




Universitat Autònoma de Barcelona

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

*Dinámica temporal de la contribución motora a la categorización  
de objetos*

Fernando González Perilli

Tesis Doctoral dirigida por:

Dr. Alejandro Maiche y

Dra. Melina Aparici

Universitat Autònoma de Barcelona

Doctorat en Percepció, Comunicació i Temps

Departament de Psicologia Bàsica, Evolutiva i de l' Educació

Facultat de Psicologia. Universitat Autònoma de Barcelona

2015-2016



## Agradecimientos

### **A mi familia:**

A Eloisa, mi compañera de viaje que me sigue a todos lados, yo también la sigo a ella a todos lados. A Sara para que lea esto cuando pueda. Pensar en ella me hace seguir siempre.

A mi padre Jaime, que me acompaña en esto, que es motivo de este trabajo y de muchos otros desafíos. A mi madre, mi apoyo incondicional. A Pamela, mi hermana grande, con la que aprendimos todo juntos y seguimos aprendiendo, ahora a educar a Sarita y Matías. A la eterna sonrisa de Lucía que nunca abandona y su compañero ideal Rolo. Al tío Chiqui por esperarnos y acompañarnos siempre.

A toda la hermosa familia de Elo: Tere, Arturo, Micaela, Martín, Ramiro, Soledad, Carmela y vástagos, me perdonan son muchos, y primos! A las bisabuelas Olga y Dinorah. A los celestinos Raúl y María y a Diego y Pablo, ¿cuándo volvemos a la playa?

A mi primer techo en España, o sea Ignacio (el martillo en el clavito) y Claudia y familia, y Cata y Grillo (que fueron los primeros que me llevaron a la UAB) que tanto nos bancaron y a toda la gente de Cadaqués. Al Negro Scaffo (any given wednesday!) y Paola.

### **A mis directores:**

Al pelado de la máquina de café, Alejandro Maiche, por su inmensa generosidad que se empeña en esconder detrás de esa manía de hacer dormir poco a la gente. Y a Melina Aparici, por aparecer siempre con una sonrisa en el momento preciso.

### **Por su apoyo a sacar esto adelante:**

A Ana Pires ¿Cómo llegamos hasta aquí? que decir después de todo lo vivido. Esos brazos abiertos! Y a Fulvio!

A Federico Biyu González, mi hermano, el artista.

A Analía Arévalo con quien damos la vuelta al mundo y seguiremos dándola ahora con Mila y Gui. A Rob Ellis por darme esa oportunidad tan grande y siempre con una sonrisa. A Toby Nicholson.

### **Barcelona (Incluye ciudad y FCB):**

A mi primer techo en Barcelona, o sea Ami y Laura. Eran largas las escaleras. A todos los que pasaron por Lluís el Piadós, Salud! A la comunidad de uruguayos-polacos en Australia, se extraña. A la banda de Barcelona, sois demasiados! Sole Arismendi, Jose Sopena, Ale, Chino y Nanu, (Antic forever!) Jan, Selim, Bengi, Tahir y Treysi, aguante Turquía! A bailar en la cocina con Caro Sales. Julio Cesar cherá, y Elena. Luis Fernández Frones, que manera de estar. Carola la chilena! A mi gran amigo filósofo de la vida y el fútbol Miguelinho Gomes y a la chica con más visión del mundo, la Sole y a Pedrinho. A la DJ Valentina. A mis camaradas de andanzas Matilde Elices, Maru Panizza y Gonzalo Correa. Juliana y Christof.

### **A la gente de la Universidad Autónoma de Barcelona, por su generosidad.**

A Gemma Guillazo, por haberme apoyado tanto, muchas veces lo necesité. Maite Martínez, Decana de la vida. Miquel Torregrosa, el Pep Guardiola de la puerta de enfrente y a Iago para no olvidarme. A Carme Viladrich, la metodóloga con más onda del mundo. A Miquel Domenech, no dejés de seguir viniendo crack. A Sonia Sánchez, Juan Muñoz, Josep Baques. A Toñi, a Isabel y el resto de la gente del departamento de Básica. A Santiago Estaún. A mis queridos compañeros con mucho cariño, Judit Mate, Anna Vilaró y Iker Puente.

A la gente de la Universidad de las Islas Baleares.

**A la gente del CIBPSI** sin la cual nada hubiera sido posible: Juan C. V.L., Ale C., Ale V., Gaby, Roberto, Emilia, Leandro, Rocío, Rocío, Helena, Victoria, Camila, Álvaro C., Álvaro M, y los nuevos. A los demás colegas de la Facultad de Psicología de la Udeler. A la gente de la Facultad de Información y Comunicación. A la gente del Media-Lab de FING.

**A toda la banda de los miércoles y todos los demás días:** Alfonso, Fede, Cucho, Nico, Indio, Pablo, Santi, Gastón, Seba, Negro, Sando, Isma, Rafa, Gus, Chuca. A Leo, Gaby, Zorro y Alvaro y Ewe y Martín, Aga la lista sigue... Y chicas por separado como corresponde: Ro, Mary, Anamar, Vito, Irene, Lu, Natalia, Paulina, Luján. Al gran Nico Mazzoni, Tania y familia y a su primo Diego, por esa conexión a la distancia.

En fin a todos, ya saben.



## **INDICE**

<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>PREFACIO</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>13</b>
1.1. Dimensión semántica de los objetos	13
1.2. Dimensión motora de los objetos	14
1.3. Contribución motora a la semántica de los objetos	15
1.4. Dinámica temporal de la contribución motora a la categorización de objetos	15
1.5. Aproximación experimental	16
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Perspectiva Histórica</b>	<b>19</b>
2.1.1. El dualismo sujeto-mundo en el desarrollo de la psicología cognitiva	20
2.1.2. Inferencia inconsciente de Helmholtz	21
2.1.3. Fenomenología de la percepción	22
2.1.4. Aproximación Ecológica a la percepción visual	23
<b>2.2. Teorías contemporáneas sobre el vínculo entre acción y percepción</b>	<b>27</b>
2.2.1. Sistemas dinámicos	28
2.2.2. Teoría del Emulador para la representación	29
2.2.3. La Hipótesis de la Competencia de Affordances	31
<b>2.3. Pruebas de la influencia motora en la semántica</b>	<b>33</b>
<b>2.4. Estudios comportamentales de facilitación visomotora</b>	<b>37</b>
2.4.1. Affordances en experimentos estímulo-respuesta (S-R)	38
2.4.2. Efecto de facilitación de la orientación del objeto en la respuesta del sujeto	39
2.4.3. Efecto de facilitación del tamaño del objeto en modos de respuesta específicos	40
2.4.4. Dinámicas temporales de las dos vías de la visión	41
2.4.5. Efectos visomotores en la categorización de objetos	42
2.4.6. El rol de la identificación del objeto en el efecto visomotor en la categorización de objetos	44
2.4.7. Niveles de atención al objeto en el efecto affordance	45
2.4.8. Limitación atencional al objeto en el efecto affordance	47
2.4.9. Efecto de facilitación global a partir de la affordance local	48
2.4.10. Dinámica temporal de la affordance según condiciones de procesamiento	48
2.4.11. Relación entre los efectos Simon y affordance	50
<b>2.5. Estudios de facilitación visomotora a partir de la visión de acciones</b>	<b>53</b>
2.5.1. Efectos de la visión de acciones sobre la ejecución de acciones	53
2.5.2. Efectos de la visión de acciones en la categorización de objetos	54
2.5.3. Sensibilidad temporal en efectos comportamentales de compatibilidad visomotora	56

