

## Significado, cuerpo y cerebro

*Adolfo M. García*

Laboratorio de Psicología Experimental y Neurociencias (LPEN), Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional (INCYT), CONICET, Fundación INECO, Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

Facultad de Educación, Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Mendoza, Argentina

### 1. Introducción

A cada instante, en toda coyuntura, nuestra cognición pone en juego procesos sensoriales, motores, cognitivos y afectivos que se codeterminan contextualmente y nos dan un sentido de experiencia integrada. Sin embargo, diversas corrientes clásicas en las ciencias cognitivas y otras disciplinas han caracterizado la mente desde una impronta modularista, bajo el supuesto de que diversos sistemas mentales operan de modo compartimentalizado, encapsulado y descontextualizado. A pesar de sus posibles aportes, tales concepciones obstaculizan el desarrollo de modelos sinérgicos de las múltiples interfaces entre la neurocognición, el cuerpo y el entorno.

Entre otros ámbitos, estas limitaciones se han evidenciado en el estudio del significado lingüístico. Diversas propuestas modularistas conciben el procesamiento semántico como la operación de un conjunto de mecanismos algorítmicos y de dominio específico que permiten manipular símbolos abstractos y amodales, sin influencias críticas de sistemas sensoriomotrices más básicos (Chomsky, 1980; Fodor, 2000; Fodor & Pylyshyn, 1988; Landauer & Dumais, 1997; Mahon & Caramazza, 2005). Así, los significados que signan el fluir de nuestra cognición serían independientes de la organización y la dinámica del cuerpo.

En cambio, los enfoques corporizados (Barsalou, 1999; Gallese & Lakoff, 2005) proponen que los significados verbales están *enraizados* en dichos sistemas, de modo que nuestros procesos conceptuales dependerían crucialmente de nuestras experiencias corporales con el entorno. En los últimos años, la evidencia a favor de esta visión se ha acumulado copiosamente. Uno de los corpóra empíricos más robustos, en este sentido, se refiere a la relación entre los circuitos motores y el “lenguaje de acción” (LdA) –a saber, expresiones verbales que denotan movimientos corporales. Por ejemplo, varios estudios con métodos electrofisiológicos (Ibanez et al., 2013; Pulvermüller, Härle, & Hummel, 2001; van Elk, van Schie, & Bekkering, 2008) y de neuroimagen (Pulvermüller, 2005; Pulvermüller, 2013) muestran que el LdA genera patrones de actividad distintivos en regiones motoras del cerebro. Además, la estimulación de porciones de la corteza motora especializadas en movimientos de

los brazos y las piernas facilitan el procesamiento diferencial de palabras vinculadas a dichos miembros (Pulvermuller, Hauk, Nikulin, & Ilmoniemi, 2005).

En este contexto, nuestro equipo (el Laboratorio de Psicología Experimental y Neurociencias, dependiente de Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional) ha realizado aportes sobre tres áreas relativamente inexploradas sobre la relación entre el LdA, los movimientos corporales y los circuitos cerebrales subyacentes, a saber: (i) la *integración* del LdA con movimientos corporales concurrentes; (ii) la sensibilidad de dicho dominio para la *caracterización temprana y detección preclínica* de cuadros neurodegenerativos motores; y (iii) la *relevancia ecológica* de tales asociaciones durante el procesamiento de discurso naturalista. A continuación se reseñan dichas contribuciones.

## 2. La integración del LdA con movimientos corporales

En innumerables instancias de la vida cotidiana, el procesamiento lingüístico se ve acompañado de movimientos manuales deliberados. Por ejemplo, leemos la palabra "tire" a la vez que abrimos la puerta de un bar, o nos enfrentamos al mensaje "deslice para desbloquear" cuando desplazamos el dedo sobre la pantalla del celular. Estos procesos simultáneos o próximos en el tiempo se influyen mutuamente y nos dan indicios sobre la organización cerebral de los sistemas lingüísticos. Por ejemplo, mediante un paradigma de escritura al teclado (García & Ibáñez, 2016a), demostramos que, al copiar un verbo de acción (p. ej., *saltar*), la planificación del acto motor sobre el teclado demora más que cuando se copia un verbo abstracto (p. ej., *pensar*). Además, cuando el verbo de acción es manual (p. ej., *borrar*), la demora es aún mayor. Esto sugiere que los verbos de acción comparten recursos neurocognitivos con patrones motores congruentes, de modo que la realización conjunta de ambos procesos puede redundar en una demora conductual.

