sedeño, L., Couto, B., García-Cordero, I., Melloni, M., Baez, S., Morales Sepulveda, J. P., Fraiman, D., Huepe, D., Hurtado, E., Matallana, D., Kuljis, R., Torralva, T., Chialvo, D., Sigman, M., Piguet, O., Manes, F., & Ibáñez, A. (2016). Brain

- Network Organization and Social Executive Performance in Frontotemporal Dementia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 22(2), 250-262. doi:10.1017/S1355617715000703
- Seeley, W. W. (2009). Frontotemporal dementia neuroimaging: a guide for clinicians. *Frontiers of Neurology and Neuroscience*, 24, 160-167. doi:10.1159/000197895
- Seghier, M. L. (2013). The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions. *Neuroscientist*, 19(1), 43-61. doi:10.1177/1073858412440596
- Sharma, N., & Baron, J.-C. (2013). Does motor imagery share neural networks with executed movement: a multivariate fMRI analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 564.
- Silveri, M. C., Salvigni, B. L., Cappa, A., Della Vedova, C., & Puopolo, M. (2003). Impairment of verb processing in frontal variant-frontotemporal dementia: a dysexecutive symptom. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 16(4), 296-300.
- Sollberger, M., Stanley, C. M., Wilson, S. M., Gyurak, A., Beckman, V., Growdon, M., Jang, J., Weiner, M. W., Miller, B. L., & Rankin, K. P. (2009). Neural basis of interpersonal traits in neurodegenerative diseases. *Neuropsychologia*, 47(13), 2812-2827.
- Sparing, R., Dafotakis, M., Meister, I. G., Thirugnanasambandam, N., & Fink, G. R. (2008). Enhancing language performance with non-invasive brain stimulation—a transcranial direct current stimulation study in healthy humans. *Neuropsychologia*, 46(1), 261-268.
- Stagg, C., Jayaram, G., Pastor, D., Kincses, Z., Matthews, P., & Johansen-Berg, H. (2011). Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. *Neuropsychologia*, 49(5), 800-804.
- Sun, H., Blakely, T. M., Darvas, F., Wander, J. D., Johnson, L. A., Su, D. K., Miller, K. J., Fetz, E. E., & Ojemann, J. G. (2015). Sequential activation of premotor, primary somatosensory and primary motor areas in humans during cued finger movements. *Clinical Neurophysiology*, 126(11), 2150-2161.
- Sun, X., & Xu, W. (2014). Fast implementation of DeLong's algorithm for comparing the areas under correlated receiver operating characteristic curves. *IEEE Signal Processing Letters*, 21(11), 1389-1393.
- Szigrist Pazos, F. (1993). *Sistemas de legibilidad del mensaje escrito: fórmula de perspicuidad*. (Ph.D.), Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Szigrist Pazos, F. (1993). *Sistemas predictivos de legibilidad del mensaje escrito: fórmula de perspicuidad*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones,
- Tabrizi, S. J., Langbehn, D. R., Leavitt, B. R., Roos, R. A., Durr, A., Craufurd, D., Kennard, C., Hicks, S. L., Fox, N. C., & Scahill, R. I. (2009). Biological and clinical manifestations of Huntington's disease in the longitudinal TRACK-HD study: cross-sectional analysis of baseline data. *The Lancet Neurology*, 8(9), 791-801.
- Tahaei, M. S., Jalili, M., & Knyazeva, M. G. (2012). Synchronizability of EEG-based functional networks in early Alzheimer's disease. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(5), 636-641.
- Tavares, R. M., Mendelsohn, A., Grossman, Y., Williams, C. H., Shapiro, M., Trope, Y., & Schiller, D. (2015). A map for social navigation in the human brain. *Neuron*, 87(1), 231-243.

- Team, R. C. (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Austria, 2015. In: ISBN 3-900051-07-0: URL <http://www.R-project.org>.
- Tekin, S., & Cummings, J. L. (2002). Frontal–subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry: an update. *Journal of Psychosomatic Research*, 53(2), 647-654.
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., Fazio, F., Rizzolatti, G., Cappa, S. F., & Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 273-281.
- Tomasino, B., Fink, G. R., Sparing, R., Dafotakis, M., & Weiss, P. H. (2008). Action verbs and the primary motor cortex: a comparative TMS study of silent reading, frequency judgments, and motor imagery. *Neuropsychologia*, 46(7), 1915-1926.
- Tomasino, B., Guatto, E., Rumiati, R. I., & Fabbro, F. (2012). The role of volleyball expertise in motor simulation. *Acta Psychologica*, 139(1), 1-6.
- Tomasino, B., Maieron, M., Guatto, E., Fabbro, F., & Rumiati, R. I. (2013). How are the motor system activity and functional connectivity between the cognitive and sensorimotor systems modulated by athletic expertise? *Brain Research*, 1540, 21-41.
- Tomoschuk, B., Ferreira, V. S., & Gollan, T. H. (2018). When a seven is not a seven: Self-ratings of bilingual language proficiency differ between and within language populations. *Bilingualism: Language and Cognition*, 22(3), 516-536. doi:10.1017/S1366728918000421
- Torralva, T., Roca, M., Gleichgerrcht, E., Lopez, P., & Manes, F. (2009). INECO Frontal Screening (IFS): a brief, sensitive, and specific tool to assess executive functions in dementia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15(5), 777-786. doi:10.1017/S1355617709990415
- Tremblay, P., & Dick, A. S. (2016). Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology. *Brain language and Cognitive Processes*, 162, 60-71.
- Trevisan, P., & García, A. M. (2019). Systemic functional grammar as a tool for experimental stimulus design: new applicable horizons in psycholinguistics and neurolinguistics. *Language Science*, 75, 35-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.langsci.2019.101237>
- Trevisan, P., Sedeño, L., Birba, A., Ibáñez, A., & García, A. M. (2017). A moving story: Whole-body motor training selectively improves the appraisal of action meanings in naturalistic narratives. *Scientific Reports*, 7(1), 12538. doi:10.1038/s41598-017-12928-w
- Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., Mazoyer, B., & Joliot, M. (2002). Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *NeuroImage*, 15(1), 273-289. doi:10.1006/nimg.2001.0978
- Tzourio-Mazoyer, N., Perrone-Bertolotti, M., Jobard, G., Mazoyer, B., & Baciú, M. J. C. (2017). Multi-factorial modulation of hemispheric specialization and plasticity for language in healthy and pathological conditions: A review. *Cortex*, 86, 314-339.
- Ullman, M. T. (2001a). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: the declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 105-122.
- Ullman, M. T. J. J. o. p. r. (2001b). The declarative/procedural model of lexicon and grammar. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(1), 37-69.

- Urgen, B. A., Plank, M., Ishiguro, H., Poizner, H., & Saygin, A. P. (2013). EEG theta and mu oscillations during perception of human and robot actions. *Frontiers in Neurobotics*, 7, 19.
- Vahdat, S., Darainy, M., Milner, T. E., & Ostry, D. J. (2011). Functionally specific changes in resting-state sensorimotor networks after motor learning. *Journal of Neuroscience*, 31(47), 16907-16915.
- Van Dam, W. O., Rueschemeyer, S.-A., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects in embodied lexical-semantic processing. *Frontiers in Psychology*, 1, 150.
- van Ede, F., Chekroud, S. R., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2019). Concurrent visual and motor selection during visual working memory guided action. *Nature Neuroscience*, 22(3), 477-483. doi:10.1038/s41593-018-0335-6
- van Elk, M., van Schie, H. T., Zwaan, R. A., & Bekkering, H. (2010). The functional role of motor activation in language processing: motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. *NeuroImage*, 50(2), 665-677.
- Veltman, D. J., Rombouts, S. A., & Dolan, R. J. (2003). Maintenance versus manipulation in verbal working memory revisited: an fMRI study. *NeuroImage*, 18(2), 247-256.
- Vicario, C. M., & Rumiati, R. I. (2012). tDCS of the primary motor cortex improves the detection of semantic dissonance. *Neuroscience Letters*, 518(2), 133-137.
- Vigliocco, G., Vinson, D. P., Druks, J., Barber, H., & Cappa, S. F. (2011). Nouns and verbs in the brain: a review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 407-426.
- Vilas, M. G., Santilli, M., Mikulan, E., Adolphi, F., Caro, M. M., Manes, F., Herrera, E., Sedeño, L., Ibáñez, A., & García, A. M. (2019). Reading Shakespearean tropes in a foreign tongue: Age of L2 acquisition modulates neural responses to functional shifts. *Neuropsychologia*, 124, 79-86.
- Vingerhoets, G., De Lange, F. P., Vandemaële, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor imagery in mental rotation: an fMRI study. *NeuroImage*, 17(3), 1623-1633.
- Vukovic, N. (2013). *When words get physical: evidence for proficiency-modulated somatotopic motor interference during second language comprehension*. Paper presented at the Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society <https://mindmodeling.org/cogsci2013/papers/0657/index.html>
- Vukovic, N., Feurra, M., Shpektor, A., Myachykov, A., & Shtyrov, Y. (2017). Primary motor cortex functionally contributes to language comprehension: An online rTMS study. *Neuropsychologia*, 96, 222-229.
- Vukovic, N., & Shtyrov, Y. (2014). Cortical motor systems are involved in second-language comprehension: Evidence from rapid mu-rhythm desynchronisation. *NeuroImage*, 102, 695-703.
- Weil, R. S., Schrag, A. E., Warren, J. D., Crutch, S. J., Lees, A. J., & Morris, H. R. (2016). Visual dysfunction in Parkinson's disease. *Brain*, 139(11), 2827-2843.
- Whitwell, J. L., Dickson, D. W., Murray, M. E., Weigand, S. D., Tosakulwong, N., Senjem, M. L., Knopman, D. S., Boeve, B. F., Parisi, J. E., Petersen, R. C., Jack, C. R., Jr., & Josephs, K. A. (2012). Neuroimaging correlates of pathologically defined subtypes of Alzheimer's disease: a case-control study. *The Lancet Neurology*, 11(10), 868-877. doi:10.1016/S1474-4422(12)70200-4
- Wiethoff, S., Hamada, M., & Rothwell, J. C. (2014). Variability in response to transcranial direct current stimulation of the motor cortex. *Brain Stimulation*, 7(3), 468-475.
- Willems, R. M., Labruna, L., D'Esposito, M., Ivry, R., & Casasanto, D. (2011). A functional role for the motor system in language understanding: evidence from

- theta-burst transcranial magnetic stimulation. *Psychological Science*, 22(7), 849-854.
- Wu, J., Srinivasan, R., Kaur, A., & Cramer, S. C. J. N. (2014). Resting-state cortical connectivity predicts motor skill acquisition. *NeuroImage*, 91, 84-90.
- Wu, T., & Hallett, M. (2013). The cerebellum in Parkinson's disease. *Brain*, 136(3), 696-709.
- Wurm, M. F., & Caramazza, A. (2019). Distinct roles of temporal and frontoparietal cortex in representing actions across vision and language. *Nature Communications*, 10(1), 289.
- Xue, J., Marmolejo-Ramos, F., & Pei, X. (2015). The linguistic context effects on the processing of body-object interaction words: An ERP study on second language learners. *Brain Research*, 1613, 37-48.
- Yin, J., Ding, X., Xu, H., Zhang, F., & Shen, M. (2017). Social coordination information in dynamic chase modulates EEG mu rhythm. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9.
- Yoris, A., Abrevaya, S., Esteves, S., Salamone, P., Lori, N., Martorell, M., Legaz, A., Alifano, F., Petroni, A., Sanchez, R., Sedeño, L., García, A. M., & Ibáñez, A. (2018). Multilevel convergence of interoceptive impairments in hypertension: New evidence of disrupted body-brain interactions. *Human Brain Mapping*, 39(4), 1563-1581. doi:10.1002/hbm.23933
- Yoris, A., García, A. M., Traiber, L., Santamaría-García, H., Martorell, M., Alifano, F., Kichic, R., Moser, J. S., Cetkovich, M., & Manes, F. (2017). The inner world of overactive monitoring: neural markers of interoception in obsessive-compulsive disorder. *Psychological Medicine*, 47(11), 1957-1970.
- Zhang, Z., Wu, Y., Li, Z., He, S., & Zhao, H. (2018). I know what you want: Semantic learning for text comprehension. *arXiv preprint arXiv:1802.02794*.
- Ziemann, U., & Siebner, H. R. (2008). Modifying motor learning through gating and homeostatic metaplasticity. *Brain Stimulation*, 1(1), 60-66.
- Zou, Q., Miao, X., Liu, D., Wang, D. J., Zhuo, Y., & Gao, J.-H. (2015). Reliability comparison of spontaneous brain activities between BOLD and CBF contrasts in eyes-open and eyes-closed resting states. *NeuroImage*, 121, 91-105.
- Zwaan, R. A. (2014). Embodiment and language comprehension: Reframing the discussion. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 229-234.