<b>2.6. Relación entre temporalidad e intencionalidad de las acciones</b>	<b>57</b>
<b>2.7. Evidencia neurocientífica de la codificación visomotora de acciones y objetos</b>	<b>59</b>
2.7.1. Bases neurales para la visión de acciones (neuronas espejo)	59
2.7.2. Bases neurales para la codificación de affordance de objetos	62
2.7.3. Bases neurales de la integración semántico-motora	64
2.7.4. Bases neurales de la dinámica temporal de la integración motor - semántica	66
<b>3. TRABAJOS EXPERIMENTALES</b>	<b>69</b>
<b>3.1. Estudio 1 (parte fundamental)</b>	<b>73</b>
3.1.1. Objetivos	73
3.1.2. Resultados y discusión	74
<b>3.2. Estudio 2 (parte fundamental)</b>	<b>76</b>
3.2.1. Objetivos	76
3.2.2. Resultados y discusión	78
<b>3.3. Estudio 3 (parte no fundamental)</b>	<b>81</b>
3.3.2. Objetivos	81
3.3.2. Resultados y discusión	83
<b>3.4. Discusión general</b>	<b>85</b>
<b>3.5. Conclusiones</b>	<b>88</b>
3.5.1. Limitaciones	89
3.5.2. Perspectivas futuras	90
<b>4. REFERENCIAS</b>	<b>93</b>
<b>5. ANEXOS</b>	<b>111</b>
<b>5.1. Estudio 1 (parte fundamental)</b>	<b>111</b>
<b>5.2. Estudio 2 (parte fundamental)</b>	<b>131</b>
<b>5.3. Estudio 3 (parte no fundamental)</b>	<b>141</b>
<b>5.4. Artículo editorial (parte no fundamental)</b>	<b>167</b>

## **Resumen**

Las acciones realizadas sobre un objeto son experiencias fundamentales que contribuyen a la configuración de la información semántica de ese objeto. Por tanto, ante la visión de un objeto se recupera de forma automática la información relativa a las acciones asociadas con ese objeto. Al mismo tiempo, ante la visión de una acción determinada, la categorización de un objeto congruente con dicha acción podría verse facilitada.

De hecho, experimentos previos muestran que la visión de una acción frecuentemente asociada a un objeto facilita su categorización. Esta facilitación es sensible a la dinámica temporal con la que los estímulos son presentados y procesados. Esto se debe a que las acciones que realizamos sobre objetos frecuentemente responden a coordinaciones temporales muy específicas que se almacenan para habilitar interacciones correctas en el futuro.

En este trabajo, presentamos distintos experimentos donde se manipulan diferentes factores relacionados con la dinámica temporal de la facilitación de la visión de acciones sobre objetos en su categorización: el grado de simultaneidad de estímulos, la dinámica temporal de las acciones empleadas como facilitadores y las demandas de la tarea experimental (que influyen en el tiempo de procesamiento del objeto). Los resultados obtenidos muestran que estos tres elementos determinan cómo se produce la influencia motora en la categorización de objetos que, en algunos casos, da lugar a una facilitación pero, en otros, produce interferencia.

Nuestros resultados dan soporte a la perspectiva que sostiene que la dinámica temporal de la facilitación de acciones en la categorización de un objeto guarda relación con la dinámica temporal de la acción real realizada sobre ese objeto.





## **Abstract**

The actions that can be performed on an object are an essential part of the semantic information associated with that object. Therefore, viewing an object automatically triggers the actions associated with that object, just as observing an action could evoke objects associated with that action.

Several studies have shown that observing an action that is frequently associated with an object facilitates that object's categorization. The degree of facilitation depends on the temporal dynamics in which the stimuli are presented and processed, since object-directed actions we frequently perform, follow very specific temporal sequences that are stored to elicit correct interactions in the future.

In this work, we manipulated three different factors associated with the temporal dynamics of facilitation caused by the observation of object-directed actions on object categorization: the degree to which stimuli are presented simultaneously, the temporal dynamics of actions employed as facilitators, and the experimental task demands (which affect the time required to process the object). Our results indicate that these three factors determine how actions influence object categorization -both positively and negatively-, and support the notion that the temporal dynamics of the actions facilitation on object categorization are associated with the temporal dynamics of the actual action performed on the object.



## Prefacio

La presente tesis se presenta en formato de compendio de publicaciones. De acuerdo a los requisitos establecidos por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), se presentan como parte fundamental de la tesis dos publicaciones en revistas indexadas de las que el doctorando es primer autor. Por otro lado, dentro de la parte no fundamental de la tesis, se incluyen dos manuscritos adicionales: un artículo preparado para envío y un artículo de corte editorial ya publicado como introducción a un monográfico dedicado a la revisión de las teorías de *Embodiment* y neuronas espejo.

Los tres artículos incluidos en esta tesis que contienen resultados experimentales (estudios 1, 2 y 3) son los testimonios ofrecidos de la producción de investigación empírica que ha tenido lugar en el marco de la tesis. Se trata del resultado de seis años de trabajo marcados por una actividad intensa. Por cada experimento presentado en los referidos artículos hubo al menos otros cuatro experimentos realizados que finalmente no fueron incluidos en las publicaciones por diversas razones. Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de Percepción y Psicofísica de la UAB, en el Centro de Investigación en Psicología Básica de la Universidad de la República (Uruguay) y en el laboratorio de Visión y Acción de la Universidad de Plymouth (Reino Unido).

El artículo editorial anexo, por su parte, se incluye como muestra del trabajo teórico realizado durante el proceso de elaboración de esta tesis. Esta actividad ha llevado a la participación en diversos proyectos de investigación, desarrollo y promoción académica entre Montevideo y Barcelona, siempre contando con la colaboración de investigadores de Reino Unido, Argentina y Estados Unidos. Estas colaboraciones han dado lugar también a la publicación de tres capítulos de libro y tres artículos que no han sido incluidos en la tesis por no tratar su temática específica.

La tesis consta de cuatro partes.

1. Una introducción al problema de investigación.
2. Un marco teórico en el que se explican las ideas y antecedentes experimentales que guían y justifican la investigación.

3. Un resumen de los trabajos experimentales presentados (trabajos 1, 2 y 3), en el que se explican sus objetivos y conclusiones.
4. Los artículos publicados y el artículo preparado para envío en forma de anexos.

Las publicaciones incluidas en esta tesis son:

Parte fundamental.

**Estudio 1**

González-Perilli, F., Barrada, J.R., & Maiche, A. (2013). Temporal dynamics of action contribution to object categorization. *Psicologica*, 34(2), 145–162.

**Estudio 2**

González-Perilli, F. & Ellis, R. (2015). I don't get you. Action observation effects inverted by kinematic variation. *Acta Psychologica*, 157, 114–121.

Parte no fundamental

**Estudio 3**

González-Perilli, F. & Ellis, R. (in prep.). The role of object-based attention and object processing time on the interaction of mirror and affordance effects.

**Artículo Editorial**

Arévalo, A., Baldo, J., González-Perilli, F. & Ibáñez, A. (2015). Editorial: What can we make of theories of embodiment and the role of the human mirror neuron system? *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-3.

## **1. Introducción. Problema de investigación**

La presente tesis explora la dinámica temporal de la relación entre los aspectos motores y semánticos de los objetos percibidos visualmente.

El marco conceptual propuesto supone que existe una dimensión semántica del objeto que implica la detección de distintos atributos de este y su integración en un percepto unificado que puede ser reconocido. Dicha dimensión posibilita la comprensión del objeto por parte del sujeto. Además, también se asume que existe una dimensión motora que implica la relación entre los movimientos que ejecutan las personas y el objeto como potencial meta de interacción. Dicha relación se encuentra determinada por las capacidades biomecánicas del sujeto y las intenciones detrás de las acciones. El vínculo entre las dimensiones motoras y semánticas del objeto permite la contribución de información motora a la comprensión del objeto. A su vez, el conocimiento semántico del objeto influye en la programación motora.