Sin embargo, la congruencia entre el significado de un verbo y una acción simultánea o próxima en el tiempo también puede *facilitar* la ejecución de esta última. Hemos obtenido evidencia de ello mediante una adaptación original del paradigma de compatibilidad acción-oración (Aravena et al., 2010; Cardona et al., 2014; Ibanez et al., 2013; Melloni et al., 2015). Los participantes escuchan oraciones que involucran acciones realizadas con mano abierta (*aplaudir*) o con mano cerrada (*martillar*). Ni bien comprenden el significado de cada oración, deben presionar un botón con la mano en determinada posición (abierta o cerrada). Así, pues, surgen ensayos compatibles (por ejemplo, respuesta de mano abierta ante verbo de mano abierta) e incompatibles (por ejemplo, respuesta de mano abierta ante verbo de mano cerrada). Las personas sin problemas neuronales responden significativamente más rápido en los ensayos compatibles, lo cual sugiere que el sistema motor y el lingüístico se coactivan durante el procesamiento. Además, mediante registros de ERPs se demostró que la interacción neural entre ambos sistemas es bidireccional (el sistema motor se ve influido por el lingüístico y viceversa) (Aravena et al., 2010; Ibanez et al., 2013).

Por si esto fuera poco, hemos comprobado que tal efecto de facilitación desaparece en pacientes con patologías neurodegenerativas motoras, como la enfermedad de Parkinson (EP) y la enfermedad de Huntington (EH) (Cardona et al., 2014; Ibanez et al., 2013; Kargieman et al., 2014), junto con alteraciones en marcadores electrofisiológicos asociados a la tarea (Melloni et al., 2015).

Además, los efectos de integración entre LdA y movimientos corporales es dinámica y sensible a factores muy específicos, a saber: (i) variabilidad de los efectos, (ii) dinamicidad temporal, (iii) modulación por variables verbales, (iv) sensibilidad a la complejidad motora y (v) granularidad representacional. Por ejemplo, si una acción manual simple se ejecuta dentro de los primeros 400 ms luego de procesarse un verbo de acción, el movimiento se verá demorado; en cambio, si la misma se realiza en una ventana de 450 a 750 ms después de procesarse el verbo, el movimiento se acelerará. Para captar estas y otras sutilezas de la integración situada entre procesos corporales y lingüísticos formulamos un modelo llamado Hand-Action-Network Dynamic Language Embodiment, o HANDLE (García & Ibáñez, 2016b). En particular, HANDLE permite explicar cuándo la activación motora inducida por el LdA causa interferencia, facilitación y efectos nulos sobre la conducta. En resumen, como indica el modelo, las asociaciones semánticas de determinadas palabras repercuten en nuestras acciones inmediatas, lo cual abona una visión multidimensional del significado, anclada en la dinámica corporal y cerebral.

### **3. LdA en cuadros neurodegenerativos motores**

Millones de personas padecen patologías neurodegenerativas que afectan el sistema motor, como la enfermedad de EP (Samii, Nutt, & Ransom, 2004), EH (Pringsheim et al., 2012) y las ataxias (Ruano, Melo, Silva, & Coutinho, 2014). La búsqueda de biomarcadores relevantes incluye estudios genéticos, bioquímicos, de neuroimagen y cognitivos (DeKosky & Marek, 2003). A pesar de sus limitaciones, los dos últimos tienen la ventaja de ser no invasivos, accesibles y sensibles a déficits sutiles en etapas preclínicas (DeKosky & Marek, 2003).

En particular, las tres patologías implican alteraciones en mecanismos neurocognitivos vinculados al LdA. Tal hallazgo refleja la asociación crítica entre dicho dominio y regiones motoras, como las vías frontoestriadas y el cerebelo (Abrevaya et al., 2017; Adolfo M García et al., 2016; García & Ibáñez, 2016b; Pulvermuller, 2005). Estas alteraciones se han documentado mediante diversas tareas productivas (Cotelli et al., 2007) y receptivas (Boulenger et al., 2008), incluso cuando el lenguaje abstracto se ve preservado (Fernandino et al., 2013). Además, tales patrones se asocian con alteraciones estructurales (Abrevaya et al., 2017), funcionales (Péran et al., 2009) y electrofisiológicas (Melloni et al., 2015) en mecanismos motores.