# **ANEXO**

# Índice

## ANEXO I

<b>Material suplementario del Capítulo IV</b>	<b>125</b>
1.1 Textos y cuestionarios utilizados en el estudio I	125

## ANEXO II

<b>Material suplementario del Capítulo V</b>	<b>137</b>
2.1. Estimación del tamaño de la muestra	137
2.2. Textos utilizados en la tarea de L1	137
2.3. Textos utilizados en la tarea de L2	138
2.4. Distribución topográfica de los Rdl basados en el análisis de clúster y en las hipótesis específicas	139
2.5. Correlaciones control entre la hiper-conectividad del TA-L2 y la competencia en L2	139
2.6. Correlaciones control entre la hiper-conectividad de TA-L2 y edad de apropiación de L2	140

## ANEXO III

<b>Material suplementario del capítulo VI</b>	<b>141</b>
3.1. Estimación del tamaño de la muestra	141
3.2. Resultados de atrofia	141
3.3. Textos naturalistas y cuestionarios utilizados en el estudio 3	142
3.4. Información demográfica de las submuestras de RMN y RMNf	153
3.5. Adquisición y preprocesamiento de datos de RMN	153
3.5.1. Parámetros específicos de adquisición de neuroimágenes por centro	153
3.5.2. Preprocesamiento de los datos de RMN	154
3.5.3. Preprocesamiento de los datos de RMNf	155
3.6. Métodos de hd-EEG.	156
3.7. Resultados suplementarios del análisis intra-textual	156
3.8. Resultados suplementarios del análisis intra-textual covariado por memoria de trabajo	158
3.9. Resultados suplementarios del análisis inter-texto	159
3.10. Resultados suplementarios del análisis inter-texto covariado por memoria de trabajo	15960
3.11. Asociaciones entre los puntajes totales de cada texto y el volumen de SG calculado con MBV.	161
3.11.1. Pacientes con enfermedad de Parkinson y controles sanos.	161
3.11.2. Pacientes con vcDFT y controles sanos.	161
3.11.3. Pacientes con enfermedad de Alzheimer y controles sanos.	163
3.12. Resultados complementarios de FCr-RMNf	165
3.12.1. Pacientes con enfermedad de Parkinson y controles sanos	165
3.12.2. Pacientes con vcDFT y controles sanos	166
3.12.3. Pacientes con enfermedad de Alzheimer y controles sanos	166
3.13. Resultados suplementarios de FCr en hd-EEG	167
<b>Referencias suplementarias</b>	<b>168</b>
	124

## Anexo I

### Material suplementario del Capítulo IV

#### 1.1. Textos y cuestionarios utilizados en el estudio I

**Texto de acción 1:** Sábado por la tarde. ¡El momento favorito de Juancito en toda la semana! Tomó a sus padres de la mano y juntos corrieron hasta la plazoleta. Al lado de las hamacas, un grupo de niños aplaudía las ocurrencias de un colorido payaso. Juancito corrió velozmente hacia el lugar donde el payaso saltaba y bailaba sin cesar. Al terminar el espectáculo, el payaso escribió su nombre en el pavimento. ¡Qué sorpresa! ¡También se llamaba Juan! Luego, entre toda la muchedumbre, Juancito caminó hacia el banco donde se sentaron sus padres. Abrazó a su padre con mucha fuerza y le jaló la camisa para que se levantara. ¡Era hora de jugar al fútbol! Juancito tomó la pelota y la puso en el césped. Su padre se movía de izquierda a derecha, en posición de arquero. Juancito pateó y... ¡gol! De repente salió el sol. Juancito se sacó el suéter y lo apoyó en el banco. Luego, su madre se acercó y le entregó un chocolate. Se lo comió de un bocado. Como siempre, al terminarlo, arrojó el envoltorio en el basurero. Había sido una intensa jornada. Se sentía muy cansado. Ya en la falda de su madre, mientras se limpiaba los restos de golosina de la boca, se quedó dormido.

#### Cuestionario texto de acción 1

1. ¿Cómo llegaron Juancito y sus padres a la plazoleta?	1. Caminando
	2. Corriendo
	3. Saltando
	4. Patinando
	5. No recuerdo
2. ¿Cuándo fue Juancito a la plazoleta?	1. Domingo por la tarde
	2. Viernes por la tarde
	3. Sábado por la mañana
	4. Sábado por la tarde
	5. No recuerdo
3. ¿Qué hacían los niños al lado de las hamacas?	1. Aplaudían
	2. Jugaban
	3. Saltaban

	4. Miraban
	5. No recuerdo
4. ¿Dónde estaban los niños que rodeaban al payaso?	1. Al lado de la fuente
	2. Al lado de las canchas
	3. Al lado de las hamacas
	4. Al lado del tobogán
	5. No recuerdo
5. ¿Qué hacía el payaso cuando Juancito corrió hacia él?	1. Cantaba y bailaba
	2. Jugaba y bailaba
	3. Gritaba y saltaba
	4. Saltaba y bailaba
	5. No recuerdo
6. ¿Cómo corrió Juancito hasta el payaso?	1. Felizmente
	2. Velozmente
	3. Apresuradamente
	4. Alegrementemente
	5. No recuerdo
7. ¿Qué hizo el payaso al terminar el show?	1. Pintó
	2. Dibujó
	3. Escribió
	4. Garabateó
	5. No recuerdo
8. ¿Dónde estaba el nombre del payaso?	1. En el pavimento
	2. En la pared
	3. En la arena
	4. En una piedra
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Juancito después del acto del payaso?	1. Caminó hacia sus padres
	2. Corrió hacia sus padres
	3. Fue hacia sus padres
	4. Marchó hacia sus padres
	5. No recuerdo

10. ¿Cómo abrazó Juancito a su padre?	1. Con amor
	2. Con cariño
	3. Con miedo
	4. Con fuerza
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hizo Juancito con la pelota?	1. La empujó
	2. La lanzó
	3. La tiró
	4. La tomó
	5. No recuerdo
12. ¿Cómo se movía el padre de Juancito al jugar al fútbol?	1. De derecha a izquierda
	2. De arriba a abajo
	3. De izquierda a derecha
	4. De abajo a arriba
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hizo Juancito con el suéter?	1. Se lo compró
	2. Se lo jaló
	3. Se lo arrancó
	4. Se lo sacó
	5. No recuerdo
14. ¿Dónde apoyó Juancito el suéter?	1. En el banco
	2. En el piso
	3. En la mesa
	4. En la silla
	5. No recuerdo
15. ¿Qué hizo Juancito con el chocolate?	1. Lo masticó
	2. Lo saboreó
	3. Lo comió
	4. Lo disfrutó
	5. No recuerdo
16. ¿Cómo comió el chocolate Juancito?	1. De un bocado
	2. De a poco

	3. De un mordisco
	4. De varios bocados
	5. No recuerdo
17. ¿Qué hizo con el envoltorio?	1. Lo arrojó al piso
	2. Lo arrojó en el basurero
	3. Lo guardó
	4. Lo arrojó a la calle
	5. No recuerdo
18. ¿Cuándo hizo lo anterior con el envoltorio del chocolate?	1. Al abrirlo
	2. Al comerlo
	3. Al romperlo
	4. Al terminarlo
	5. No recuerdo
19. ¿Qué hacía Juancito en la falda de su madre?	1. Se comía los restos de golosina
	2. Se sacaba los restos de golosina
	3. Se limpiaba los restos de golosina
	4. Se lavaba los restos de golosina
	5. No recuerdo
20. ¿Dónde tenía restos de golosina Juancito?	1. En la cara
	2. En la boca
	3. En la ropa
	4. En las manos
	5. No recuerdo

**Texto de no acción 1:** La noche recién comenzaba. Alberto estaba eufórico. ¡Gracias a Dios por los fines de semana! A unas pocas cuadras, la discoteca. Sus amigos lo aguardaban allí y juntos compartirían un buen momento. Al cruzar la calle, Alberto leyó el nombre de la discoteca en un cartel: “Ni jefe ni reloj”. Siempre lo ponía de buen humor. Una vez adentro, lo encandilaron las luces. Sintió calor y se encontró muy transpirado. Al lado del bar, un grupo de mujeres se entretenía con las ocurrencias de su amigo, Mario. Las muchachas se reían sin pausa junto a ese joven que bromeaba e inventaba personajes. Luego, entre toda la gente, Alberto reconoció a su novia, Elsa. Ella lo esperaba en una

silla. Desde atrás, Alberto le preguntó si le gustaba la música. “¡Por supuesto!”, respondió Elsa. Aunque ella tenía sueño, Alberto le insistió para que lo acompañara a la pista. ¡Era hora de disfrutar la música! Como siempre, al decidirse, Elsa se olvidó la cartera en la silla. Alberto escuchó su canción favorita y se entusiasmó mucho. Elsa, fiel compañera, lo ayudó a recordar la letra. ¡Qué buen equipo! De regreso en su casa, mientras sentía el sudor y el cansancio en el cuerpo, se quedó dormido.

### Cuestionario texto de no acción 1

1. ¿Qué hacían los amigos de Alberto en la discoteca?	1. Lo aguardaban
	2. Lo llamaban
	3. Lo cargaban
	4. Lo invitaban
	5. No recuerdo
2. ¿Cuándo fue Alberto a la discoteca?	1. A la madrugada
	2. A la medianoche
	3. A la noche
	4. A la tarde
	5. No recuerdo
3. ¿Cómo se sentían las mujeres que escuchaban a Mario?	1. Avergonzadas
	2. Contentas
	3. Entretenidas
	4. Excitadas
	5. No recuerdo
4. ¿Dónde estaban las mujeres que rodeaban a Mario?	1. Al lado de la mesa
	2. Al lado del bar
	3. Al lado del escenario
	4. Al lado de la entrada
	5. No recuerdo
5. ¿Qué hacía Mario con las muchachas?	1. Bromeaba e imitaba personajes
	2. Bromeaba e inventaba personajes
	3. Cantaba e imitaba cantantes
	4. Bailaba e imitaba bailarines
	5. No recuerdo
6. ¿Cómo se reían las muchachas en torno a Mario?	1. Con fuerza
	2. Con vergüenza
	3. Con ganas
	4. Sin parar
	5. No recuerdo
7. ¿Qué hizo Alberto antes de ingresar a la discoteca?	1. Esquivó un cartel
	2. Leyó un cartel
	3. Movié un cartel
	4. Miró un cartel
	5. No recuerdo
	1. En la puerta
	2. En calle

8. ¿Dónde estaba el nombre de la discoteca?	3. En la pared
	4. En un cartel
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Alberto con su novia a la distancia?	1. La vigiló
	2. La miró
	3. La llamó
	4. La reconoció
	5. No recuerdo
10. ¿Cuándo se dirigió Alberto hacia su novia?	1. Antes de escuchar su canción favorita
	2. Antes de ver a Mario
	3. Después de escuchar su canción favorita
	4. Después de ver a Mario
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hizo Alberto para sacar a bailar a su novia?	1. Le pidió
	2. Le insistió
	3. Le imploró
	4. Le rogó
	5. No recuerdo
12. ¿Adónde quería Alberto que lo acompañara su novia?	1. A la barra
	2. Al escenario
	3. A la pista
	4. A afuera
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hizo Alberto para entusiasmarse mucho?	1. Cantó su canción
	2. Bailó su canción
	3. Escuchó su canción
	4. Recordó su canción
	5. No recuerdo
14. ¿Por qué se encontró muy transpirado?	1. Porque besó a su novia
	2. Porque bailó mucho
	3. Porque sintió calor
	4. Porque sintió vergüenza
	5. No recuerdo
15. ¿Qué le preguntó Alberto a Elsa?	1. Si conocía la canción
	2. Si le gustaba la canción
	3. Si le gustaba la música
	4. Si bailaba con la música
	5. No recuerdo
16. ¿Dónde estaba Alberto cuando hablaba sobre música con Elsa?	1. Debajo de ella
	2. Detrás de ella
	3. Frente a ella
	4. Junto a ella
	5. No recuerdo
17. ¿Qué pasó con la cartera?	1. Alberto la olvidó
	2. Elsa la extravió
	3. Elsa la olvidó



	4. Elsa la agarró
	5. No recuerdo
18. ¿Dónde se apareció la cartera?	1. En el baño
	2. En el banco
	3. En la mesa
	4. En la silla
	5. No recuerdo
19. ¿Qué ocurría con Alberto de regreso a casa?	1. Sentía calor y alegría
	2. Sentía sueño y cansancio
	3. Sentía malestar y sueño
	4. Sentía sudor y cansancio
	5. No recuerdo
20. ¿En qué estado se encontró Alberto una vez que regresó a su casa?	1. Exhausto
	2. Dormido
	3. Acostado
	4. Agobiado
	5. No recuerdo

**Texto de acción 2:** ¡La playa, el lugar preferido de Pedro en todo el universo! Pedro tomó a su hermano de la mano y corrieron hacia el mar. Ya en la orilla, se sacó la remera, los zapatos y los anteojos y se metió al agua. Sumergió la cabeza y buceó bajo las olas. Al llegar al fondo, Pedro agarró un caracol de abajo de un par de piedras. Un caracol exótico. Luego, su hermano nadó hasta él y lo retó a una carrera. ¡Era el momento de nadar hasta el muelle! Pedro nadaba adelante y... ¡ganó! Se sentía muy cansado. ¡Había nadado un montón! Luego, se acercó hasta el muelle y se agarró de una columna. Se subió de un salto. ¡Qué linda vista del horizonte! Era un hermoso atardecer. Mientras, su hermano seguía jugando en el mar. Pedro se levantó rápidamente y corrió hasta el otro lado del muelle. Luego, agarró una piedra y la arrojó hacia el agua con fuerza. Finalmente, su hermano salió del agua. Ambos se acercaron a un grupo de chicos que armaban castillos de arena y se agacharon para ayudarlos. Luego, todos caminaron hasta la casa de los hermanos, donde comieron una gran torta de chocolate. Fue una tarde muy divertida.

### Cuestionario Texto de acción 2

1. ¿Qué era la playa para Pedro?	1. El lugar preferido
	2. El lugar favorito
	3. El mejor lugar
	4. El lugar más lindo
	5. No recuerdo
	1. Corriendo
	2. Saltando

2. ¿Cómo fueron Pedro y su hermano hacia el mar?	3. Caminando
	4. Jugando
	5. No recuerdo
3. ¿Dónde se sacó Pedro los anteojos?	1. En la playa
	2. En la carpa
	3. En la orilla
	4. En el muelle
	5. No recuerdo
4. ¿Qué hizo Pedro cuando entró al mar?	1. Se lastimó y salió
	2. Se sumergió y buceó
	3. Se tropezó y levantó
	4. Se sumergió y nadó
	5. No recuerdo
5. ¿De dónde agarró Pedro un caracol?	1. De la arena
	2. De la orilla del mar
	3. Debajo de unas piedras
	4. Sobre una piedra
	5. No recuerdo
6. ¿Qué hizo el hermano de Pedro?	1. Nadó
	2. Buceó
	3. Corrió
	4. Saltó
	5. No recuerdo
7. ¿Hasta dónde nadaron Pedro y el hermano?	1. Hasta el muelle
	2. Hasta la orilla
	3. Hasta una bolla
	4. Hasta una isla
	5. No recuerdo
8. ¿Qué hizo Pedro al llegar a la meta?	1. Descansó y se acostó al lado de una columna.
	2. Festejó y se agarró de una columna.
	3. Se sentó y descansó en una columna.
	4. Se acercó y se agarró de una columna.
	5. No recuerdo
9. ¿Cómo se sentía Pedro al llegar a la meta?	1. Feliz
	2. Cansado
	3. Exhausto
	4. Agobiado
	5. No recuerdo
10. ¿Qué hacía su hermano en el mar?	1. Jugaba
	2. Nadaba
	3. Buceaba
	4. Chapoteaba
	5. No recuerdo
11. ¿Cómo era la vista del horizonte?	1. Linda
	2. Hermosa