Finalmente, se entiende que la relación entre las dimensiones motora y semántica se ve afectada por una dinámica temporal específica que depende de la forma en que los sujetos habitualmente interactúan con los objetos.

### ***1.1. Dimensión semántica de los objetos***

El acto de percibir un objeto desencadena la extracción de los atributos sensoriales que van a permitir su categorización. Esta categorización será más específica en la medida en que haya más información disponible para el sujeto, hasta el punto de alcanzar un alto grado de singularidad. Por ejemplo, es posible reconocer una tijera pero también será posible reconocer más específicamente una tijera para papel.

Las propiedades semánticas del objeto son las que permiten su categorización, es decir asociar la visión de este con una representación mental almacenada en la memoria a largo plazo (Quillian, 1968; Rosch & Lloyd, 1978; Tulving, 1972). Para la Psicología Cognitiva del siglo XX, esta asociación emplea una representación abstracta, discreta y amodal (Fodor, 1983). En la actualidad, no obstante, muchos investigadores creen que el acceso pleno a la información semántica del objeto da lugar a la evocación de información multidimensional con la que el objeto está relacionado (Barsalou, 1999; Cisek, 2007). Esta información no sería únicamente abstracta sino que apelaría a recursos cognitivos a cargo de procesos sensoriales y motores. Así, al percibir un objeto

se accede a atributos como tamaño, forma, color o textura, pero también a su función, la forma en que se manipula, el lugar habitual en el que se puede encontrar o su valor emocional y social, así como a aspectos más abstractos como la clase de objeto a la que pertenece. De este modo, para estos autores el acto de reconocimiento del objeto implica la integración de aspectos multidimensionales provenientes de distintas modalidades sensoriales, motoras y afectivas que se han asociado a la presencia de un objeto.

En esta línea, se ha propuesto que esta asociación se desarrolla en la medida en que los sujetos producen respuestas específicas, para determinados objetos. El mecanismo de abstracción que permitiría el almacenamiento de información del objeto no dependería de la creación de una representación discreta sino de una representación dinámica y pragmática organizada en función de las acciones con las que el objeto este vinculado (Cisek, 2007). De acuerdo con esta propuesta, en esta tesis se explora la contribución de los programas motores de acciones dirigidas a objetos en la representación semántica de estos.

### ***1.2. Dimensión motora de los objetos***

Una de las características más importantes de los objetos es la posibilidad de ser manipulados. En general podríamos decir que los seres humanos tienen hábitos bastante consolidados para interactuar con los objetos.

Algunos atributos de los objetos, como el peso y el tamaño, se identifican normalmente como los más determinantes en el momento de su manipulación, por ejemplo, con una o dos manos. Si bien los objetos permiten cierta diversidad de interacciones, esta aparece limitada por las posibilidades fisiológicas de los seres humanos y, al mismo tiempo, se ve guiada por cierta economía funcional. Existen formas canónicas de interacción con determinados objetos y, aunque puede haber más de una, éstas suelen distinguirse por el contexto o la intención que está detrás de la interacción (Borghi & Riggio, 2015).

En el marco de las investigaciones sobre el vínculo entre la percepción y la acción se suele argumentar que la existencia de múltiples programas motores de respuesta de alta especificidad provee un volumen de información muy rico que no debería ser descartado por el sistema cognitivo en los procesos de percepción. En este sentido, estamos de acuerdo con la idea de que la percepción puede ser comprendida muchas

veces como la otra cara de la acción (González Perilli, Barrada, & Maiche, 2013; Pulvermüller, Moseley, Egorova, Shebani, & Boulenger, 2014).

### **1.3. Contribución motora a la semántica de los objetos**

Muchos autores han propuesto que existe una relación de ida y vuelta entre la categorización semántica y la programación motora relativa a objetos (para una revisión véase Jirak, Menz, Buccino, Borghi, Binkofski, 2010). En líneas generales, podemos decir que la categorización semántica serviría para especificar programas motores tomando en consideración la identidad del objeto, al tiempo que la programación motora contribuiría con información manipulativa al conocimiento del objeto cuando este es percibido.

La influencia semántica es de utilidad al permitir, por ejemplo, la programación de una acción de agarre delicada sobre un objeto frágil y valioso (por ejemplo, un jarrón antiguo). Esto implica que, a nivel cinemático, el sujeto habrá de realizar una desaceleración del movimiento de alcance que realiza el brazo y un gesto de prensión manual lento (Jeannerod, 1992).

Mientras tanto, al percibir, el conocimiento motor permitirá al observador acceder a las implicaciones directas de interactuar con el objeto. Algunos teóricos afirman que esto le permitiría conectar con posibles experiencias, de naturaleza intencional, emocional e incluso social, enriqueciendo así los procesos de comprensión (para una discusión de este punto, véase Hickok & Sinigaglia, 2013). Por ejemplo, la visión de un vaso tendrá implícita la acción de agarrarlo para beber, pero también para brindar o para jugar a los dados. Las distintas evocaciones posibles son moduladas por el contexto y el estado actual del sujeto. Así, al observar a otro individuo agarrar un vaso, la forma en que realice la acción, así como el contexto, influirán en nuestra interpretación del vaso como recipiente de líquido o como elemento de un juego de azar.

Una manera de comprender cómo contribuyen las respuestas motoras a la categorización de objetos es atender a su dinámica temporal.

### **1.4. Dinámica temporal de la contribución motora a la categorización de objetos**

El hombre es capaz de producir respuestas motoras de altísima especificidad con una gran precisión espacial y temporal. Los parámetros cinemáticos de la acción nos



permiten distinguir entre dos acciones en la que un mismo objeto se agarra con finalidades diferentes, por ejemplo, para luego ser tirado a la basura o para ser puesto sobre una mesa (Marteniuk, MacKenzie, Jeannerod, Athenes, & Dugas, 1987). Es importante tener en cuenta que, si bien no todas las personas realizamos las acciones a la misma velocidad y de la misma forma, se ha visto que algunos parámetros cinemáticos son comunes a todas las personas (Sartori, Becchio, Bulgheroni, & Castiello, 2009; Sartori, Becchio, & Castiello, 2011). Por otra parte, diversas investigaciones señalan una altísima sensibilidad del sistema cognitivo humano para detectar estas diferencias tan sutiles en las acciones producidas por otros (i.e.: Becchio, Manera, Sartori, Cavallo, & Castiello, 2012).

En este sentido, consideramos la dinámica temporal en la que se produce la acción como un buen candidato para explicar la alta especificidad de la relación entre la respuesta motora y la categorización de objetos, tanto en el sentido acción-percepción como percepción-acción, ya que cada objeto tendrá asociado un conjunto de acciones condicionadas por dinámicas temporales específicas. Una manera de explorar esta relación es estudiar la respuesta del sujeto cuando observa una acción dirigida a un objeto mientras manipulamos la simultaneidad de la presentación de los estímulos y sus demandas de procesamiento.

### ***1.5. Aproximación experimental***

Los experimentos que presentamos en este trabajo se basan en el estudio de las respuestas de sujetos que observan una acción dirigida a objetos realizada por otros. La justificación de este método viene dada por la íntima relación entre los procesos dedicados a la preparación de las acciones realizadas por uno y la observación de las acciones realizadas por los demás, que ha sido comprobada en los últimos años por la exploración del sistema espejo (di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, & Rizzolatti, 1992; Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996a; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Así, en los estudios empíricos que presentamos, los participantes debieron observar una acción manual de agarre ejecutada sobre un objeto que debía ser categorizado, lo que implicaba acceder a su identidad.