Nuestro equipo ha realizado diversos aportes al respecto, en las tres patologías. Hemos demostrado que las alteraciones en el procesamiento del LdA y otros dominios afines en EP se manifiestan de modo primario (es decir, que no dependen del nivel de deterioro cognitivo general de los pacientes) (Bocanegra et al., 2017; Bocanegra et al., 2015) y que se dan de modo proporcional al nivel de atrofia de los ganglios basales (los principales circuitos motores afectados en tal patología) (Abrevaya et al., 2017). Además, hemos documentado la primera evidencia de dichos trastornos en ataxia cerebelosa, especificando alteraciones subyacentes a nivel genético, neuroanatómico y de conectividad funcional (Adolfo M García et al., 2016). Más aún, hemos comprobado la selectividad de tales déficits en pacientes con EH y en parientes asintomáticos (es decir, personas candidatas a desarrollar la enfermedad) (García et al., accepted; Lucila Kargieman, 2014). Este último hallazgo, junto con evidencia de otros déficits afines en sujetos asintomáticos con mutaciones en genes asociados a la EP (Adolfo M. García et al., 2016), nos invitan a pensar que el estudio de funciones corporizadas en pacientes con daño en circuitos críticos puede abrir una nueva ventana para detectar personas *en riesgo* de desarrollar un trastorno del movimiento. He ahí una promisoría consecuencia traslacional de estudiar el significado desde una impronta neurocognitiva y corporizada.

#### **4. La relevancia ecológica de la corporización del LdA**

A pesar de sus implicancias, la evidencia anterior carece de validez ecológica, pues proviene de tareas atomistas, descontextualizadas y artificiales. Para rodear tal limitación, hemos desarrollado nuevos abordajes para evaluar la comprensión del LdA en discurso naturalista. Por ejemplo, mediante el análisis automatizado de monólogos espontáneos, observamos que los campos semánticos referidos a la acción tienen un peso significativamente menor dentro de la matriz textual en pacientes con EP que en controles sanos (García et al., 2016). Además, en trabajos recientes, hemos demostrado que tanto la estimulación como la atrofia de los circuitos motores inducen efectos selectivos sobre el LdA durante el procesamiento de narrativas naturalistas, incluso mediante protocolos de intervención basados en movimientos lúdicos espontáneos (García et al., enviado; Trevisan, Sedeño, Birba, Ibáñez, & García, enviado). En resumen, estos resultados corroboran que las influencias bidireccionales entre el cuerpo y el significado se manifiestan incluso en situaciones discursivas que exceden las típicas restricciones del laboratorio.

#### **5. A modo de cierre**

Los estudios aquí reseñados muestran que la construcción neurocognitiva del significado se enraíza en la estructura y la dinámica corporales. Estos hallazgos permiten contrastar y formular modelos teóricos sobre la organización de los sistemas semánticos en la biología

humana. Además, dan pie a innovaciones traslacionales para la práctica clínica. Por añadidura, permiten reflexionar sobre la integración de información multidimensional en contextos ecológicos. Así, el marco de la cognición corporizada abre diversas avenidas para indagar sobre la íntima relación entre el significado, el cuerpo y el cerebro.

## Referencias

- Abrevaya, S., Sedeño, L., Fittipaldi, S., Pineada, D., Lopera, F., Buriticá, O., . . . García, A. M. (2017). The road less traveled: Alternative pathways for action-verb processing in Parkinson's disease. *J Alzh Dis*, *55*(4), 1429-1435.
- Aravena, P., Hurtado, E., Riveros, R., Cardona, J. F., Manes, F., & Ibanez, A. (2010). Applauding with closed hands: neural signature of action-sentence compatibility effects. *PLoS One*, *5*(7), e11751.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behav Brain Sci*, *22*(4), 577-609; discussion 610-560.
- Bocanegra, Y., García, A. M., Lopera, F., Pineda, D., Baena, A., Ospina, P., . . . Cuetos, F. (2017). Unspeakable motion: Selective action-verb impairments in Parkinson's disease patients without mild cognitive impairment. *Brain Lang*, *168*, 37-46.
- Bocanegra, Y., García, A. M., Pineda, D., Buriticá, O., Villegas, A., Lopera, F., . . . 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.
- 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.
- Cardona, J., Kargieman, L., Sinay, V., Gershanik, O., Gelormini, C., Amoruso, L., . . . Ibanez, A. (2014). How embodied is action language? Neurological evidence from motor diseases. *Cognition* *131*, 311-322.
- Cotelli, M., Borroni, B., Manenti, R., Zanetti, M., Arevalo, A., Cappa, S. F., & Padovani, A. (2007). Action and object naming in Parkinson's disease without dementia. *Eur J Neurol.*, *14*(6), 632-637.
- Chomsky, N. (1980). *Rules and representations*. New York: Columbia.
- DeKosky, S. T., & Marek, K. (2003). Looking backward to move forward: early detection of neurodegenerative disorders. *Science*, *302*(5646), 830-834.
- Fernandino, L., Conant, L. L., Binder, J. R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R. H. (2013). Parkinson's disease disrupts both automatic and controlled processing of action verbs. *Brain Lang* *127*(1), 65-74.
- Fodor, J. A. (2000). *The Mind Doesn't Work That Way*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fodor, J. A., & Pylyshyn, Z. W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*, *28*(1-2), 3-71.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cogn Neuropsychol.*, *22*(3), 455-479.