	3. Espectacular
	4. Fascinante
	5. No recuerdo
6. ¿Qué hizo Pedro en el muelle?	1. Se agachó y miró
	2. Se sentó y descansó
	3. Se levantó y corrió
	4. Se levantó y camino
	5. No recuerdo
7. ¿Hasta dónde fue Pedro?	1. Hasta la otra orilla
	2. Hasta la otra carpa
	3. Hasta el otro lado del muelle
	4. Hasta el otro lado de la isla
	5. No recuerdo
8. ¿Qué hizo Pedro con la piedra?	1. La arrojó
	2. La pateó
	3. La miró
	4. La levantó
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo el hermano de Pedro?	1. Salió del agua
	2. Entró al agua
	3. Nadó en el agua
	4. Buceó en el agua
	5. No recuerdo
10. ¿A quiénes se acercaron Pedro y su hermano?	1. A un grupo de gente
	2. A un grupo de chicas
	3. A un grupo de gente
	4. A un grupo de chicos
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hicieron Pedro y su hermano para ayudar a armar el castillo?	1. Se sentaron
	2. Se agacharon
	3. Se movieron
	4. Se acercaron
	5. No recuerdo
12. ¿A dónde caminaron todos?	1. A la casa de una amiga
	2. A la casa de los hermanos
	3. A la casa de los amigos
	4. A la casa de un amigo
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hicieron al llegar a la casa?	1. Jugaron
	2. Corrieron
	3. Comieron
	4. Descansaron
	5. No recuerdo
14. ¿Cómo fue la tarde?	1. Agotadora
	2. Divertida
	3. Feliz
	4. Cansadora
	5. No recuerdo

**Texto de no acción 2:** ¡Qué felicidad, estaban de viaje! Clara estaba entusiasmada por haber invitado a su amiga con ella. Iban en el auto para el bosque y los paisajes eran hermosos. ¡Hora de disfrutar de las vacaciones! En un momento, Clara vio un animal en la ruta. No lo había visto nunca y tenía curiosidad. A su amiga, quien conducía, no le interesaban los animales, y menos uno raro en la ruta. Clara sabía que no era común y quería sacarle una foto. Al lado de la ruta, un grupo de autos detenidos fotografiaban y admiraban la belleza del animal. ¡Qué afortunados! Clara insistía, pero su amiga no se detenía por nada. Clara imaginaba historias de la criatura y se las contaba a su amiga, que se divertía. Luego de tanto insistir, Clara decidió disfrutar del paisaje a través de la ventanilla del auto. ¡Qué hermosa vista! Sacó un par de fotos a las montañas. Luego, impaciente, cerró los ojos y se quedó dormida. Se despertó un rato después. Sólo había dormido unos minutos. ¡Qué bien! En ese tiempo habían avanzado un montón. ¡Ya llegaban! Una hora más tarde, ya en el bosque, Clara disfrutaba del paisaje y del olor de las flores.

### Cuestionario texto de no acción 2

1. ¿Cómo estaba Clara?	1. Feliz
	2. Contenta
	3. Entusiasmada
	4. Alegre
	5. No recuerdo
2. ¿Qué hizo Clara con su amiga?	1. La llamó
	2. La invitó
	3. La miró
	4. La citó
	5. No recuerdo
3. ¿Cómo eran los paisajes?	1. Verdes
	2. Lindos
	3. Hermosos
	4. Relajantes
	5. No recuerdo
4. ¿De qué era hora?	1. De manejar
	2. De salir
	3. De comer
	4. De disfrutar
	5. No recuerdo
5. ¿Dónde vio Clara un animal?	1. En la ruta
	2. En la calle
	3. En el camino
	4. En el sendero
	5. No recuerdo

6. ¿Qué quería Clara?	1. Mirar el animal
	2. Fotografiar al animal
	3. Contemplar el animal
	4. Huir del animal
	5. No recuerdo
7. ¿Dónde estaban los autos?	1. Al lado del camino
	2. Al lado de la ruta
	3. Al lado de la calle
	4. Al lado del sendero
	5. No recuerdo
8. ¿Qué hacían viajantes con el animal?	1. Lo fotografiaban y admiraban
	1. Lo miraban y filmaban
	2. Lo contemplaban y fotografiaban
	3. Lo filmaban y admiraban
	4. No recuerdo
9. ¿Cómo era el grupo de autos según Clara?	1. Lindos
	2. Caros
	3. Grandes
	4. Afortunados
	5. No recuerdo
10. ¿Qué no quería hacer la amiga de Clara?	1. Pararse
	2. Detenerse
	3. Sentarse
	4. Acostarse
	5. No recuerdo
11. ¿A qué se referían las historias que se imaginaba Clara?	1. A las vacaciones
	2. A la criatura
	3. Al bosque
	4. A los animales
	5. No recuerdo
2. ¿Qué hacía su amiga con las historias que le contaba Clara?	1. Se quejaba
	2. Se fastidiaba
	3. Se divertía
	4. Se emocionaba
	5. No recuerdo
6. ¿Cómo era la vista?	1. Divina
	2. Linda
	3. Hermosa
	4. Relajante
	5. No recuerdo
7. ¿Qué hizo Clara luego de mirar el paisaje?	1. Fotografió las montañas
	2. Admiró las montañas
	3. Contempló las montañas
	4. Caminó por las montañas
	5. No recuerdo
8. ¿Cómo estaba Clara?	1. Feliz
	2. Nerviosa
	3. Cansada

	4. Impaciente
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Clara luego?	1. Paró y se bajó
	2. Cerró los ojos y se durmió
	3. Cerró la puerta y se bajó
	4. Se levantó y se fue
	5. No recuerdo
10. ¿Cuánto tiempo durmió Clara?	1. Una hora
	2. Media hora
	3. Unas horas
	4. Unos minutos
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hicieron mientras ella dormía?	1. Llegaron
	2. Avanzaron
	3. Chocaron
	4. Hablaron
	5. No recuerdo
12. ¿A dónde llegaron una hora más tarde?	1. A la montaña
	2. A la ciudad
	3. Al bosque
	4. A la cabaña
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hacía Clara con el paisaje y el olor de las flores?	1. Los admiraba
	2. Los disfrutaba
	3. Los amaba
	4. Los apreciaba
	5. No recuerdo

## Anexo II

### Material suplementario del capítulo V

#### 2.1. Estimación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra requerida para nuestro experimento, realizamos un análisis de estimación en software R con la librería `pwr`. Dado nuestro diseño estadístico, basado en pruebas  $t$  pareadas, consideramos tres parámetros. En primer lugar, establecimos el nivel alfa de  $p = 0,05$ . En segundo lugar, consideramos un tamaño de efecto de 0,80 (basado en la  $d$  de Cohen). Finalmente, establecimos una potencia de 0,8. Este análisis mostró que un tamaño de muestra de 14 es suficiente para alcanzar los efectos estimados. El tamaño final de la muestra de 26 alcanza una potencia de 0,97.

#### 2.2. Textos utilizados en la tarea de L1

**Texto de acción:** sábado por la tarde. ¡El momento favorito de Juancito en toda la semana! Tomó a sus padres de la mano y juntos corrieron hasta la plazuela. Al lado de las hamacas, un grupo de niños aplaudía las ocurrencias de un colorido payaso. Juancito corrió velozmente hacia el lugar donde el payaso saltaba y bailaba sin cesar. Al terminar el espectáculo, el payaso escribió su nombre en el pavimento. ¡Qué sorpresa! ¡También se llamaba Juan! Luego, entre toda la muchedumbre, Juancito caminó hacia el banco donde se sentaron sus padres. Abrazó a su padre con mucha fuerza y le jaló la camisa para que se levantara. ¡Era hora de jugar al fútbol! Juancito tomó la pelota y la puso en el césped. Su padre se movía de izquierda a derecha, en posición de arquero. Juancito pateó y... ¡gol! De repente salió el sol. Juancito se sacó el suéter y lo apoyó en el banco. Luego, su madre se acercó y le entregó un chocolate. Se lo comió de un bocado. Como siempre, al terminarlo, arrojó el envoltorio en el basurero. Había sido una intensa jornada. Se sentía muy cansado. Ya en la falda de su madre, mientras se limpiaba los restos de golosina de la boca, se quedó dormido.

**Texto de no acción:** La noche recién comenzaba. Alberto estaba eufórico. ¡Gracias a Dios por los fines de semana! A unas pocas cuadras, la discoteca. Sus amigos lo aguardaban allí y juntos compartirían un buen momento. Al cruzar la calle, Alberto leyó el nombre de la discoteca en un cartel: “Ni jefe ni reloj”. Siempre lo ponía de buen humor. Una vez adentro, lo encandilaron las luces. Sintió calor y se encontró muy transpirado. Al lado del bar, un grupo de mujeres se entretenía con las ocurrencias de su amigo, Mario.

Las muchachas se reían sin pausa junto a ese joven que bromeaba e inventaba personajes. Luego, entre toda la gente, Alberto reconoció a su novia, Elsa. Ella lo esperaba en una silla. Desde atrás, Alberto le preguntó si le gustaba la música. “¡Por supuesto!”, respondió Elsa. Aunque ella tenía sueño, Alberto le insistió para que lo acompañara a la pista. ¡Era hora de disfrutar la música! Como siempre, al decidirse, Elsa se olvidó la cartera en la silla. Alberto escuchó su canción favorita y se entusiasmó mucho. Elsa, fiel compañera, lo ayudó a recordar la letra. ¡Qué buen equipo! De regreso en su casa, mientras sentía el sudor y el cansancio en el cuerpo, se quedó dormido.

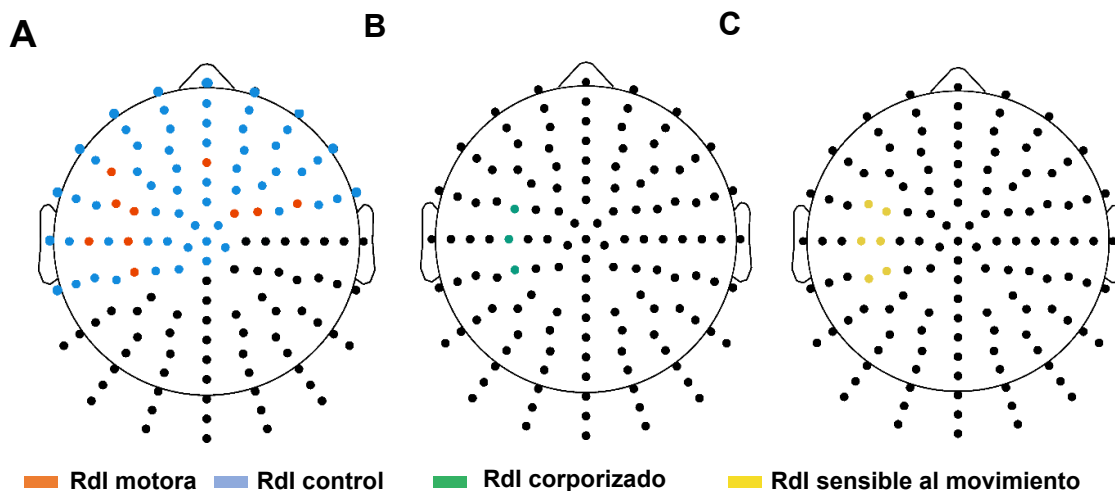
### **2.3. Textos utilizados en la tarea de L2**

**Texto de acción:** Donald looked into his bag for his money, but it was not there. Had someone taken it from him? He moved back and forth thinking what to do. He ran to his friend Tommy’s house to take the money he had left there. Tommy was working when Donald rang the bell. He gave him the money and added some more coins. Donald counted the lot in great exultation. Soon after, he went to the newspaper office. He put his money and his coins on the table and asked the receptionist to put an ad in the newspaper the next day. “I have lost my moneybag. If you find it, please call me!”, the ad said. When Donald got up the next day, a man came to his house. He had found the moneybag! Donald thanked the kind man and jumped with exultation. To show his appreciation, he took the man to a bar and they had breakfast together. What a great time it was! Donald had found his moneybag!

**Texto de no acción:** Poppy lived in a very nice village. The inhabitants there were really nice and supported each other. He was extremely happy and had many friends. However, the inhabitants were very frightened by chocolate. “If you eat it, you’ll be very sick”, a girl said. He thought about this in great curiosity. Was that really true? To find out, he started a journey towards a nearby village, and asked the people there. They found his doubts quite funny and offered him to try some different flavours. How much he loved them! It seemed now difficult to believe the things his friends had told him. During his days there, he ate a lot of chocolate but he never felt sick. He knew the truth now! His friends had believed in a lie when that stranger had come to town. When he went back to his village, he brought a lot of chocolate. He was very proud of himself now. He spent a lot of days teaching people what to believe in.



## 2.4. Distribución topográfica de los Rdl basados en el análisis de clúster y en las hipótesis específicas



**Figura S1.** Distribución topográfica de las Rdl basadas en el análisis de clúster y en hipótesis. **A.** Rdl basadas en datos. Los electrodos naranjas integran las Rdl basadas en datos correspondientes a un aumento en conectividad funcional para el TA en relación con el TA en L1, denominado *Rdl motora*. Los electrodos azules integran los Rdl basados en datos correspondientes a un aumento en la conectividad funcional para el TnA en relación con el TA en L1, denominada *Rdl control*. **B.** Rdl corporizado. Los electrodos verdes indican el *Rdl corporizado*, en base a los resultados de Vukovic and Shtyrov (2014) **C.** Rdl sensible al movimiento. Los electrodos amarillos indican el *Rdl sensible al movimiento*, en base a los resultados de (Yoris et al., 2017). TA: texto de acción; TnA: texto de no acción; L1: primera lengua; L2: segunda lengua; Rdl: región de interés.

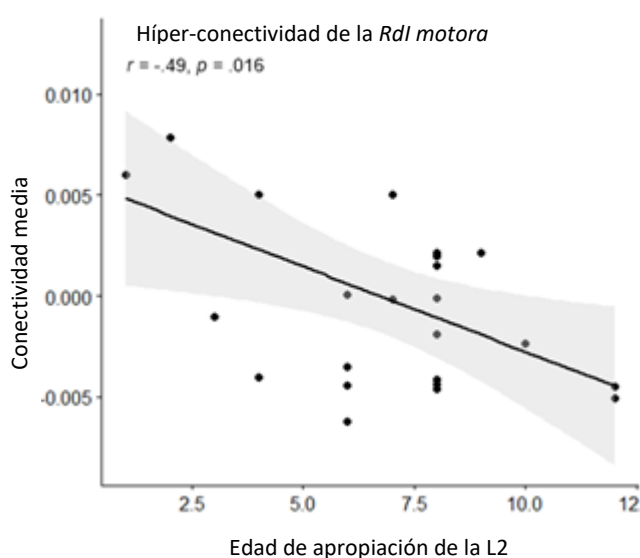
## 2.5. Correlaciones control entre la hiper-conectividad del TA-L2 y la competencia en L2

La competencia en L2 no reveló correlaciones significativas con la hiper-conectividad del Rdl derivado del análisis de clúster en el TA ( $r = 0,11, p = 0,56$ ) o de la Rdl en el TnA ( $r = 0,12, p = 0,53$ ) durante el procesamiento de la L1 (TA vs. TnA). Lo mismo ocurrió con los dos Rdl basados en hipótesis: La competencia en L2 no mostró una correlación significativa con la conectividad del Rdl corporizada ( $r = -0,12, p = 0,55$ ) o con la del Rdl sensible al movimiento ( $r = -0,13, p = 0,52$ ) durante el procesamiento de la L1 (TA vs. TnA).