Con el objetivo de explorar cómo la dinámica temporal de la programación de acciones contribuye a la categorización de objetos manipulamos distintos factores vinculados con

la temporalidad de la percepción de acciones dirigidas a objetos. Estos son la simultaneidad de presentación de acciones y objetos, la dinámica temporal de las acciones observadas y la demanda de procesamiento sobre el objeto requerida por la tarea experimental que implica distintos tiempos de procesamiento del objeto. Esperamos así contribuir a la comprensión del rol que juega la dinámica temporal en la contribución motora a la información semántica de los objetos.



## 2. Marco Teórico

La presente tesis explora el efecto de facilitación en la categorización de un objeto observado, producido por la visión y programación de una acción manual. El estudio se enmarca dentro de la perspectiva teórica que explora el vínculo entre percepción y acción. A continuación se repasan algunos de los antecedentes históricos de esta perspectiva (apartado 2.1). para luego presentar las teorías contemporáneas importantes en relación a nuestro estudio (2.2) y pruebas experimentales de la influencia de la programación motora en la codificación semántica (2.3). El marco teórico finaliza con una descripción de la línea experimental a la que pertenecen los estudios empíricos presentados en nuestro trabajo (2.4 y 2.5), una descripción de la relación entre la temporalidad e intencionalidad de las acciones (2.6) y de evidencias neurocientíficas que dan apoyo a las teorías y los estudios comportamentales descritos (2.7).

### 2.1. Perspectiva Histórica

Actualmente diversas propuestas teóricas consideran que el acto de percibir un objeto no puede ser comprendido sin considerar las características de la actividad asociada al objeto percibido. La noción de acoplamiento del sujeto con el entorno como determinante de cómo se percibe y se actúa es clave para estas visiones teóricas. Siguiendo a Shapiro (2011), referiremos al conjunto de estas propuestas como *Embodied Cognition (EC)*<sup>1</sup>.

Frecuentemente, las corrientes de EC se definen en oposición al modelo cognitivista clásico desarrollado a mediados del siglo XX (Calvo & Gomila, 2008; Cisek, 2007; Shapiro, 2011). Nos referimos al modelo asociado a la metáfora del ordenador, para el que el sistema cognitivo es un procesador de información recibida por vías de entrada (*input*) dedicado a resolver problemas y producir respuestas canalizadas en vías de salida (*output*) (Simon & Newell, 1962). La arquitectura de este modelo supone un sistema serial y jerárquico liderado por un sistema ejecutivo central, con áreas periféricas separadas dedicadas a la percepción y la producción de respuestas.

---

<sup>1</sup> El término *Embodied Cognition* fue introducido por Varela, Thompson y Rosch (1991), en el marco de su propuesta enactivista. En su trabajo de 2011, Shapiro repasa y compara distintas propuestas que describen una relación dinámica entre la cognición, el cuerpo y el entorno (enactivismo, cognición encarnada, cognición situada, cognición extendida, cognición como sistema dinámico). En ese trabajo se describen los puntos comunes y discrepancias de las distintas aproximaciones y se propone, por conveniencia, denominar a todo el conjunto como *Embodied Cognition (EC)*, la expresión más frecuente con las que este tipo de posturas son referidas en el campo. En este trabajo seguiremos la opción propuesta por Shapiro y hablaremos de EC para referirnos a ese grupo de teorías.

Frente a este tipo de modelo, las concepciones teóricas de EC proponen modelos cognitivos determinados por el acoplamiento del sujeto con el entorno y dotados de un control ejecutivo distribuido donde percepción, selección y ejecución de respuestas se solaparían en alto grado. Así, una de las principales fortalezas de las teorías de EC es que brindan una mayor capacidad explicativa a numerosas evidencias aportadas por las neurociencias (procesos paralelos, mecanismos predictivos, funcionamiento distribuido, etc.) que chocan con la rigidez del modelo cognitivo más clásico (ver apartados 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7). A partir de su reciente popularización, las teorías EC suelen presentarse como innovadoras o revolucionarias. Sin embargo, entendemos que deben comprenderse como actualizaciones de propuestas importantes en historia del pensamiento moderno que, por diversas razones, fueron desatendidas durante buena parte del desarrollo de las ciencias cognitivas. A continuación se explica la perspectiva teórica que propone que la división cartesiana entre cuerpo y alma estaría en el origen de la desatención al cuerpo y el entorno en la concepción de la cognición de la primera mitad del siglo XX (apartado 2.1.1). Luego se comentan las visiones de Hermann Von Helmholtz (como precursor destacado de la EC; apartado 2.1.2) y Maurice Merleau-Ponty (como antecedente teórico fundamental; apartado 2.1.3).

#### *2.1.1. El dualismo sujeto-mundo en el desarrollo de la psicología cognitiva*

En la segunda mitad del siglo XX, la acumulación de pruebas acerca del papel del cuerpo y el contexto en los procesos cognitivos (ver apartados 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7), así como el desarrollo de nuevas técnicas de investigación (por ejemplo, aplicaciones informáticas para el registro de tiempos de respuesta y técnicas de neuroimagen), comenzó a hacer evidente lo provechoso de introducir factores contextuales para acceder a visiones más completas del fenómeno cognitivo. Es en este marco que, sobre finales del siglo XX, comienzan a popularizarse las distintas teorías de EC, que replantean las perspectivas de los programas de investigación en ciencias cognitivas.

Algunos autores sugieren que la omisión de ciertos aspectos del fenómeno cognitivo operada en buena parte del siglo pasado responde a la visión epistemológica *realista* del positivismo imperante a comienzos del siglo XX que fuera tan importante en la fundación del Conductismo (Weir, 1986). Para Cisek (2007) la razón de esta actitud metodológica se remonta a la división entre cuerpo y alma introducida por René Descartes en el SXVII. Cisek propone que esta concepción de origen religioso habría

influido en la ciencia, promoviendo la distinción entre aquello que es abstracto (el alma) y aquello que es material (lo físico), lo que daría lugar a la visión de que puede existir un mundo físico real independiente de la actividad del hombre.

En los siglos sucesivos, las ciencias naturales se habrían beneficiado de esta división recortando su campo de estudio a aquello que es *objetivo*, mientras que las ciencias de la *psyque* fueron puestas en la dicotomía de dónde fundar su base empírica. Esta tensión se mantuvo viva en los primeros años de la Psicología, en las últimas décadas del siglo XIX. Cabe recordar que Wundt (1832-1920), considerado uno de los padres de la psicología experimental, empleó un método introspectivo y que William James reconocía la importancia del problema de la división sujeto – objeto (James, 1904).

Es con el advenimiento del conductismo a comienzos del siglo XX que se produce un fuerte giro en la Psicología hacia la realidad física, atenuando el interés por la realidad mental. Al conductismo le interesaba el comportamiento como principal evidencia para la psicología, minimizando el papel de las operaciones mentales y al mismo tiempo de sus bases biológicas.

Calvo y Gomila (2008) reconocen que el relevo del Conductismo por el Cognitivismo como marco conceptual hegemónico de la Psicología -a mediados del siglo XX- introdujo cambios importantes al recuperar el papel de lo mental. Sin embargo, entendemos que se habría mantenido cierta concepción dualista en la relación sujeto-mundo que no habría sido revisada sino hasta finales del siglo XX. Es entonces cuando las teorías EC recuperan la visión que busca poner en relación lo mental, lo fisiológico y lo ambiental, que ya había sido objeto de atención en el pasado.