- García, A. M., Abrevaya, S., Kozono, G., Cordero, I. G., Córdoba, M., Kauffman, M. A., . . . Ibáñez, A. (2016). The cerebellum and embodied semantics: evidence from a case of genetic ataxia due to STUB1 mutations. *J Med Gen, 54*, 114-124.
- García, A. M., Bocanegra, Y., Herrera, E., Moreno, L., Carmona, J., Baena, A., . . . Ibáñez, A. M. (enviado). Ecologizing embodied markers: Action comprehension impairments during naturalistic text reading in Parkinson's disease. *Cortex*.
- García, A. M., Bocanegra, Y., Herrera, E., Pino, M., Muñoz, E., Sedeño, L., & Ibáñez, A. (en prensa). Action-semantic and syntactic deficits in subjects at risk for Huntington's disease. *J Neuropsychol*.
- García, A. M., Carrillo, F., Orozco-Aroyave, J. R., Trujillo, N., Vargas Bonilla, J. F., Fittipaldi, S., . . . Cecchi, G. A. (2016). How language flows when movements don't: An automated analysis of spontaneous discourse in Parkinson's disease. *Brain Lang, 162*, 19-28.
- 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. *Neuro Bio Rev, 68*, 59-95.
- García, A. M., Sedeño, L., Trujillo, N., Bocanegra, Y., Gomez, D., Pineda, D., . . . Ibáñez, A. (2017). Language deficits as a preclinical window into Parkinson's disease: Evidence from asymptomatic parkin and dardarin mutation carriers. *J Int Neuropsychol Soc, 23*, 150-158.
- Ibanez, A., Cardona, J. F., Dos Santos, Y. V., Blenkman, A., Aravena, P., Roca, M., . . . Bekinschtein, T. (2013). Motor-language coupling: direct evidence from early Parkinson's disease and intracranial cortical recordings. *Cortex, 49*(4), 968-984.
- Kargieman, L., Herrera, E., Baez, S., García, A. M., Dottori, M., Gelormini, C., . . . Ibanez, A. (2014). Motor-language coupling in Huntington's disease families. *Front Aging Neurosci, 6*, 122.
- Landauer, T. K., & Dumais, S. T. (1997). A solution to Plato's problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representations of knowledge. *Psychol Rev, 104*, 211-240.
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2005). The orchestration of the sensory-motor systems: Clues from Neuropsychology. *Cogn Neuropsychol, 22*(3), 480-494.
- Melloni, M., Sedeno, L., Hesse, E., García-Cordero, I., Mikulan, E., Plastino, A., . . . Ibanez, A. (2015). Cortical dynamics and subcortical signatures of motor-language coupling in Parkinson's disease. *Sci Rep, 5*, 11899.
- Péran, P., Cardebat, D., Cherubini, A., Piras, F., Luccichenti, G., Peppe, A., . . . Sabatini, U. (2009). Object naming and action-verb generation in Parkinson's disease: a fMRI study. *Cortex, 45*(8), 960-971.
- Pringsheim, T., Wiltshire, K., Day, L., Dykeman, J., Steeves, T., & Jette, N. (2012). The incidence and prevalence of Huntington's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov Disord, 27*(9), 1083-1091.
- Pulvermuller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nat Rev Neurosci, 6*(7), 576-582.
- Pulvermüller, F. (2013). Semantic embodiment, disembodiment or misembodiment? In search of meaning in modules and neuron circuits. *Brain Lang, 127*(1), 86-103.

- Pulvermüller, F., Härle, M., & Hummel, F. (2001). Walking or talking?: Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain Lang*, 78(2), 143-168.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *Eur J Neurosci*, 21(3), 793-797.
- Ruano, L., Melo, C., Silva, M. C., & Coutinho, P. (2014). The global epidemiology of hereditary ataxia and spastic paraplegia: a systematic review of prevalence studies. *Neuroepidemiology*, 42(3), 174-183.
- Samii, A., Nutt, J. G., & Ransom, B. R. (2004). Parkinson's disease. *The Lancet*, 363(9423), 1783-1793.
- Trevisan, P., Sedeño, L., Birba, A., Ibáñez, A., & García, A. M. (enviado). A moving story: Ecological motor training selectively improves action-language comprehension in naturalistic narratives. *Psychol Sci*.
- van Elk, M., van Schie, H. T., & Bekkering, H. (2008). Semantics in action: an electrophysiological study on the use of semantic knowledge for action. *J Physiol Paris*, 102(1-3), 95-100.