## 2.6. Correlaciones control entre la hiper-conectividad de TA-L2 y edad de apropiación de L2

La edad de apropiación de la L2 no mostró una correlación significativa con la hiper-conectividad del RdI basado en el análisis de cluster en el TA ( $r = -0,27, p = 0,18$ ) ni en el RdI en el TnA ( $r = -0,21, p = 0,30$ ) durante el procesamiento en L1 (TA vs. TnA). De manera similar, no hubo una asociación significativa entre la edad de apropiación de la L2 y la conectividad del RdI corporizada ( $r = -0,04, p = 0,83$ ) o del RdI sensible al movimiento ( $r = -0,004, p = 0,85$ ) durante el procesamiento en L1 (TA vs. TnA).

Además, como se describe en el manuscrito principal, ejecutamos nuevamente la correlación entre la edad de apropiación de la L2 y la conectividad del RdI del TA derivado del análisis de clúster después de retirar a un sujeto cuya edad de aprendizaje de la L2 (específicamente, 18) se consideró un valor atípico. Esta correlación se mantuvo negativa y significativa ( $r = -0,49, p = 0,016$ , **Figura S2**). Además, todas las otras correlaciones se mantuvieron no significativas. Específicamente, la edad de aprendizaje de la L2 no mostró una correlación significativa con ningún tipo de hiper-conectividad de la RdI basada en el TA ( $r = -0,05, p = 0,80$ ) ni con hiper-conectividad del RdI basada en el TnA ( $r = -0,12, p = 0,56$ ) durante el procesamiento en L1 (TA vs. TnA). Lo mismo se aplica a los RdI basadas en hipótesis. La edad de apropiación de la L2 no mostró una correlación significativa con la conectividad del RdI corporizado ( $r = 0,05, p = 0,81$ ) ni con la conectividad del RdI sensible al movimiento ( $r = 0,06, p = 0,77$ ) durante el procesamiento de la L1 (TA vs. TnA).



**Figura S2.** Correlación de Pearson entre la edad de apropiación de la L2 y la conectividad en TA-L2 según la *RdI motora* basada en el análisis de clúster en, después de retirar un valor de edad de apropiación de la L2 que se confirmó era atípico en 2 *SD* de la media de la muestra. La correlación negativa siguió siendo significativa, lo que confirma que entre menor es la edad de apropiación de la L2, mayor es la conectividad de la *RdI motora* durante el procesamiento de la L2.

## Anexo III

### Material suplementario del Capítulo VI

#### 3.1. Estimación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño muestral necesario para nuestro análisis inter-textual, ejecutamos una estimación de potencia en R con la biblioteca pwr. Dado nuestro diseño estadístico, basado en un ANOVA de efectos mixtos  $4 \times 4 \times 2$ , consideramos tres parámetros. En primer lugar, establecimos un nivel alfa de  $p = 0,05$ . En segundo lugar, consideramos un tamaño de efecto de  $\eta^2 = 0,25$ . Finalmente, establecimos una potencia de 0,8. Este análisis mostró que un tamaño de muestra de 14 es suficiente para alcanzar los efectos estimados. El tamaño final de la muestra de nuestro estudio (con el grupo más pequeño de 20 participantes) alcanza una potencia de 0,96.

#### 3.2. Resultados de atrofia

Con el fin de establecer los patrones de alteración estructural del cerebro en cada uno de los grupos de pacientes en comparación con los controles, evaluamos la integridad de la materia gris a través de morfometría basada en vóxeles (VBM). Para ello, estimamos y utilizamos los mapas de w-score normalizados y suavizados del DARTEL (con el fin de poder analizar las imágenes de los distintos centros todas juntas y poder evitar un efecto por el tipo de resonador). Representamos el valor de atrofia mediante una prueba  $t$  entre grupo, covariando por el volumen total intracraneal (VTI). La significancia estadística se estableció a  $p < 0,05$  (sin corregir, con un umbral mínimo de 50 vóxeles). Encontramos patrones significativos de atrofia para los pacientes con vcDFT y los pacientes con EA, pero no para los pacientes con la EP. Los resultados se presentan en la **Tabla S1**.

**Tabla S1.** Atrofia calculada con MBV de los pacientes en comparación con los controles.

Atrofia	Clúster	Región cerebral	Pico		Coordenadas		
			<i>t</i>	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
<b>Pacientes Con vcDFT</b>	391	Tri. Inferior Frontal I	4,69	< 0,001	-34,5	21	25,5
	72	Precúneo (BA31) D	3,79	< 0,001	13,5	-61,5	57
	106	Postcentral D	3,74	< 0,001	51	-16,5	-21
	75	Supramarginal D	3,62	< 0,001	-60	-33	31,5
	150	Temporal medial D	3,61	< 0,001	43,5	4,5	-30
	59	Frontal posterior D	3,54	< 0,001	-34,5	6	40,5
<b>Pacientes con EA</b>	10954	Amígdala D	5,02	< 0,001	30	-3	-28,5
		Hipocampo D	4,97	< 0,001	27	-25,5	-7,5
	255	Giro Angular D	3,98	< 0,001	34,5	-55,5	37,5
	574	Parietal inferior D	3,47	< 0,001	37,5	-52,5	48
	209	Frontal superior D	3,97	< 0,001	-24	28,5	31,5
	53	Temporal media DI	3,73	< 0,001	39	-64,5	15
	237	Precúneo D	3,52	< 0,001	1,5	-55,5	46,5
	96	Precúneo D	3,49	< 0,001	10,5	-60	51
	150	Parietal superior D	3,39	< 0,001	18	-55,5	49,5
	74	Frontal superior medial I	3,46	< 0,001	-7,5	55,5	9
	10954	Amígdala D	5,02	< 0,001	30	-3	-28,5
	51	Hipocampo D	4,97	< 0,001	27	-25,5	-7,5
	255	Angular D	3,98	< 0,001	34,5	-55,5	37,5

vcDFT: variante conductual de la demencia frontotemporal; EA: Pacientes con enfermedad de Alzheimer. D: derecha I: izquierda.

### 3.3. Textos naturalistas y cuestionarios utilizados en el estudio 3

**Texto de acción:** Sábado por la tarde. ¡El momento favorito de Juancito en toda la semana! Tomó a sus padres de la mano y juntos corrieron hasta la plaza. Al lado de las hamacas, un grupo de niños aplaudía las piruetas de un colorido payaso. Juancito corrió velozmente hacia el lugar donde el payaso saltaba y bailaba sin cesar. Al terminar el espectáculo, el payaso escribió su nombre en el pavimento. ¡Qué sorpresa! ¡También se llamaba Juan! Luego, entre toda la muchedumbre, Juancito caminó hacia el lugar donde se sentaron sus padres. Abrazó a su padre con mucha fuerza y le jaló la camisa para que se levantara. ¡Era hora de jugar al fútbol! Juancito tomó la pelota y la puso en el pasto. Su padre se movía de izquierda a derecha, en posición de arquero. Juancito pateó y... ¡gol! Repentinamente salió el sol. Juancito se sacó el abrigo y lo apoyó en el asiento. Luego, su madre se acercó y le entregó un chocolate. Se lo comió de un bocado. Como siempre, al terminarlo, arrojó el paquete en el basurero. Había sido una intensa jornada.

Se sentía muy cansado. Ya en la falda de su madre, mientras se limpiaba los restos de chocolate de la boca, se quedó dormido.

### Cuestionario texto de acción

1. ¿Qué hacía el payaso cuando Juanito corrió hacia él?	1. Leía y cocinaba
	2. Gritaba y cantaba
	3. Reía y silbaba
	4. Saltaba y bailaba
	5. No recuerdo
2. ¿Cómo corrió Juanito hasta el payaso?	1. Descuidadamente
	2. Rápidamente
	3. Lentamente
	4. Tristemente
	5. No recuerdo
3. ¿Qué hizo el payaso al terminar el espectáculo?	1. Buceó
	2. Dibujó
	3. Escribió
	4. Patinó
	5. No recuerdo
4. ¿Dónde estaba el nombre el payaso?	1. En el pavimento
	2. En la pared
	3. En un papel
	4. En un perro
	5. No recuerdo
5. ¿Qué hizo Juancito con la camisa de su padre?	1. La abotonó
	2. La enterró
	3. La jaló
	4. La rompió
	5. No recuerdo
6. ¿Cómo abrazó Juancito a su padre?	1. Con angustia
	2. Con bronca
	3. Con descompostura
	4. Con fuerza
	5. No recuerdo
7. ¿Qué hizo Juanito con la pelota?	1. La empujó
	2. La revolvió
	3. La cabeceó
	4. La tomó
	5. No recuerdo

8. ¿Cómo se movía el padre de Juanito al jugar al fútbol?	1. De adentro hacia afuera
	2. De un árbol a otro
	3. De izquierda a derecha
	4. De norte a sur
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Juanito con el suéter?	1. Se lo arrancó
	2. Se lo jaló
	3. Se lo pintó
	4. Se lo quitó
	5. No recuerdo
10. ¿Dónde apoyó Juanito el abrigo?	1. En el asiento
	2. En el piso
	3. En la basura
	4. En la piscina
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hizo Juanito con el chocolate?	1. Lo arrojó
	2. Lo chupó
	3. Lo comió
	4. Lo derritió
	5. No recuerdo
12. ¿Cómo comió el chocolate Juanito?	1. De un bocado
	2. Gritando
	3. Lentamente
	4. Mordiendo varias veces
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hizo con el paquete?	1. Lo arrojó al piso
	2. Lo arrojó en el basurero
	3. Lo sacó del basurero
	4. Lo usó para envolver el basurero
	5. No recuerdo
14. ¿Cuándo hizo lo anterior con el paquete del chocolate?	1. Al abrirlo
	2. Al regalarlo
	3. Al saborearlo
	4. Al terminarlo
	5. No recuerdo
15. ¿Qué hacía Juancito en la falda de su madre?	1. Se comía los restos de chocolate
	2. Se esparcía los restos de chocolate
	3. Se limpiaba los restos de chocolate
	4. Tiraba los restos de chocolate
	5. No recuerdo
16. ¿Dónde tenía los restos de chocolate?	1. En el cine

	2. En la boca
	3. En la falda de su madre
	4. En las manos
	5. No recuerdo

**Texto de no acción:** La noche recién comenzaba. Alberto estaba contento. ¡Gracias a Dios por los fines de semana! A unas pocas cuadras, la discoteca. Sus amigos lo esperaban allí y juntos compartirían un buen momento. Al cruzar la calle, Alberto leyó el nombre de la discoteca en un cartel: “Ni jefe ni reloj”. Siempre lo ponía de buen humor. Una vez adentro, lo enceguecieron las luces. Sintió calor y se encontró muy transpirado. Al lado del bar, un grupo de mujeres se entretenía con las historias de su amigo, Mario. Las muchachas se reían sin pausa junto a ese joven que bromeaba e inventaba personajes. Luego, entre toda la gente, Alberto reconoció a su novia, Elsa. Ella lo esperaba en una silla. Desde atrás, Alberto le preguntó si le gustaba la música. “¡Por supuesto!”, respondió Elsa. Aunque ella tenía sueño, Alberto le insistió para que lo acompañara a la pista. ¡Era hora de disfrutar la música! Como siempre, al decidirse, Elsa se olvidó la cartera en la silla. Alberto escuchó su canción favorita y se entusiasmó mucho. Elsa, fiel compañera, lo ayudó a recordar la letra. ¡Qué buen equipo! De regreso en su casa, mientras sentía el sudor y el cansancio en el cuerpo, se quedó dormido.