A continuación presentamos tres autores que pueden considerarse como algunos de los principales antecedentes de las ideas EC: Hermann Von Helmholtz (1821-1894), Maurice Merleau-Ponty (1908-1961) y James Jerome Gibson (1904-1979).

### *2.1.2. Inferencia inconsciente de Helmholtz*

A principios del siglo XIX el fisiólogo y físico Hermann Von Helmholtz había propuesto que la sensación y la acción están vinculadas por leyes causales que se desarrollarían por medio de la práctica y estarían determinadas por las propiedades del cuerpo, el mundo y su interacción. De hecho, para Von Helmholtz las *impresiones visuales* se conformarían gracias al movimiento, a partir de los que el autor llamó

inferencia inconsciente. Repasamos un fragmento de *Los Hechos de la Percepción* de 1878 como muestra de su pensamiento:

*"Es fácil ver que moviendo nuestros dedos sobre un objeto podemos aprender la secuencia en la que las impresiones de este se nos presentan y que estas secuencias son las mismas sin importar el dedo que usemos. Es así que se alcanza el conocimiento de la configuración espacial de los objetos. Las evaluaciones sobre el tamaño del objeto resultan de las observaciones de la congruencia de nuestra mano con partes o puntos de la superficie de un objeto o a partir de la congruencia de la retina con parte de los puntos de la imagen retiniana.*

*Una extraña consecuencia, característica de las ideas en la mente de los individuos con por lo menos alguna experiencia, se sigue del hecho de que el ordenamiento espacial percibido de las cosas se origina en las secuencias en que las cualidades sensoriales son presentadas por nuestros órganos sensoriales en movimiento: los objetos en el espacio alrededor parecen poseer las cualidades de nuestras sensaciones. Estos parecen ser rojos o verdes, fríos o calientes, tener olor o sabor, y así. Aunque estas sensaciones sólo forman parte de nuestro sistema nervioso y no se extienden al espacio alrededor. Incluso cuando sabemos esto, la ilusión no cesa, porque es la verdad primaria y fundamental".*  
(Helmholtz, 1968, pág. 216, traducción propia)

La concepción teórica presentada en los escritos de Von Helmholtz comparte muchos puntos comunes con las propuestas que más tarde harán Merleau-Ponty, Gibson o muchos otros teóricos vinculados a EC.

### **2.1.3. Fenomenología de la percepción**

A principios del siglo XX, en tiempos en los que el conductismo se afirmaba como modelo hegemónico de la Psicología, Husserl (1853-1938) inauguraba una corriente que pretendía abandonar el exceso de *racionalismo* que se había hecho popular en la filosofía bajo el influjo del auge de las ciencias físicas: la *Fenomenología*. Su propuesta se centró en atender a las cosas en relación a cómo se presentaban a la conciencia del sujeto, es decir, no tomar como punto de partida de la comprensión del mundo a las formalidades de la física sino a las impresiones que se generaban en quien percibía – de ahí su célebre llamamiento “a las cosas mismas” (Husserl, 1913). El autor proponía dar

un giro al empirismo introduciendo la noción de *intencionalidad*, que remitía a la relación entre la realidad observada y la conciencia del observador. En otras palabras, el acto de comprender se inscribiría en una relación entre el objeto y lo que el objeto significa para el individuo, en lugar de en una relación entre un sujeto ingenuo y una realidad dada de la que este es interprete.

Maurice Merleau-Ponty, seguidor de Husserl, publicará en 1945 su *Fenomenología de la Percepción* (Merleau-Ponty, 1962), donde lleva al campo de la cognición las ideas generales de la fenomenología. El resultado es una propuesta en la que el papel del cuerpo y del entorno es fundamental. Así, la actividad del sujeto se describe como necesaria para posibilitar la percepción. El autor explica que, dado que todas las estimulaciones que el sujeto recibe han sido posibles gracias al movimiento precedente, el movimiento debe entenderse como la causa primera de la percepción (Merleau-Ponty, 1962).

Para Merleau-Ponty movimiento y percepción están tan ligados que se fundirían en un único fenómeno, del mismo modo que cuerpo y espacio conforman para el autor una única entidad, como demuestra el siguiente pasaje de su *Fenomenología de la Percepción*.

*"Cuando la dactilógrafa ejecuta sobre el teclado los movimientos necesarios, estos movimientos están dirigidos por una intención, pero esta intención no propone las teclas del teclado como ubicaciones objetivas. Ciertamente es que el sujeto que aprende a dactilografiar integra, al pie de la letra, el espacio del teclado a su espacio corporal."* (Merleau-Ponty, 1962, pág. 162)

Merleau-Ponty emplea también la noción de *estructuras* para comprender la organización de la información entre el sujeto, los otros individuos, los objetos y el entorno, lo que de alguna manera lo relaciona con la propuesta Ecológica de Gibson que se comenta a continuación.

#### *2.1.4. Aproximación Ecológica a la percepción visual*

La propuesta de la *Percepción Ecológica* de Gibson (1979) se relaciona con la de los autores que acabamos de comentar en el sentido de que concibe el movimiento del sujeto como parte inherente de la percepción visual. Para este autor, la acción del sujeto



configura la percepción a partir de una relación directa entre acción y objeto, que se intenta condensar en el concepto de *affordance*.

La expresión *affordance* es un neologismo creado por Gibson de difícil traducción al castellano, cuya traducción literal podría ser “aquello que admite”. La definición de *affordance* propuesta por el autor refiere a las posibilidades de acción que el sujeto puede encontrar en el entorno (Gibson, 1979). Es así que, para Gibson, percibir el mundo es evaluar las posibilidades de interacción que este brinda.

En su obra clásica *La Aproximación Ecológica a la Percepción Visual*, de 1979, Gibson introduce una descripción del hombre como un ser inserto en un medio (que le permite respirar y moverse) donde hay planos (sobre los que camina o bien son obstáculos o refugios), sustancias (cómo el agua, que también es un medio para el hombre cuando nada) y objetos. Estos son detectados a partir de la forma en que la luz que en estos se refleja llega a los ojos del sujeto. A partir de ahí, Gibson introduce la noción de *flujo óptico* para referirse a la estructura de haces de luz que llega al ojo desde el ambiente. Este *flujo óptico* presentará regularidades en su estructura relativas a los elementos que reflejan la luz y a las variaciones de los puntos de observación del sujeto. Estas regularidades se denominan *invariantes* y son posibles en la medida en que el sujeto accede a más de un punto de vista. Por ello, la percepción visual solo será posible a partir del movimiento del observador o del objeto. La constancia de las invariantes a través de distintas perspectivas enriquece la percepción de los distintos elementos, ya que brinda más información para distinguirlos unos de otros. La extracción de estas estructuras (invariantes) sería la base de la percepción. Gibson explica que la regularidad del cambio continuo permitirá al sistema perceptual entrar en sintonía (*tuning*) con la configuración lumínica de su entorno. Por tanto su concepción de la percepción es continua y directa. Lo que le distingue de la concepción cognitivista clásica que propone representaciones discretas asociadas a objetos. En la teoría de Gibson, en cambio, una invariante puede dar cuenta de varios objetos y un objeto puede estar presente en muchas invariantes. La alta singularidad de objetos y escenarios -y combinaciones de estos- a los que se enfrenta el sujeto se resolvería por medio de la operación de las invariantes, e incluso de invariantes de invariantes, esto es, estructuras complejas que incorporarían las regularidades de los objetos y las variaciones de estas ante distintos contextos. Así, la observación de la manipulación de un objeto por parte del propio sujeto u otro individuo implicaría una configuración especial que pondría en

relación las invariantes del objeto con los invariantes de la mano. De este modo, tanto la observación como la práctica de esta manipulación darían lugar a invariantes que asocian objeto y acción producida u observada. Por tanto, la *affordance* que implica el agarre del objeto sería el resultado de la repetición de la observación de la experiencia manipulativa.