### Cuestionario texto de no acción

1. ¿Qué hacían los amigos de Alberto en la discoteca?	1. Lo esperaban
	2. Lo llamaban
	3. Lo aplaudían
	4. Lo exorcizaban
	5. No recuerdo
2. ¿Cuándo fue Alberto a la discoteca?	1. A la madrugada
	2. A la medianoche
	3. A la noche
	4. A la tarde
	5. No recuerdo
3. ¿Qué hizo Alberto antes de ingresar a la discoteca?	1. Cabeceó un cartel
	2. Leyó un cartel
	3. Movié un cartel
	4. Pintó un cartel

	5. No recuerdo
4. ¿Dónde estaba el nombre de la discoteca?	1. En el boleto
	2. En el cielo
	3. En la pared
	4. En un cartel
	5. No recuerdo
5. ¿Qué hacía Mario con las muchachas?	1. Bailaba y cantaba
	2. Bromeaba e inventaba personajes
	3. Reía e imitaba personajes
	4. Rezaba e inventaba personajes
	5. No recuerdo
6. ¿Cómo se reían las muchachas en torno a Mario?	1. Con miedo
	2. Con vergüenza
	3. Sin ganas
	4. Sin parar
	5. No recuerdo
7. ¿Qué hizo Alberto luego de ver a Mario?	1. Alquiló a su novia
	2. Elogió a su novia
	3. Llamó a su novia
	4. Reconoció a su novia
	5. No recuerdo
8. ¿Dónde estaban las muchachas que rodeaban a Mario?	1. Al lado del baño
	2. Al lado del bar
	3. Al lado del prado
	4. Al lado del escenario
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Alberto para sacar a bailar a su novia?	1. La cargó
	2. Le insistió
	3. Le pagó
	4. Le rogó
	5. No recuerdo
10. ¿Adónde quería Alberto que lo acompañara su novia?	1. A la barra
	2. A la montaña
	3. A la pista
	4. Al baño
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hizo Alberto para entusiasmarse mucho?	1. Cantó su canción
	2. Destruyó su canción
	3. Escuchó su canción



	4. Recordó su canción
	5. No recuerdo
12. ¿Por qué se encontró muy transpirado?	1. Porque besó a su novia
	2. Porque sintió calor
	3. Porque no había aire
	4. Porque sintió mucho frío
	5. No recuerdo
13. ¿Qué le preguntó Alberto a Elsa?	1. Si conocía la canción
	2. Si soñaba con la música
	3. Si le gustaba la música
	4. Si pintaba la música
	5. No recuerdo
14. ¿Dónde estaba Alberto cuando hablaba sobre música con Elsa?	1. Debajo de ella
	2. Detrás de ella
	3. Frente a ella
	4. Lejos de ella
	5. No recuerdo
15. ¿Qué pasó con la cartera?	1. Alberto la arrojó
	2. El taxista la recogió del taxi
	3. Elsa la olvidó
	4. Elsa la tiró en el baño
	5. No recuerdo
16. ¿Dónde olvidó la cartera?	1. En el pasto
	2. En el mar
	3. En la mesa
	4. En la silla
	5. No recuerdo

**Texto social:** ¡Al fin llegaron las vacaciones! Alberto había solicitado dos semanas de descanso y su jefe se las dio. Cogió las maletas y salió de la casa. Juan, su vecino jardinero, lo saludó amistosamente, con una sonrisa. Le deseó un buen viaje. Al hablar con Juan, Alberto recordó su jardín. ¡Sus hermosas flores! ¿Quién las regaría? El taxi en la esquina, a segundos de la casa. ¡Cuánta emoción! Inmediatamente se reunió con Juan y le pidió encarecidamente el favor. Le explicó su situación y le ofreció dinero para que cumpliera con su pedido. ¡Era la persona ideal para ayudarlo! Ya en el taxi, mientras esperaba la respuesta de su vecino, Alberto le indicaba el recorrido al conductor. Juan aceptó con gusto la tarea que Alberto le encargó y rechazó cualquier tipo de pago. Con

amabilidad, Alberto insistió y le dio el dinero. Juan se lo devolvió gentilmente. Había mostrado un gesto de amistad. Alberto se lo retribuiría. Luego, a través de la ventana del taxi, le entregó a Juan las llaves para entrar a su casa. Durante todo el viaje, Alberto agradeció la ayuda de su vecino Juan. Como devolución, al reencontrarse con él, le regalaría una de sus flores.

### Cuestionario texto social

1. ¿Cómo reaccionó el jefe de Alberto ante el pedido de vacaciones?	1. Se las agendó
	2. Se las dio
	3. Se las vendió
	4. Se las negó
	5. No recuerdo
2. ¿Cómo saludó Juan a Alberto?	1. Con un suspiro
	2. Con una sonrisa
	3. Con la mano
	4. Con una sogá
	5. No recuerdo
3. ¿Qué estaba haciendo Alberto cuando recordó su jardín?	1. Discutía con Juan
	2. Emborrachaba a Juan
	3. Miraba a Juan
	4. Hablaba con Juan
	5. No recuerdo
4. ¿Cómo le pidió el favor Alberto a Juan?	1. Confianzudamente
	2. Brutalmente
	3. Encarecidamente
	4. Agresivamente
	5. No recuerdo
5. ¿Cómo interactuó Alberto con Juan?	1. Le explicó su situación
	2. Le mostró sus flores
	3. Le dio las instrucciones
	4. Le confesó un secreto
	5. No recuerdo
6. ¿Para qué le ofreció dinero Alberto a Juan?	1. Para que cumpliera con su pedido
	2. Para que cumpliera con sus obligaciones
	3. Para que cumpliera con sus deseos
	4. Para que cumpliera con sus estudios
	5. No recuerdo

7. Juan era la persona ideal para...	1. Rescatarlo
	2. Saborearlo
	3. Salvarlo
	4. Ayudarlo
	5. No recuerdo
8. ¿De quién esperaba respuesta Alberto una vez en el taxi?	1. De su mejor amigo
	2. Del chofer
	3. Del policía
	4. De su vecino
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hacía Alberto en el taxi?	1. Le daba órdenes al conductor
	2. Le pedía ayuda al conductor
	3. Le indicaba el recorrido al conductor
	4. Le acariciaba el pelo al conductor
	5. No recuerdo
10. ¿Cómo aceptó Juan la tarea que Alberto le encargó?	1. Con desgano
	2. Con espanto
	3. Con gusto
	4. Con pasión
	5. No recuerdo
11. ¿Cómo reaccionó Juan ante el ofrecimiento del pago?	1. Lo rechazó
	2. Lo delegó
	3. Lo cuestionó
	4. Lo aceptó
	5. No recuerdo
12. ¿Cómo insistió Alberto?	1. Con señas
	2. Con rencor
	3. Con amabilidad
	4. Con desesperación
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hizo Alberto con el dinero?	1. Se lo escondió a Juan
	2. Se lo mostró a Juan
	3. Se lo dio a Juan
	4. Se lo tiró a Juan
	5. No recuerdo
14. ¿Cómo devolvió el dinero Juan?	1. Sospechosamente
	2. Tímidamente
	3. Emocionadamente
	4. Gentilmente

	5. No recuerdo
15. ¿Qué haría Alberto ante el gesto de Juan?	1. Se lo retribuiría
	2. Se lo imitaría
	3. Se lo reconocería
	4. Se lo negaría
	5. No recuerdo
16. ¿Qué haría Alberto al reencontrarse con Juan?	1. Le donaría su casa
	2. Le regalaría una de sus flores
	3. Le daría una sorpresa
	4. Le pagaría mil pesos
	5. No recuerdo

**Texto no social:** Luis abrió los ojos y miró el reloj de la mesita. Había dormido profundamente durante nueve horas. ¡Al fin era fin de semana! Aún en pijama y con las sandalias puestas, fue a la cocina y calentó agua para hacerse un café. ¡Iba a preparar un rico y completo desayuno! Mientras tostaba rodajas de pan, servía cereales en un plato. ¡Qué relajación! ¡Le encantaba el olor del café recién hecho! Como todos los días, para tomarlo, usó su taza preferida. Luego, durante el desayuno, Luis planificaba qué hacer a lo largo de su día. Primero vería su película favorita. Después leería un libro y escucharía música clásica en el balcón. Casi el mediodía. ¡Qué bueno! ¡Toda la tarde entera por delante! Prendió el televisor y puso la película con muchas ganas. Finalizada la película, leyó varias páginas del libro en el sofá. Más tarde, mientras escuchaba música en el tocadiscos, salió al balcón. Allí, observó el paisaje y tomó aire fresco. Era un atardecer hermoso. Se sentía lleno de energía. Entonces, fue al parque más verde de toda la ciudad. Hizo deporte aeróbico durante una hora antes de recostarse y relajarse en el pasto recién cortado.

### Cuestionario texto no social

1. ¿Qué hizo Luis cuando abrió los ojos?	1. Tiró el reloj
	2. Mordió el reloj
	3. Miró el reloj
	4. Apagó el reloj
	5. No recuerdo
2. ¿Dónde estaba el reloj?	1. En el mueble
	2. En la mesita
	3. En la cocina

	4. En la piscina
	5. No recuerdo
3. ¿Qué había hecho Luis durante nueve horas?	1. Había comido
	2. Había soñado
	3. Había dormido
	4. Había meditado
	5. No recuerdo
4. ¿Cómo fue Luis a la cocina?	1. En bata
	2. En ropa interior
	3. En patines
	4. En pijama
	5. No recuerdo
5. ¿Qué hizo Luis en la cocina?	1. Calentó agua
	2. Tomó agua
	3. Enfrió agua
	4. Vendió agua
	5. No recuerdo
6. ¿Dónde servía cereales Luis?	1. En una taza
	2. En un plato
	3. En un cajón
	4. En una olla
	5. No recuerdo
7. ¿Qué le producía a Luis el olor del café recién hecho?	1. Lo despertaba
	2. Le encantaba
	3. Lo relajaba
	4. Lo enfermaba
	5. No recuerdo
8. ¿En qué momento Luis planificaba qué hacer a lo largo de su día?	1. Durante el desayuno
	2. Al mediodía
	3. A la tarde
	4. Mientras dormía
	5. No recuerdo
9. ¿Qué hizo Luis con el televisor?	1. Lo saludó
	2. Lo prendió
	3. Lo limpió
	4. Lo conectó
	5. No recuerdo
10. ¿Cómo puso Luis la película?	1. Con desinterés
	2. Con mucha hambre

	3. Con muchas ganas
	4. Con curiosidad
	5. No recuerdo
11. ¿Qué hizo Luis finalizada la película?	1. Escribió
	2. Comió
	3. Leyó
	4. Levitó
	5. No recuerdo
12. ¿Dónde escuchó música Luis?	1. En la radio
	2. En la calle
	3. En el tocadiscos
	4. En el cenicero
	5. No recuerdo
13. ¿Qué hizo Luis en el balcón además de observar el paisaje?	1. Cantó una canción
	2. Recordó el aire fresco
	3. Durmió una siesta
	4. Tomó aire fresco
	5. No recuerdo
14. ¿Cómo se sentía Luis?	1. Lleno de reproches
	2. Lleno de felicidad
	3. Lleno de energía
	4. Lleno de arrugas
	5. No recuerdo
15. ¿Qué hizo Luis al salir de su casa?	1. Alquiló el parque
	2. Fotografió el parque
	3. Contempló el parque
	4. Fue a el parque
	5. No recuerdo
16. ¿Durante cuánto tiempo hizo deporte?	1. Durante unos minutos
	2. Durante una hora
	3. Durante toda la tarde
	4. Durante cien horas
	5. No recuerdo

### 3.4. Información demográfica de las submuestras de RMN y RMNf

**Tabla S2.** Información demográfica de las submuestras de RMN.

Variable	CS <i>n</i> =. 33	EP <i>N</i> =. 21	vcDFT <i>n</i> =. 16	EA <i>n</i> =19	Resultados estadísticos	Contraste	<i>t</i> / $\chi^2$	<i>p</i>
Sexo (F:M)	22:11	11:10	4:12	14:5	$\chi^2 = 10,30$ <i>P</i> = 0,02	CS-EP	0,58	0,44
						C-vcDFT	5.93	0,01
						CS-EA	0,04	0,83
Edad	71,69 (5,91)	70,47 (7,50)	67,00 (9,86)	73,05 (5,12)	<i>F</i> = 2,40 <i>p</i> = 0,07	CS-EP	0,98	0,33
						CS-vcDFT	1.67	0,15
						CS-EA	-0,91	0,36
Años de educación	13,45 (3,68)	12,80 (4,64)	15,95 (4,96)	11,42 (4,21)	<i>F</i> = 1,83 <i>p</i> = 0,14	CS-EP	0,04	0,96
						CS-vcDFT	-1.23	0,22
						CS-EA	1.40	0,17

CS: controles sanos; EP: Enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer.

**Tabla S3.** Información demográfica de las submuestras de RMNf.

Variable	CS <i>n</i> = 33	EP <i>n</i> =. 20	vcDFT <i>n</i> =. 14	EA <i>n</i> =.18	Resultados estadísticos	Contraste	<i>t</i> / $\chi^2$	<i>p</i>
Sexo (F:M)	22:11	11:9	4:10	13:5	$\chi^2 = 7,58$ <i>P</i> = 0,05	CS-EP	0,31	0,57
						CS-vcDFT	4,33	0,04
						CS-EA	0,008	0,92
EdEA	71,69 (5,91)	70,05 (7,43)	66,28 (9,61)	73,22 (5,21)	<i>F</i> = 3,02 <i>P</i> = 0,03	CS-EP	0,89	0,38
						CS-vcDFT	1.95	0,07
						CS-EA	-0,91	0,36
Años de Educación	13,45 (3,68)	13,15 (4,48)	14,92 (5,15)	11,66 (4,18)	<i>F</i> = 1,59 <i>P</i> = 0,20	CS-EP	-1.27	0,21
						CS-vcDFT	-1.11	0,30
						CS-EA	1.57	0,12

CS: controles sanos; EP: Enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer.

### 3.5. Adquisición y preprocesamiento de datos de RMN

#### 3.5.1. Parámetros específicos de adquisición de neuroimágenes por centro

**Centro 1 (Argentina):** Se utilizó un escáner Phillips 3-T con una bobina estándar de cabeza. Los parámetros para las imágenes estructurales T1 fueron: 160 cortes, dimensión de la matriz: 224 x 224 x 160; tamaño de voxel: 1 mm<sup>3</sup>; TR: 8300 ms; TE: 3800 ms, y un ángulo de inclinación de 8°. Además, para las imágenes funcionales, 49 cortes axiales (de 3 mm de espesor) paralelos al plano que conecta la comisura anterior y posterior, y que cubre el cerebro completo (dimensión de la matriz: 80 x 80 x 49; TR= 2640 ms; TE=30

ms; tamaño del vóxel: 3 mm<sup>3</sup>; ángulo de inclinación = 90°). El protocolo de RMNf duró diez minutos y se obtuvieron 220 imágenes funcionales

**Centro 2 (Chile):** Se utilizó un escáner Siemens Skyra de 3 T con una bobina estándar de cabeza. Los parámetros para las imágenes estructurales T1 fueron: 192 cortes, dimensión de la matriz: 256 x 256 x 192; tamaño de voxel: 1 mm<sup>3</sup>; TR: 2400 ms; TE: 2000 ms, y un ángulo de inclinación de 8°. Además, para las imágenes funcionales, 46 cortes axiales (de 3 mm de espesor) paralelos al plano que conecta la comisura anterior y posterior, y que cubre el cerebro completo (dimensión de la matriz: 76 x 76 x 46; TR= 2660 ms; TE=30 ms; tamaño del vóxel: 3 mm<sup>3</sup>; ángulo de inclinación = 90°). El protocolo de RMNf duró 10,5 minutos y se obtuvieron 240 imágenes funcionales

**Centro 3 (Colombia):** Se utilizó un escáner Philips Achieva de 3 T con una bobina estándar de cabeza. Los parámetros para las imágenes estructurales T1 fueron: 350 cortes, dimensión de la matriz: 480 x 480 x 350; tamaño de voxel: 0,48 mm x 0,48 mm x 0,5 mm; TR: 7000 ms; TE: 3000 ms, y un ángulo de inclinación de 8°. Además, para las imágenes funcionales, 40 cortes axiales (de 3 mm de espesor) paralelos al plano que conecta la comisura anterior y posterior, y que cubre el cerebro completo (dimensión de la matriz: 80 x 80 x 40; TR= 2000 ms; TE=30 ms; tamaño del vóxel: 2.88 mm x 2.88 x 3 mm; ángulo de inclinación = 90°). El protocolo de RMNf duró 10,5 minutos y se obtuvieron 240 imágenes funcionales

### **3.5.2. Preprocesamiento de los datos de RMN**

El patrón global de atrofia entre los pacientes con vcDFT y EA (comparado con controles) se analizó a través de la herramienta DARTEL del software SPM12 para Matlab (Statistical Parametric Mapping: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/>), siguiendo los procedimientos de estudios previos (Ashburner and Friston`, 2000`; Garcia-Cordero et al.` , 2016`; Seden et al.` , 2017). Para el preprocesamiento, las imágenes se segmentaron en tres tejidos cerebrales: sustancia gris, sustancia blanca y líquido cefalorraquídeo. Los mapas de sustancia gris obtenidos se normalizaron al espacio estándar MNI, y se suavizaron con un *kernel* o núcleo de 10 mm<sup>3</sup>(Ashburner & Friston, 2000; Burton et al., 2004; Good et al., 2001).



Con el fin de analizar las imágenes de cada centro juntos y evitar un efecto resonador en nuestros resultados, las salidas DARTEL normalizadas y suavizadas se transformaron en imágenes de índices-w. Las puntuaciones W, similares a las puntuaciones Z (media: 0, DE: - 1), representan el grado en que el volumen MG observado en cada vóxel es mayor o menor (puntuación W positiva o negativa) de lo esperado, basado en la puntuación compuesta global de un individuo ajustada por covariables específicas (edad, enfermedad, VTI y tipo de escáner). Las puntuaciones W se calcularon dividiendo el volumen observado de cada sujeto y el volumen predicho de MG por su DE, lo que resultó en un mapa de índices-w para cada sujeto.

### **3.5.3. Preprocesamiento de los datos de RMNf**

En primer lugar, para garantizar un estado constante de magnetización, descartamos los primeros cinco volúmenes de cada sujeto. Luego, las imágenes se preprocesaron mediante el Asistente de procesamiento de datos RMNf (DPARSF V2.3) (Chao-Gan & Yu-Feng, 2010) En este análisis, se interpolaron las imágenes con un movimiento mayor a los 0,5 mm (por tiempo de repetición) para evitar que los valores atípicos encontrados en ciertos momentos de la señal se propagaran al resto. Los participantes cuyas RMf demandaron una reparación mayor al 20% de los volúmenes se eliminaron del análisis. Se analizaron los registros cuyos parámetros de movimiento en promedio no superaron los 3 mm y/o 3° (de rotación). Luego, comparamos los parámetros de traslación y rotación promedio entre los grupos, usando pruebas de ANOVA y no se encontraron diferencias entre los grupos. Ver **Tabla S4**.

Siguiendo los procedimientos de trabajos previos de nuestro grupo (Yoris et al., 2018), las imágenes se corrigieron por tiempo de corte, se re-alinearon con el volumen del medio, y se les aplicó un filtro pasa banda (0,01-0,08 Hz). Los seis parámetros de movimiento fueron regresionados de la señal durante el realineamiento. Se suavizaron las imágenes con un *kernel* de 8 mm<sup>3</sup>, y se normalizaron al espacio estándar (template EPI). Para estimar la matriz de adyacencia CFr de cada participante para el análisis de asociaciones, extrajimos los cursos de tiempo medio promediando la señal BOLD de todos los vóxeles de cada uno de los 116 RdI del Atlas Automatizado de Etiquetado Anatómico (Tzourio-Mazoyer et al., 2002). Entonces, el coeficiente de correlación de Pearson se utilizó para definir la fuerza de asociación entre los RdIs. siguiendo procedimientos validados previamente para el análisis multicéntrico, y con el fin de evitar un efecto por el uso de diferentes resonadores, realizamos una normalización de las

secuencias según del sitio (Donnelly-Kehoe et al., 2019). Por lo tanto, para cada centro, La CFr de cada grupo fue puntuada con un valor Z, calculado en función de la media y la desviación estándar de la muestra de controles del centro correspondiente (Donnelly-Kehoe et al., 2019).

**Tabla S4.** Parámetros de movimiento para las submuestras de RMNf.

Variable	CS	EP	vcDFT	EA	Estadísticos	Contraste	$t/\chi^2$	$p$
Traslación	0,09 (0,05)	0,07 (0,03)	0,09 (0,05)	0,09 (0,05)	$F = 1.04$ $p = 0,38$	CS-EP	1,34	0,18
						CS-vcDFT	-0,50	0,62
						CS-EA	-0,22	0,82
Rotación	0,04 (0,05)	0,06 (0,05)	0,06 (0,03)	0,06 (0,03)	$F = 0,94$ $p = 0,42$	CS-EP	-1,27	0,21
						CS-vcDFT	-1,71	0,09
						CS-EA	-0,62	0,10

CS: controles sanos; EP: Enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: Enfermedad de Alzheimer.

### 3.6. Métodos de EEG-ad.

**Tabla S5.** Información demográfica de las submuestras hd-EEG.

Variable	CS $n = 21$	Pd $n = 12$	vcDFT $n = 15$	EA $n = 15$	Estadísticos	Contraste	$t/\chi^2$	$p$
Sexo (F:M)	17:4	5:6	6:9	10:5	$\chi^2 = 9.11$ $p = 0,03$	CS-PD	3,68	0,06
						CS-vcDFT	5,55	0,02
						CS-EA	0,34	0,10
Edad	73,48 (4,80)	73,00 (4,37)	69,68 (9,90)	73,46 (5,73)	$F_{(3,60)} = 1,25$ $p = 0,30$	CS-PD	0,28	0,78
						CS-vcDFT	1,53	0,13
						CS-EA	0,005	0,99
Años de educación	13,47 (3,47)	13,50 (3,94)	15,12 (5,56)	12,33 (4,70)	$F_{(3,60)} = 1.04$ $p = 0,38$	CS-PD	-	0,98
						CS-vcDFT	-1,11	0,27
						CS-EA	0,84	0,40

CS: controles sanos; EP: enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer.

### 3.7. Resultados suplementarios del análisis intra-textual

**Tabla S6.** Resultados de las pruebas post-hoc con el método de Tukey HSD

Contraste	Estimador	EE	$gl$	t ratio	$p$
<b>Texto de acción</b>					
CS,Cir – EP,Cir	0,07	0,05	170	1,57	0,76
CS,Cir – vcDFT,Cir	0,06	0,05	167	1,25	0,92
CS,Cir – EA,Cir	0,34	0,05	172	7,40	< 0,001

CS,Cir – CS,Verbo	-0,03	0,03	105	-0,97	0,98
CS,Cir – EP,Verbo	0,19	0,05	170	4,07	< 0,001
CS,Cir – vcDFT,Verbo	0,11	0,05	167	2,10	0,42
CS,Cir – EA,Verbo	0,37	0,05	172	7,94	< 0,001
EP,Cir – vcDFT,Cir	-0,01	0,05	171	-0,17	1,00
EP,Cir – EA,Cir	0,27	0,05	171	5,23	< 0,001
EP,Cir – CS,Verbo	-0,10	0,05	170	-2,18	0,37
EP,Cir – EP,Verbo	0,11	0,04	105	3,09	0,05
EP,Cir – vcDFT,Verbo	0,03	0,05	171	0,62	1,00
EP,Cir – EA,Verbo	0,30	0,05	171	5,71	< 0,001
vcDFT,Cir – EA,Cir	0,28	0,06	168	5,03	< 0,001
vcDFT,Cir – CS,Verbo	-0,09	0,05	167	-1,80	0,62
vcDFT,Cir – EP,Verbo	0,12	0,05	171	2,30	0,30
vcDFT,Cir – vcDFT,Verbo	0,04	0,04	105	1,04	0,97
vcDFT,Cir – EA,Verbo	0,31	0,06	168	5,47	< 0,001
EA,Cir – CS,Verbo	-0,37	0,05	172	-8,00	< 0,001
EA,Cir – EP,Verbo	-0,16	0,05	171	-3,02	0,06
EA,Cir – vcDFT,Verbo	-0,24	0,06	168	-4,26	< 0,001
EA,Cir – EA,Verbo	0,02	0,04	105	0,64	1,00
CS,Verbo – EP,Verbo	0,21	0,05	170	4,68	< 0,001
CS,Verbo – vcDFT,Verbo	0,13	0,05	166	2,65	0,15
CS,Verbo – EA,Verbo	0,40	0,05	172	8,54	< 0,001
EP,Verbo – vcDFT,Verbo	-0,08	0,05	171	-1,51	0,80
EP,Verbo – EA,Verbo	0,18	0,05	171	3,50	0,01
vcDFT,Verbo – EA,Verbo	0,26	0,06	168	4,70	< 0,001

---

**Texto de no acción -**

CS – EP	0,08	0,04	104	2,12	0,15
CS – vcDFT	0,08	0,04	104	1,88	0,24
CS – EA	0,36	0,04	104	9,56	< 0,001
EP – vcDFT	0,00	0,04	104	-0,03	1,00
EP – EA	0,28	0,04	104	6,64	< 0,001
vcDFT – EA	0,28	0,05	104	6,16	< 0,001

---

**Texto social**

CS – EP	0,08	0,04	104	1,85	0,25
CS – vcDFT	0,16	0,05	104	3,25	0,01
CS – EA	0,38	0,04	104	8,76	< 0,001
EP – vcDFT	0,08	0,05	104	1,50	0,44
EP – EA	0,30	0,05	104	6,16	< 0,001
vcDFT – EA	0,22	0,05	104	4,26	< 0,001

---

**Texto no social**

CS – EP	0,15	0,04	104	3,47	< 0,005
CS – vcDFT	0,11	0,05	104	2,30	0,10
CS – EA	0,30	0,04	104	6,71	< 0,001
EP – vcDFT	-0,04	0,05	104	-0,79	0,86
EP – EA	0,14	0,05	104	2,90	0,02
vcDFT – EA	0,19	0,05	104	3,44	< 0,001

Resultados covariados por sexo; método de grados de libertad: Kenward-Roger; valor  $p$  ajustado por el método de Tukey para comparar ocho o cuatro estimaciones. CS: controles sanos; EP: enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer; Cir: información circunstancial.

### 3.8. Resultados suplementarios del análisis intra-textual covariado por memoria de trabajo

**Table S7.** Resultados de las pruebas post-hoc con el método de Tukey HSD covariados por memoria de trabajo

<b>Contraste</b>	<b>Estimador</b>	<b>EE</b>	<b>gl</b>	<b>t ratio</b>	<b>p</b>
<b>Texto de acción</b>					
CS,Cir – EP,Cir	0,07	0,05	163,91	1,49	0,81
CS,Cir – vcDFT,Cir	0,06	0,05	16,89	1,13	0,95
CS,Cir – EA,Cir	0,32	0,05	161,80	6,48	<0,001
CS,Cir – CS,Verbo	-0,03	0,03	101	-0,96	0,98
CS,Cir – EP,Verbo	0,18	0,05	163,91	3,94	<0,001
CS,Cir – vcDFT,Verbo	0,11	0,05	16,89	2,16	0,38
CS,Cir – EA,Verbo	0,34	0,05	161,80	7,04	<0,001
EP,Cir – vcDFT,Cir	-0,01	0,05	164,93	-0,20	<0,001
EP,Cir – EA,Cir	0,25	0,05	162,18	4,57	<0,001
EP,Cir – CS,Verbo	-0,10	0,05	163,91	-2,09	0,43
EP,Cir – EP,Verbo	0,11	0,04	101	2,97	0,07
EP,Cir – vcDFT,Verbo	0,04	0,05	164,93	0,76	0,99
EP,Cir – EA,Verbo	0,28	0,05	162,18	5,08	<0,001
vcDFT,Cir – EA,Cir	0,26	0,06	16,60	4,45	<0,001
vcDFT,Cir – CS,Verbo	-0,09	0,05	16,89	-1,68	0,70
vcDFT,Cir – EP,Verbo	0,12	0,05	164,93	2,27	0,32
vcDFT,Cir – vcDFT,Verbo	0,05	0,04	101	1,23	0,92
vcDFT,Cir – EA,Verbo	0,29	0,06	16,60	4,92	<0,001
EA,Cir – CS,Verbo	-0,34	0,05	161,80	-7,05	<0,001
EA,Cir – EP,Verbo	-0,14	0,05	162,8	-2,49	0,21
EA,Cir – vcDFT,Verbo	-0,21	0,06	16,60	-3,55	0,01
EA,Cir – EA,Verbo	0,03	0,04	101	0,67	<0,001
CS,Verbo – EP,Verbo	0,21	0,05	163,91	4,54	<0,001
CS,Verbo – vcDFT,Verbo	0,14	0,05	16,89	2,71	0,13
CS,Verbo – EA,Verbo	0,37	0,05	161,80	7,61	<0,001
EP,Verbo – vcDFT,Verbo	-0,07	0,05	164,93	-1,31	0,89
EP,Verbo – EA,Verbo	0,16	0,05	162,18	2,99	0,06
vcDFT,Verbo – EA,Verbo	0,23	0,06	16,60	4,02	<0,001
<b>Texto de no acción -</b>					
CS – EP	0,07	0,04	99	2,01	0,19
CS – vcDFT	0,09	0,04	99	2,14	0,15
CS – EA	0,34	0,04	99	8,63	<0,001
EP – vcDFT	0,01	0,04	99	0,32	0,99
EP – EA	0,26	0,04	99	6,08	<0,001
vcDFT – EA	0,25	0,05	99	5,35	<0,001
<b>Texto social</b>					
CS – EP	0,08	0,04	99	1,88	0,25
CS – vcDFT	0,16	0,05	99	3,57	<0,01
CS – EA	0,36	0,04	99	8,19	<0,001
EP – vcDFT	0,09	0,05	99	1,77	0,29
EP – EA	0,28	0,05	99	5,80	<0,001
vcDFT – EA	0,20	0,05	99	3,74	<0,001
<b>Texto no social</b>					
CS – EP	0,15	0,04	99	3,38	0,01

CS – vcDFT	0,11	0,05	99	2,29	0,11
CS – EA	0,28	0,05	99	6,08	<0,001
EP – vcDFT	-0,04	0,05	99	-0,70	0,90
EP – EA	0,14	0,05	99	2,63	0,05
vcDFT – EA	0,17	0,06	99	3,09	0,01

Resultados covariados por sexo y memoria de trabajo; método de grados de libertad: Kenward-Roger; valor  $p$  ajustado por el método de Tukey para comparar ocho o cuatro estimaciones. CS: controles sanos; EP: enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer; Cir: información circunstancial.