A partir de su concepción dinámica, Gibson criticó el método experimental llevado a cabo por los psicólogos cognitivos de su tiempo al trasladar al sujeto a un entorno demasiado acotado (la situación de laboratorio). Desde su perspectiva, la intención de controlar todas las métricas conllevaba el riesgo de perder acceso a aspectos constitutivos del fenómeno estudiado. Sin embargo, sostuvo que los experimentos de laboratorio eran útiles porque permitían contar con condiciones controladas de investigación y habilitaban la replicabilidad.

En la actualidad, las nociones teóricas introducidas por Gibson inspiran multitud de investigaciones de laboratorio. Para ello, los investigadores han debido efectuar una adaptación de la teoría del autor hacia una versión representacionista para justificar el empleo de experimentos en el paradigma estímulo-respuesta (tal como se explica más adelante, en el apartado 2.4). Los trabajos presentados en esta tesis se enmarcan dentro de esta perspectiva.

A continuación se abordan algunas teorías contemporáneas sobre el vínculo entre percepción y acción, que consideramos continuadoras de la corriente que hemos venido comentando a partir de las visiones ofrecidas por Helmholtz, Merleau Ponty, y Gibson.



## **2.2. Teorías contemporáneas sobre el vínculo entre acción y percepción**

En la actualidad diversas propuestas teóricas de EC buscan explicar cómo el sistema cognitivo se sirve de la ejecución de respuestas concretas para producir la codificación que sustenta a la percepción. En general estas propuestas se basan en una combinación de formulaciones teóricas -como las reseñadas en el apartado anterior-, estudios comportamentales (apartado 2.4), análisis de casos clínicos (2.4.4), evidencias neurocientíficas (apartado 2.7) y simulaciones computacionales (i.e: Cangelosi & Harnad, 2001; Roy & Pentland, 2002; Steels & Spranger, 2008). Los estudios comportamentales en los que se basan las propuestas exploran cómo son facilitados los procesos cognitivos cuando el modo de ejecución de una respuesta solicitada a los participantes es congruente a algún nivel con alguna característica de un estímulo presentado. Múltiples estudios señalan una interacción entre cognición y planificación y/o ejecución motora (ver apartados: 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7). Sin embargo, no existe consenso acerca del grado de solapamiento que existe entre los procesos más ligados a la acción y los más ligados a la cognición. Para algunos, la acción es un proceso que contribuye a la cognición (Hickok, 2009; Mahon, 2014), mientras que, para otros, es un proceso constitutivo (i.e.: Pulvermüller et al., 2014).

Una posibilidad que permite la convivencia de propuestas constitutivas o contribuyentes es la de concebir la arquitectura funcional del aparato cognitivo como un sistema no lineal basado en la activación coordinada de múltiples áreas y procesos. De este modo no hace falta la descripción precisa del rol de distintos módulos discretos (motores o sensoriales) ya que se asume la interrelación permanente de los procesos. Muchos teóricos asociados con la perspectiva EC plantean concebir al sistema cognitivo como un sistema dinámico, esto es, un modelo que evoluciona en el tiempo, orientado a la búsqueda de equilibrios entre la energía proveniente de los estímulos y los estados del sistema cognitivo (Beer, 1995; Calvo, Laakso, & Gomila, 2008; Gomila, 2008; Horgan & Tienson, 1994).

A continuación describimos brevemente esta concepción general de la Cognición (2.2.1) y profundizamos a través de dos ejemplos concretos que resultan especialmente relevantes para el marco teórico de esta tesis: La *Teoría del Emulador para la representación* (Grush, 2004) y la *Hipótesis de la Competencia de Affordances* (Cisek,

2007). La *Teoría del Emulador para la representación* nos permitirá dar cuenta de cómo a partir de un sistema cognitivo dinámico se puede concebir el almacenamiento en la memoria a largo plazo de información proveniente de la ejecución de acciones. La *Hipótesis de la Competencia de Affordances* nos es útil para mostrar cómo seleccionar una acción -no necesariamente ejecutada- en el marco de un sistema dinámico puede permitir la codificación de información semántica.

### 2.2.1. *Sistemas dinámicos*

Actualmente distintos teóricos e investigadores proponen comprender el fenómeno cognitivo en términos de un sistema dinámico (Beer, 1995; Calvo, Laakso, & Gomila, 2008; Gomila, 2008; Horgan & Tienson, 1994; van Gelder, 1998). Estrictamente, esta concepción proviene de una formulación matemática que describe a un sistema cuyos estados varían en el tiempo, de modo que un estado  $(k+1)$  depende de un estado  $(k)$  anterior, que lo determina. La perspectiva adoptada es holística, centrándose en el estado actual del sistema cognitivo y su relación con los estados que le anteceden y suceden.

La adaptación de los sistemas dinámicos para describir el aparato cognitivo surge como una extensión de los modelos conexionistas (McClelland & Rogers, 2003; Rumelhart, McClelland, & Williams, 1986). Estos modelos basados en simulaciones computacionales describen el funcionamiento mental en base a redes interconectadas, generando complejas estructuras de información cuya constitución concreta es desconocida para el investigador. Podríamos decir que el paso de una red neural conexionista a un sistema dinámico se da al resaltar el factor tiempo. Esto implica que las estructuras de información que dan cuenta del funcionamiento cognitivo se modifican permanentemente de acuerdo a reglas internas y de acuerdo también a factores contextuales (en la medida en que estos cambian permanentemente). Como consecuencia de esto las estructuras identificadas dejan de ser estables y las representaciones que se pueden concebir pasan a ser necesariamente dinámicas.

Como se puede apreciar, la teoría ecológica gibsoniana (descrita en el apartado 2.1.4) es un buen ejemplo de la perspectiva dinamicista aplicada al fenómeno de la percepción visual. Gibson trata al flujo óptico como un continuo que se acopla con el aparato visual humano dando lugar al sistema visual.

En el marco dinamicista han sido especialmente estudiados los procesos de aprendizaje (Thelen, 1995). En estos procesos la capacidad predictiva del sistema juega un rol fundamental. El sistema debe tener necesariamente la posibilidad de predecir el resultado de una acción en curso y compararla con el estado sensorial efectivamente alcanzado. Así, ante la exposición a una situación novedosa el sistema hace uso de esos mecanismos recursivos (comparación entre la predicción y el estado alcanzado) que le permiten el ajuste y almacenamiento de secuencias de estados exitosos. Esto último es importante para que se dé la posibilidad de una codificación semántica del objeto que incorpore los elementos motores con los que está relacionado. Es decir, el almacenamiento esquemático de los estados exitosos alcanzados por el sistema podría brindar la información necesaria para la representación de acciones y objetos de base sensoriomotora. Sin embargo, ¿cómo sería posible la producción de un esquema a partir de un cúmulo de experiencias sensoriomotoras? La propuesta del Emulador de Grush (2004) ofrece una perspectiva teórica que a nuestro juicio resuelve satisfactoriamente este cuestionamiento.

### *2.2.2. Teoría del Emulador para la representación*

La Teoría del Emulador para la representación de Grush (2004) es un buen ejemplo de sistema dinámico aplicado a la cognición. Esta presenta como ventajas el resolver algunos de los principales problemas presentados por esta línea teórica dinamicista:

¿Cómo puede resolverse que acciones específicas sean responsables de dar lugar a conceptos abstractos, considerando la necesidad de establecer inferencias de casos particulares a generales, sin apelar a representaciones simbólicas amodales?