### 3.9. Resultados suplementarios del análisis inter-texto.

**Tabla S8.** Resultados del ANOVA para el análisis inter-textual

	sum SC	SC media	gl num	gl den	F	Valor p
Grupo	0,39	0,39	1	707,84	17,84	<0,001
Condición	0,51	0,17	3	707,84	7,68	<0,001
Texto	0,02	0,02	1	90,65	0,85	0,36
Grupo*Condición	0,09	0,03	3	708,57	1,41	0,24
Grupo*Texto	0,44	0,05	9	708,58	2,21	0,02
Condición*Texto	0,45	0,15	3	707,84	6,81	0,00
Grupo*Condición*Texto	0,26	0,03	9	708,58	1,29	0,24

**Tabla S9.** Resultados de las pruebas post-hoc con el método de Tukey HSD.

Texto	Contraste	Estimación	EE	gl	t ratio	Valor p
<b>Texto de acción</b>	CS – EP	0,15	0,04	220	3,67	< 0,005
	CS – vcDFT	0,11	0,04	213	2,40	0,08
	CS – EA	0,37	0,04	225	9,05	< 0,001
	EP – vcDFT	-0,04	0,05	224	-0,88	0,82
	EP – EA	0,22	0,05	222	4,86	< 0,001
	vcDFT – EA	0,26	0,05	217	5,37	< 0,001
<b>Texto de no acción</b>	CS – EP	0,08	0,04	220	2,00	0,19
	CS – vcDFT	0,08	0,04	213	1,83	0,26
	CS – EA	0,36	0,04	225	8,69	< 0,001
	EP – vcDFT	0,00	0,05	224	0,01	1.00
	EP – EA	0,27	0,05	222	6,01	< 0,001
	vcDFT – EA	0,27	0,05	217	5,58	< 0,001
<b>Texto social</b>	CS – EP	0,08	0,04	220	1,88	0,24
	CS – vcDFT	0,15	0,04	213	3,35	0,005
	CS – EA	0,38	0,04	225	9,28	< 0,001
	EP – vcDFT	0,07	0,05	224	1,53	0,42
	EP – EA	0,30	0,05	222	6,64	< 0,001
	vcDFT – EA	0,23	0,05	217	4,70	< 0,001
<b>Texto no social</b>	CS – EP	0,15	0,04	220	3,72	< 0,005
	CS – vcDFT	0,11	0,04	213	2,42	0,08
	CS – EA	0,30	0,04	225	7,29	< 0,001
	EP – vcDFT	-0,04	0,05	224	-0,91	0,80
	EP – EA	0,15	0,05	222	3,23	0,01
	vcDFT – EA	0,19	0,05	217	3,88	< 0,001

Resultados covariados por sexo; método de grados de libertad: Kenward-Roger; valor  $p$  ajustado por el método de Tukey para comparar cuatro estimaciones. CS: controles sanos; EP: enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer.

### 3.10. Resultados suplementarios del análisis inter-texto covariado por memoria de trabajo.

**Table S10.** Resultados del ANOVA para el análisis inter-textual covariados por memoria de trabajo

	sum SC	SC media	gl num	gl den	F	Valor p
Grupo	0,39	0,39	1	707,84	17,84	<0,001
Condición	0,51	0,17	3	707,84	7,68	<0,001
Texto	0,02	0,02	1	90,65	0,85	0,36
Índice de memoria de trabajo	0,80	0,07	11	97,59	3,30	<0,001
Grupo*Condición	0,09	0,03	3	708,57	1,41	0,24
Grupo*Texto	0,44	0,05	9	708,58	2,21	0,02
Condición*Texto	0,45	0,15	3	707,84	6,81	<0,001
Grupo*Condición*Texto	0,26	0,03	9	708,58	1,29	0,24

**Table S11.** Resultados de las pruebas post-hoc con el método de Tukey HSD covariados por memoria de trabajo.

Texto	Contraste	Estimación	EE	gl	t ratio	Valor p
<b>Texto de acción</b>	CS – EP	0,13	0,04	209,96	3,33	0,01
	CS – vcDFT	0,08	0,05	201,39	1,88	0,24
	CS – EA	0,34	0,04	197,63	8,24	<0,001
	EP – vcDFT	0,05	0,05	223,19	-0,96	0,77
	EP – EA	0,21	0,05	205,08	4,59	<0,001
	vcDFT – EA	0,25	0,05	202,38	5,07	<0,001
<b>Texto de no acción</b>	CS – EP	0,06	0,04	209,96	1,53	0,42
	CS – vcDFT	0,07	0,05	201,39	1,47	0,45
	CS – EA	0,32	0,04	197,63	7,88	<0,001
	EP – vcDFT	0,01	0,05	223,19	,14	10,00
	EP – EA	0,26	0,05	205,08	5,83	<0,001
	vcDFT – EA	0,26	0,05	202,38	5,14	<0,001
<b>Texto social</b>	CS – EP	0,13	0,04	209,21	3,37	<0,001
	CS – vcDFT	0,09	0,04	20,20	1,94	0,22
	CS – EA	0,27	0,04	197,63	6,48	<0,001
	EP – vcDFT	-0,04	0,05	22,22	-0,96	0,77
	EP – EA	0,13	0,04	204,50	2,97	0,02
	vcDFT – EA	0,18	0,05	201,42	3,59	<0,001
<b>Texto no social</b>	CS – EP	0,06	0,04	209,96	1,53	0,42
	CS – vcDFT	0,13	0,05	201,39	2,87	0,02
	CS – EA	0,35	0,04	197,63	8,47	<0,001
	EP – vcDFT	0,07	0,05	223,19	1,46	0,46
	EP – EA	0,29	0,05	205,08	6,36	<0,001
	vcDFT – EA	0,22	0,05	202,38	4,36	<0,001

Resultados covariados por sexo y memoria de trabajo; método de grados de libertad: Kenward-Roger; valor *p* ajustado por el método de Tukey para comparar cuatro estimaciones. CS: controles sanos; EP: enfermedad de Parkinson; vcDFT: demencia frontotemporal variante conductual; EA: enfermedad de Alzheimer.

### 3.11. Asociaciones entre los puntajes totales de cada texto y el volumen de SG calculado con MBV

#### 3.11.1 Pacientes con la Enfermedad de Parkinson y controles sanos

**Tabla S12.** Asociaciones entre los resultados de MBV y las puntuaciones totales de los textos, para los pacientes con la Enfermedad de Parkinson y los controles (solo se muestran los textos que arrojan asociaciones significativas).

Regresión	Clúster	Región cerebral	Pico		Coordenadas		
			<i>t</i>	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
<b>Texto de acción</b>	54	Fusiforme D	3,58	< 0,001	34.5	-75	-12
<b>Texto no social</b>	215	Parietal Inferior D (BA40)	4,52	< 0,001	45	-46.5	46,5
	428	Temporal Superior I (BA22)	4,23	< 0,001	-54	-12	-1,5
	102	Occipital medial D (BA39)	3,81	< 0,001	46.5	-63	25,5
	90	Lingual D	3,81	< 0,001	21	-75	-6

D: derecha; I: izquierda.

#### 3.11.2 Pacientes con vcDFT y controles sanos.

**Tabla S13.** Asociaciones entre los resultados de MBV y las puntuaciones totales de los textos, para los pacientes con la vcDFT y los controles.

Regresión	Clúster	Región cerebral	Pico		Coordenadas		
			<i>t</i>	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
<b>Texto social</b>	1667	Giro recto D	5,62	< 0,001	6	40,5	-16,5
		Orbitofrontal medial I	5,31	< 0,001	-10,5	37,5	-10,5
		Temporal inferior D	5,01	< 0,001	39	-64,5	-6
		Occipital Medial D	3,98	< 0,001	33	-88,5	0
	579	Lingual D	3,98	< 0,001	18	-81	-9
		Precentral I	5	< 0,001	-48	0	21
	199	Precúneo (BA7) I	4,71	< 0,001	-3	-70,5	52,5
	468	Frontal medial I (corteza cingulada anterior)	4,68	< 0,001	-19,5	40,5	30
		Postcentral D	4,38	< 0,001	46,5	-15	34,5
	367	Cúneo D	3,97	< 0,001	9	-85,5	15
	287	Frontal medial D (corteza cingulada anterior)	3,79	< 0,001	39	49,5	1,5
	223	Frontal medial D (corteza cingulada anterior)	3,76	< 0,001	39	40,5	18
	186	Tempora medial I	3,69	< 0,001	-57	-37,5	-7,5
		Postcentral I	3,52	< 0,001	-49,5	-18	37,5
	271	Calcarino I	3,61	< 0,001	-10,5	-64,5	4,5
		Lingual I	3,55	< 0,001	-7,5	-72	-4,5

	91	Frontal Superior Medial (BA9) I	3,56	< 0,001	-1.5	48	28,5
		Oper. Frontal Inferior D	4,62	< 0,001	34.5	13,5	33
			4,6	< 0,001	40,5	10,5	28,5
	1630	R Paracentral D	4,81	< 0,001	16.5	-30	49,5
		Lóbulo Paracentral (BA5) D	3,96	< 0,001	12	-37,5	51
		Pecúneo (BA7) D	3,65	< 0,001	16.5	-48	52,5
	234	Occipital Inferior	4,67	< 0,001	37.5	-63	-7,5
		Temporal medial D	4,38	< 0,001	52.5	-31,5	-13,5
		Temporal Inferior D	4,24	< 0,001	51	-27	-21
	2820	Precentral I	4,64	< 0,001	-33	-13,5	51
			4,21	< 0,001	-42	-24	36
		Postcentral I	4,12	< 0,001	-34.5	-28,5	45
			4,48	< 0,001	-55.5	-37,5	-6
	2017	Temporal medial I	4,42	< 0,001	-43.5	-49,5	3
			4,2	< 0,001	-54	-46,5	7,5
	2039	Pecúneo (BA31) I	4,39	< 0,001	-6	-61,5	27
		Pecúneo (BA7) I	4,39	< 0,001	1.5	-61,5	36
		Pecúneo I	4,33	< 0,001	-6	-61,5	45
	1022	Ínsula I	4,25	< 0,001	-28.5	27	-1,5
		Frontal Tri. inferior I	3,83	< 0,001	-37.5	31,5	3
	923	Parietal inferior I	4,17	< 0,001	-30	-54	46,5
		Parietal inferior (BA40) I	3,92	< 0,001	-37.5	-58,5	45
		Occipital Medial I	3,6	< 0,001	-36	-67,5	36
	119	Temporal medial I	3,98	< 0,001	-57	-10,5	-7,5
	119	Postcentral D	3,96	< 0,001	48	-16,5	34,5
	112	Lingual D	3,94	< 0,001	22.5	-81	-3
	549	Hippocampo D	3,94	< 0,001	37.5	-31,5	-12
	588	Giro recto (BA11) I	3,92	< 0,001	4.5	39	-22,5
		Giro recto I	3,52	< 0,001	-7.5	39	-22,5
	357	Orbitofrontal Superior D	3,92	< 0,001	16.5	60	4,5
			3,34	< 0,001	16.5	55,5	24
		Frontal superior D	3,34	< 0,001	18	54	15
	271	Ínsula D	3,91	< 0,001	31.5	28,5	0
		Frontal Tri. inferior D	3,34	< 0,001	39	33	-1,5
	89	Caudado I	3,84	< 0,001	-19,5	-22,5	21
	166	Oper. Frontal Inferior I	3,81	< 0,001	-34,5	10,5	31,5
	121	Lingual (BA17) I	3,8	< 0,001	-15	-88,5	-1,5
	74	Temporal medial D	3,67	< 0,001	51	-45	-1,5
	66	Cúneo D	3,64	< 0,001	13,5	-82,5	21
	66	Cíngulo anterior I	3,61	< 0,001	-12	30	25,5
	52	Occipital Medial D	3,59	< 0,001	25,5	-82,5	16,5
	120	Lingual (B19) I	3,55	< 0,001	-18	-13,5	-9
	79	Temporal superior D	3,54	< 0,001	61,5	-31,5	15
	78	R Calcarino D	3,51	< 0,001	7,5	-73,5	15
	144	Frontal Medial I	3,51	< 0,001	-33	36	19,5

**Texto no social**



			3,45	< 0,001	-36	43,5	15
	52	Orbitofrontal medial I	3,46	< 0,001	-10,5	57	-13,5
	120	Frontal medial D	3,44	< 0,001	27	40,5	27
<b>Texto de acción</b>	302	Temporal inferior D	5,03	< 0,001	40,5	-64,5	-9
	3868	Giro recto (BA11) D	4,96	< 0,001	4,5	40,5	-18
		Frontal medial I	4,11	< 0,001	-1,5	24	-13,5
		Orbitofrontal medial I	3,93	< 0,001	-3	54	-12
		Temporal inferior D	4,53	< 0,001	46,5	-6	-30
	2244	Postcentral D	4,75	< 0,001	45	-30	54
		Postcentral (BA3) D	4,54	< 0,001	34,5	-33	57
	2053	Amígdala I	4,5	< 0,001	-19,5	-7,5	-15
	465	Precúneo I	4,32	< 0,001	-1,5	-69	51
		Precúneo (BA7) D	4,02	< 0,001	12	-69	58,5
		Precúneo I	3,41	< 0,001	-4,5	-66	34,5
	252	Occipital Medial D	4,26	< 0,001	28,5	-85,5	15
	473	Precentral D	4,2	< 0,001	52,5	1,5	18
	592	Temporal Inferior I	4,05	< 0,001	-51	-25,5	-18
		Temporal Inferior (BA21) I	3,51	< 0,001	-37,5	7,5	-37,5
			3,51	< 0,001	-39	-3	-31,5
		73	Lingual D	3,64	< 0,001	19,5	-81
	52	Frontal medial D	3,58	< 0,001	34,5	12	36
	54	Precentral I	3,53	< 0,001	-51	4,5	19,5
<b>Texto de no acción</b>	524	Occipital Inferior (BA18) D	3,88	< 0,001	25,5	-96	-12
		Occipital Inferior D	3,82	< 0,001	39	-82,5	-3
		Temporal Inferior D	3,60	< 0,001	45	-69	-10,5

D: derecha; I: izquierda

### 3.11.3 Pacientes con Enfermedad de Alzheimer y controles sanos.

**Tabla S14.** Asociaciones entre los resultados de MBV y las puntuaciones totales de los textos, para los pacientes con EA y los controles.

Regresión	Clúster	Región cerebral	Pico		Coordenadas		
			<i>t</i>	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
<b>Texto de acción</b>	20761	Parahipocampo D	6,85	< 0,001	30	-4,5	-30
		Parahipocampo D	6,44	< 0,001	33	-19,5	-21
		Parietal inferior D	4,42	< 0,001	45	-43,5	45
		SupraMarginal D	4,33	< 0,001	49,5	-33	37,5
	1163	Occipital inferior D	5,07	< 0,001	37,5	-75	-4,5
		Cerebelo Crus1 D	3,8	< 0,001	39	-75	-19,5
		Fusiforme (BA37) D	3,35	< 0,001	45	-64,5	-18
	576	Ínsula (BA13) D	3,91	< 0,001	36	4,5	13,5
	471	Temporal medial I	3,81	< 0,001	-42	-58,5	15
		Temporal medial I	3,8	< 0,001	-52,5	-57	12

		Temporal medial I	3,64	< 0,001	-42	-66	19,5
	147	Frontal Superior I	3,8	< 0,001	-22,5	28,5	31,5
	127	Giro Recto (BA47) I	3,67	< 0,001	-13,5	28,5	-16,5
	188	Occipital Medial D	3,64	< 0,001	24	-90	6
	54	Temporal Inferior I	3,61	< 0,001	-48	-21	-18
	123	Cíngulo medial D	3,59	< 0,001	1,5	-36	42
<b>Texto de no acción</b>	2460	Parahipocampo D	4,69	< 0,001	30	-3	-30
		Hipocampo I	4,5	< 0,001	-31,5	-7,5	-16,5
		Hipocampo I	4,19	< 0,001	-30	-6	-25,5
	174	Temporal medial D	4,08	< 0,001	51	6	-30
	257	Parietal nferior (BA40) D	3,76	< 0,001	39	-48	45
		Parahipocampo D	3,4	< 0,001	31,5	-21	-18
<b>Texto social</b>		Hipocampo D	5,91	< 0,001	27	-1,5	-31,5
		Hipocampo D	5,26	< 0,001	31,5	-19,5	-21
		Supramarginal D	4,6	< 0,001	49,5	-34,5	36
	2270		4,43	< 0,001	45	-43,5	43,5
			4,02	< 0,001	48	-39	21
	374	Parietal Inferior (BA40) I	4,47	< 0,001	-49,5	-55,5	43,5
	3003	Cíngulo medio D	4,46	< 0,001	4,5	-34,5	42
		R Parietal Superior D	4,41	< 0,001	18	-60	54
		Precúneo D	4,1	< 0,001	9	-49,5	24
	587	Frontal Superior D	4,36	< 0,001	24	37,5	37,5
	99		4,14	< 0,001	-16,5	-45	-36
			4,07	< 0,001	-13,5	-34,5	-36
	251		3,77	< 0,001	-22,5	30	30
		Frontal Tri. Inferior I	3,59	< 0,001	-33	25,5	25,5
	128	Parietal Superior I	3,67	< 0,001	-27	-55,5	58,5
		Parietal inferior I	3,48	< 0,001	-31,5	-57	51
	64	Cerebelo 8 I	3,61	< 0,001	-16,5	-64,5	-37,5
	59	Orbitofrontal Medial I	3,6	< 0,001	-31,5	55,5	-7,5
	165	Ínsula I	3,58	< 0,001	-37,5	10,5	4,5
		Ínsula (BA13) I	3,55	< 0,001	-36	7,5	12
57	Orbitofrontal Medial D	3,56	< 0,001	25,5	58,5	-9	
<b>Texto no social</b>		Parahipocampo D	4,65	< 0,001	33	-19,5	-24
	1407	Temporal medial I	4,46	< 0,001	-51	-48	12
			3,81	< 0,001	-63	-37,5	6
			3,53	< 0,001	-57	-33	-6
	598	Precúneo D	4,13	< 0,001	9	-66	39
			3,82	< 0,001	15	-60	42
			3,59	< 0,001	12	-54	27
	334	Parietal inferior D	4,1	< 0,001	45	-45	43,5
			3,61	< 0,001	34,5	-54	48
	622	Temporal Inferior (BA20) I	4,08	< 0,001	-48	-9	-27

	Temporal Inferior (BA21) I	3,71	< 0,001	-39	-4,5	-34,5
295	Parietal Superior I	3,83	< 0,001	-25,5	-58,5	58,5
	Parietal Inferior (BA7) I	3,62	< 0,001	-30	-57	49,5
	Giro Angular (BA40) I	3,52	< 0,001	-39	-57	39
96	Occipital Inferior D	3,79	< 0,001	36	-73,5	-6
141	Cúneo I	3,69	< 0,001	-13,5	-60	19,5
161	Ínsula I	3,69	< 0,001	-36	9	6
54	Ínsula D	3,61	< 0,001	36	4,5	13,5
	Temporal Superior (BA13) D	3,6	< 0,001	58,5	-33	19,5
171	Temporal Medial I	3,6	< 0,001	-61,5	-18	-4,5
	Temporal Superior I	3,52	< 0,001	-58,5	-12	4,5
76	Temporal Superior D	3,55	< 0,001	54	-24	1,5

### 3.12 Resultados complementarios de FCr-RMNf

#### 3.12.1 Pacientes con Enfermedad de Parkinson y controles sanos

**Tabla S15.** Resultados de FCr-RMNf para pacientes con enfermedad de Parkinson y controles (sólo se muestran los textos que arrojan asociaciones positivas significativas).

Mensaje de texto	Región	<i>r</i>	<i>p</i>
<b>Texto de acción</b>	Frontal Tri. Inferior I - Hipocampo D	0,507	< 0,001
	Área motora suplementaria D- Pririforme I	0,443	< 0,002
	Pririforme I- Cerebelo 8 I	0,45	< 0,003
	Giro Recto I - Cerebelo 8 I	0,483	< 0,004
	Ínsula I – Hipocampo I	0,478	< 0,005
	ParaHipocampo D – Occipital inferior D	0,46	< 0,006
	Occipital Medial D – Temporal Inferior D	0,442	< 0,007
	Postcentral D - Cerebelo 10 D	-0,439	< 0,008
<b>Texto no social</b>	Hipocampo I – Temporal Superior I	0,454	< 0,009
	Hipocampo D – Occipital Inferior D	0,467	< 0,010
	Cúneo I - Vermis 10	0,476	< 0,011
<b>Texto social</b>	Olfatoria D- Cerebelo Crus1 D	0,463	< 0,012
	Hipocampo D – Occipital InferiorD	0,442	< 0,013
	Hipocampo D – Fusiforme D	0,458	< 0,014
	Amígdala D – Temporal Superior D	0,447	< 0,015

D: derecha; I: izquierda.

### 3.12.2. Pacientes con vcDFT y controles sanos

**Tabla S16.** Resultados de FCr-RMNf para pacientes con vcDFT y controles (sólo se muestran los textos que arrojan asociaciones positivas significativas).

Texto	Región	<i>r</i>	<i>p</i>
<b>Texto social</b>	Frontal medial I– Amígdala D	0,539	< 0,001
	Frontal medial D - Tálamo D	0,466	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior I- Hipocampo D	0,504	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior I - ParaHippocampal	0,503	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior D - Hipocampo D	0,546	< 0,001
	Oper. Inferior Frontal - Globo Pálido I	0,489	< 0,001
	Frontal Tri. Inferior I - ParaHipocampo D	0,472	< 0,001
<b>Texto de acción</b>	Oper. Frontal Inferior D - Hipocampo D	0,489	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior D – ParaHipocampo D	0,53	< 0,001
	Pririform I - Cerebelo 9 I	0,5	< 0,001

D: derecha; I: izquierda.

### 3.12.3. Pacientes con la Enfermedad de Alzheimer y controles sanos

**Tabla S14.** Resultados de FCr-RMNf para pacientes con EA y controles (sólo se muestran los textos que arrojan asociaciones positivas significativas).

Texto	Región	<i>r</i>	<i>p</i>
<b>Texto de acción</b>	Frontal Tri. Inferior I - Occipital Medial I	0,448	< 0,001
	Cíngulo Posterior I - Precúneo I	0,451	< 0,001
	Orbitofrontal Medial I - Cerebelo 7b I	0,454	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior I - Vermis 4 6	0,457	< 0,001
	Frontal Tri. Inferior D- Temporal Medial D	0,459	< 0,001
	Área motora suplementaria I- Occipital Superior D	0,46	< 0,001
	Ínsula D - Temporal Superior I	0,463	< 0,001
	Orbitofrontal Superior I - Polo Temporal Medial I	0,464	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior I- Posterior Cíngulo I	0,466	< 0,001
	Ínsula D – Temporal Superior D	0,47	< 0,001
	Orbitofrontal Medial I - Vermis 9	0,481	< 0,001
	Cíngulo Posterior D - Polo Temporal Medial I	0,498	< 0,001
	Cíngulo Posterior D - Precúneo I	0,51	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior D - Occipital Superior D	0,533	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior D - Occipital Medial D	0,587	< 0,001
<b>Texto de no acción</b>	Orbitofrontal Medio - R Cerebelum 9	0,471	< 0,001
	Orbitofrontal Medio - Vermis 9	0,505	< 0,001
	Orbitofrontal Medio - Vermis 10	0,505	< 0,001
	Orbitofrontal Medio - L Cerebelum 9	0,46	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior - R Occipital Medio	0,539	< 0,001
<b>Texto social</b>	Ínsula D - Temporal Superior I	0,452	< 0,001
	Ínsula D – Temporal Superior D	0,49	< 0,001

	Giro Angular D - Precúneo I	0,47	< 0,001
	Orbitofrontal Medial - Tálamo D	0,452	< 0,001
	Cíngulo Medio D- Cúneo D	0,455	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior D – Giro Angular D	0,462	< 0,001
	Cíngulo Posterior I- L Polo Temporal Medial I	0,474	< 0,001
<b>Texto no social</b>	Orbitofrontal Medial I- Temporal Inferior I	0,475	< 0,001
	Cíngulo Posterior D- L Polo Temporal Medial I	0,477	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior I- Temporal Medial I	0,486	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior D- Occipital Superior D	0,492	< 0,001
	Oper. Frontal Inferior D - Occipital Medial D	0,537	< 0,001
	Orbitofrontal Inferior I - Cíngulo Posterior I	0,619	< 0,001

D: derecha; I: izquierda.

### 3.13. Resultados suplementarios de FCr en hd-EEG

**Tabla S15.** Correlaciones control para el análisis de FCr en hd-EEG basados en la métrica de wSMI (corregido por FDR)

<b>Texto/Grupo analizado</b>	<b><i>n</i></b>	<b><i>r</i></b>	<b><i>p</i></b>
<b>Clúster de pacientes con la enfermedad de Parkinson y controles sanos</b>			
<b>Pacientes con vcDFT y controles sanos</b>			
Texto de acción	36	0,14	0,86
Texto de no acción	36	0,009	0,94
Texto social	36	0,24	0,86
Texto no social	36	-0,05	0,94
<b>Pacientes con la Enfermedad de Alzheimer y controles sanos</b>			
Texto de acción	37	0,45	0,02
Texto de no acción	37	0,32	0,11
Texto social	37	0,28	0,11
Texto no social	37	0,19	0,25
<b>Clúster de pacientes con vcDFT y controles sanos</b>			
<b>Pacientes con la Enfermedad de Parkinson y controles sanos</b>			
Texto de acción	33	0,08	0,93
Texto de no acción	33	-0,04	0,93
Texto social	33	0,24	0,73
Texto no social	33	0,02	0,93
<b>Pacientes con la Enfermedad de Alzheimer y controles sanos</b>			
Texto de acción	37	0,43	0,02
Texto de no acción	37	0,33	0,04
Texto social	37	0,50	0,01
Texto no social	37	0,40	0,02
<b>Clúster de pacientes con enfermedad de Alzheimer y controles saludables</b>			
<b>Pacientes con enfermedad de Parkinson y controles saludables</b>			
Texto de acción	33	-0,33	0,21
Texto de no acción	33	-0,10	0,60
Texto social	33	-0,20	0,35
Texto no social	33	-0,29	0,21
<b>Pacientes con vcDFT y controles saludables</b>			
Texto de acción	36	0,23	0,22
Texto de no acción	36	0,31	0,16
Texto social	36	0,29	0,16
Texto no social	36	0,16	0,34

## Referencias suplementarias

- Ashburner, J., & Friston, K. (2000). Voxel-based morphometry—the methods. *NeuroImage*, *11*(6), 805-821.
- Burton, E. J., McKeith, I. G., Burn, D. J., Williams, E. D., & O'Brien, J. T. (2004). Cerebral atrophy in Parkinson's disease with and without dementia: a comparison with Alzheimer's disease, dementia with Lewy bodies and controls. *Brain*, *127*(4), 791-800.
- Chao-Gan, Y., & Yu-Feng, Z. (2010). DPARSF: a MATLAB toolbox for “pipeline” data analysis of resting-state fMRI. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *4*.
- Donnelly-Kehoe, P. A., Pascariello, G. O., García, A. M., Hodges, J. R., Miller, B., Rosen, H., . . . Monitoring, D. (2019). Robust automated computational approach for classifying frontotemporal neurodegeneration: Multimodal/multicenter neuroimaging. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, *11*(C), 588-598.
- Good, C. D., Johnsrude, I. S., Ashburner, J., Henson, R. N., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. (2001). A voxel-based morphometric study of ageing in 465 normal adult human brains. *NeuroImage*, *14*(1), 21-36.
- Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., . . . Joliot, M. (2002). Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *NeuroImage*, *15*(1), 273-289. doi: 10.1006/nimg.2001.0978
- Vukovic, N., & Shtyrov, Y. (2014). Cortical motor systems are involved in second-language comprehension: Evidence from rapid mu-rhythm desynchronisation. *NeuroImage*, *102*, 695-703.
- Yoris, A., Abrevaya, S., Esteves, S., Salamone, P., Lori, N., Martorell, M., . . . Ibanez, A. (2018). Multilevel convergence of interoceptive impairments in hypertension: New evidence of disrupted body-brain interactions. *Human Brain Mapping*, *39*(4), 1563-1581. doi: 10.1002/hbm.23933
- Yoris, A., García, A. M., Traiber, L., Santamaría-García, H., Martorell, M., Alifano, F., . . . Manes, F. (2017). The inner world of overactive monitoring: neural markers of interoception in obsessive-compulsive disorder. *Psychological medicine*, *47*(11), 1957-1970.