¿Cómo se puede evitar caer en un modelo del sistema cognitivo cuya extensión sea igual a la del mecanismo que se pretende describir?

Para resolver estas cuestiones, el autor propone un modelo explicativo con características predictivas (*feed forward*) basado en evidencias neurobiológicas. En una línea similar a la propuesta por Von Helmholtz y Gibson, Grush se centra en el vínculo entre la información a cargo de la programación motora y los cambios que el movimiento produce en la información sensorial.

El autor justifica su modelo teórico a partir de la descripción del funcionamiento de células del córtex parietal posterior (CPP) encargadas de la representación del espacio egocéntrico (Andersen & Buneo, 2002; Buneo & Andersen, 2006). Estas neuronas combinan información sensorial con información sobre la postura del sujeto, es decir, por un lado, señales relacionadas con qué es lo que se proyecta en la retina y en qué parte de la retina se proyectan y, por otro lado, por ejemplo, señales acerca de hacia dónde se orientan los ojos en relación a la cabeza o la posición de cuello o las piernas en relación al torso. Así, un estímulo podrá tener asociados un buen número de patrones de actividad en el CPP que serán funciones de señales espaciales y posturales. Estos patrones de actividad estarán asociados a su vez, con comportamientos motores, como agarrar con la mano izquierda, o un movimiento ocular dedicado a enfocar. Grush plantea que estas asociaciones se desarrollan a partir de la experiencia del sujeto. El funcionamiento, explicado antes, de las células de CPP refleja la complejidad de la información multisensorial que podría combinarse para dar lugar a asociaciones muy específicas.

Según Grush, el cerebro logra establecer estas asociaciones al construir un modelo de su propio funcionamiento o *emulador* -para el cual el cerebelo sería clave (Imamizu, Kawato, & Imamizu, 2012; Imamizu, 2010; Ito, 2002, 2008; Miall, Imamizu, & Miyauchi, 2000). Este emulador estaría a cargo de generar modelos esquemáticos de la experiencias reales a partir de copias eferentes producidas por el sistema motor y copias re-aférentes del sistema sensorial.

Es importante destacar que, a partir del funcionamiento descrito, el emulador sería capaz de realizar predicciones en línea (*on line*) en momentos de interacción real y, al mismo tiempo, comparar la predicción realizada con el resultado real de la interacción, con la finalidad de reducir el componente de ruido del proceso. Asimismo, podría proveer la información necesaria para la imaginación, a partir de la recuperación de las copias esquemáticas almacenadas, permitiendo una actividad neural distribuida al momento de la evocación.

Al comienzo de este apartado señalábamos que uno de los problemas teóricos de la perspectiva dinamicista de la cognición es el de resolver cómo generar representaciones que no sean símbolos amodales, pero al mismo tiempo que su anclaje empírico no

parezca depender de la recreación total de la experiencia. Retomando estos problemas podríamos decir que:

- El Emulador podría permitir la imaginación necesaria para la representación del objeto, al funcionar fuera de línea (*offline*).
- La evocación de procesos esquemáticos permitiría la producción de abstracciones basadas en la experiencia multisensorial.

Entendemos que la propuesta de la *Teoría del Emulador para la representación* es un buen ejemplo de sistema cognitivo dinámico capaz de explicar cómo la actividad del sujeto da lugar a representaciones de tipo distribuido que incluyen a la codificación motora. En el apartado que sigue veremos un ejemplo más concreto de cómo explicar la contribución motora a la representación semántica de objetos a partir de la programación de respuestas concretas adaptadas a las demandas del entorno: *la Hipótesis de la Competencia de Affordances (HCA)*.

### 2.2.3. La Hipótesis de la Competencia de Affordances

La propuesta teórica de Cisek (2007) plantea un modelo para el aparato cognitivo en el que distintas posibilidades de acción brindadas por el entorno (*affordances*) entran en competencia hasta que una es seleccionada. De este modo, la información sensorial se procesa en función de las distintas respuestas posibles que son especificadas en paralelo de acuerdo a su mayor adecuación al contexto y las necesidades del individuo.

A nivel neural la implementación de este modelo involucra la actividad de todas las áreas implicadas en la preparación de una respuesta, tanto sean sensoriales como motoras. Cisek, al igual que Grush, apoya su teoría en estudios acerca de la actividad del córtex parietal posterior, dado que si bien es una región tradicionalmente concebida como encargada de generar representaciones sensoriales se ha reportado que su actividad también se organizaría en función de la producción de acciones (Andersen, 1995; Andersen & Buneo, 2002; Kalaska, Scott, Cisek, & Sergio, 1997; Mazzoni, Bracewell, Barash, & Andersen, 1996; Platt & Glimcher, 1997; Snyder, Batista, & Andersen, 2000).

A diferencia de los modelos clásicos cognitivistas, la *Hipótesis de la Competencia de Affordances* no concibe un modelo serial jerárquico para el procesamiento de la



información, sino que la percepción está modulada por las acciones que son posibles realizar en un determinado momento. De modo que decidir qué tipo de acción va a tener lugar (por ejemplo, agarrar un vaso) está integrado en el mismo proceso por el que se resuelve la toma de decisión específica (agarrar un vaso con la mano derecha). Es así que en la percepción de un objeto, o sea, en los procesos relativos a la extracción de su información, estarán involucrados aspectos relativos a las acciones que tendrán a este objeto como objetivo, tanto los relativos a las que son efectivamente realizadas como a las que eventualmente son descartadas. Este proceso está determinado por el estado del sujeto y las características del contexto.

Se puede apreciar que el tipo de representación necesaria para este modelo es dinámica, está orientada a los objetivos de la acción y cambia en función de las demandas de la actividad en curso. Además, no es discreta y amodal, sino que resulta de una visión pragmática que integra aspectos sensoriales y motores, y es dependiente del contexto en que es evocada. En esta tesis adoptamos esta concepción de representación.

A continuación repasamos evidencias comportamentales acerca de la influencia de la programación motora en la codificación semántica y señalamos como estas sugieren la necesidad de concebir una representación pragmática en los términos de la *HCA*.

### **2.3. Pruebas de la influencia motora en la semántica**

Las investigaciones sobre el vínculo entre percepción y acción han señalado las influencias del procesamiento sensorial y la programación motora en distintos procesos semánticos.

En muchos casos el objetivo es revelar de qué modo los procesos de comprensión lingüística se ven influidos por la actividad sensoriomotora, que es incorporada a la tarea experimental mediante el modo de respuesta exigido o la selección de estímulos congruentes o incongruentes desde el punto de vista sensoriomotor y semántico.

Por ejemplo, la influencia motora en la codificación semántica se ha demostrado al comprobarse que la producción de movimientos facilita la comprensión de palabras que se refieren a dichos movimientos (Klatzky, Pellegrino, McCloskey, & Doherty, 1989). Un ejemplo clásico de esta influencia es el *efecto de compatibilidad de acción y oración* (*Action-Sentence Compatibility Effect, ACE*) (Glenberg & Kaschak, 2002; Glenberg, Robertson, Kaschak, & Malter, 2003). En estos trabajos, los investigadores propusieron que la comprensión de oraciones con verbos como 'dar' o 'recibir' activaba esquemas motores asociados con las acciones de mover el brazo hacia adelante o hacia el propio cuerpo. Más tarde estudios de electroencefalografía han demostrado el correlato neuronal del efecto *ACE* (Aravena et al., 2010).

Muchos experimentos dedicados a explorar el vínculo semántico-motor recurren a experimentos de tiempo de respuesta que exploran la asociación implícita entre la codificación motora y el acceso a la palabra (como en el caso del *ACE*). En otros casos se va más allá del acceso a la palabra y se intenta investigar la relación entre el procesamiento sensoriomotor y procesos más profundos de comprensión. Por ejemplo, se ha observado que la visión y producción de gestos es capaz de afectar la comprensión de mensajes verbales (Louwerse & Bangerter, 2005; Vigliocco, Vinson, Woolfe, Dye, & Woll, 2005). En esta línea, recientemente la relación entre acciones y la lectura de modismos (expresiones verbales típicas de una cultura) fue explorada en un estudio comportamental (Kacirik, 2014). En este estudio la expresión en inglés '*Stick your neck out*', que se emplea para decir que uno se expone a ciertos riesgos, pero que literalmente significa sacar la cabeza hacia adelante, vio favorecida su comprensión cuando los participantes efectivamente estiraban su cuello hacia adelante.

También evidencias neurocientíficas han brindado pruebas del vínculo semántico motor. Por ejemplo, se ha reportado que la escucha de palabras acerca de acciones relacionadas con distintas partes del cuerpo (como 'hablar' o 'caminar') activa zonas sensoriomotoras a cargo de la ejecución de movimientos con esas mismas partes del cuerpo (Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Kemmerer & Gonzalez-Castillo, 2010; Pulvermüller & Fadiga, 2010).

A partir del solapamiento propuesto entre la producción motora y codificación semántica se han desarrollado propuestas que afirman que la realización de gestos favorece procesos de pensamiento abstracto y aprendizaje (Goldin-Meadow, 2006) como en el caso de la resolución de problemas matemáticos (Mowat & Davis, 2010).

Uno de los desafíos más importantes de los estudios que investigan el vínculo motor-semántico remite al caso de los conceptos abstractos (como 'libertad'), dado que estos frecuentemente no remiten a una actividad motora concreta. No obstante, existen evidencias acerca de la activación de áreas dedicadas al control de movimientos de rostro y brazos (frontocentrales y occipitotemporales) ante la lectura de palabras abstractas, en etapas tempranas de procesamiento (100-200 ms) (Moseley et al., 2013). En este estudio se encontró actividad en áreas cerebrales tradicionalmente entendidas como lingüísticas (Wernicke, Broca, córtex fusiforme), pero también en áreas asociadas con la producción de movimientos lo que sugiere que el vínculo entre la palabra y el significado puede estar mediado por la expresión de los estados internos de la acción.

A partir de evidencias como las que hemos comentado se han propuesto distintas visiones teóricas que pretenden incorporar la relación semántico-motora al lenguaje. Entre estas, ha tenido gran acogida la asociada a la teoría de *simulación* para el lenguaje (Barsalou, 1999; Damasio, 1994; Damasio, Tranel, Grabowski, Adolphs, & Damasio, 2004; Glenberg & Kaschak, 2002; Pulvermüller, 2005; Taylor & Zwaan, 2008) que propone la existencia de "símbolos perceptivos". Según esta visión, al ser evocados, los símbolos perceptivos apelarían a la actividad de las áreas neurales sensoriales, motoras o asociativas que típicamente se activan ante la presencia del objeto al que refiere el símbolo, así su significación se nutriría de *trazas de experiencia*. De este modo, no serían del todo arbitrarios sino que estarían motivados por las experiencias a las que están asociados.

Entendemos que conviene ser prudente con esta concepción de simulación. Si bien busca resolver el anclaje del significado y se apoya en evidencias empíricas, de algún modo se asume la arbitrariedad de la representación tal como lo hace la perspectiva cognitivista clásica. Es decir, se asume que la comprensión se da en términos de una activación de trazas experienciales, multisensoriales y motoras asociadas a situaciones extralingüísticas, pero no queda claro cómo se realiza la selección de una traza de experiencia por encima de otras, algo imprescindible para que el símbolo remita a un referente concreto y no a un conjunto de experiencias demasiado vasto.

Una posibilidad para resolver este problema, sin apelar al empleo de símbolos amodales, es comprender la simulación como emulación (Blakemore & Decety, 2001; Grush, 2004; Wilson & Knoblich, 2005). Es decir, concebir el anclaje empírico de la codificación semántica a partir de la elaboración de una copia esquemática del estado mental y neural relativa a una determinada acción, resultante del funcionamiento predictivo del cerebro. Es así que el proceso perceptivo no se lleva a cabo de un modo pasivo y dependiente del estímulo, sino que el sistema intenta anticipar el curso de la interacción en la línea propuesta por Grush (2004), Cisek (2007) y otros teóricos (Jacob & Jeannerod, 2005; Wolpert, Doya, & Kawato, 2003). Para que esto sea posible es necesario que el cerebro genere una señal predictiva que implica una anticipación de cómo espera el sistema que la interacción vaya a desarrollarse (Grush, 2004; Wilson & Knoblich, 2005).

De acuerdo con la propuesta descrita comprendemos que la representación visual del mundo está dominada por la utilidad de la información para la acción más que por su utilidad descriptiva. Otro aspecto de esta visión que es teóricamente relevante para nuestra tesis es que su concepción de representación no es absolutamente estable. Es decir, no se espera que ante la visión de un estímulo se produzcan siempre las mismas asociaciones. Por el contrario la representación depende del contexto pragmático (Umiltà et al., 2001). Tal como plantean Smeets y Brenner (2008) diferentes propiedades de la representación del objeto controlan diferentes tipos de procesos. Por esa razón no hace falta concebir algo como “la” representación del objeto, que deba guiar a la acción en todos los casos. Entendemos que esta visión es congruente con la variabilidad de los efectos visomotores en la codificación semántica, estudiados en esta tesis.

Un elemento de esta noción de representación dinámica especialmente atendido en este trabajo es el tiempo ya que las experiencias detrás de la conformación de la representación tienen lugar con dinámicas temporal específicas. De allí nuestro interés en explorar como la representación del objeto es sensible a las condiciones temporales en que es evocada. En el apartado siguiente, profundizamos en la línea de investigación experimental en la que se enmarca la parte empírica de esta tesis: los estudios de facilitación visomotora en la categorización de objetos.

## **2.4. Estudios comportamentales de facilitación visomotora**

Esta tesis está dedicada al estudio del efecto de la visión de acciones típicamente producidas sobre un objeto sobre la ejecución de respuestas a tareas que implican la categorización de ese objeto. Este efecto es un buen ejemplo de la contribución de la acción a la semántica, que hemos comentado en apartados anteriores. En este trabajo pretendemos profundizar en el conocimiento de este fenómeno a través de la exploración de su dinámica temporal.

El método experimental empleado con este fin sigue el modelo de facilitación (*priming*) entre estímulos, presentando como facilitadores imágenes animadas de gestos manuales y como estímulos objetivo (*target*) imágenes de objetos, y registrando respuestas sobre teclas o botones.

En el marco de este método experimental, la facilitación de las distintas clases de gestos sobre las distintas clases de objetos se determina a partir del análisis de los tiempos de respuesta y tasas de acierto. Las condiciones que reflejan tiempos de respuesta más cortos y tasas de acierto más altas se interpretan como facilitadas. Cuando un gesto de agarre facilita la identificación de un objeto se entiende que existe un vínculo entre ambos mediado por las características interactivas que les son comunes. La posibilidad de que la facilitación se produzca a causa de otras características comunes de los estímulos (por ejemplo, su localización espacial) se controla especialmente. Por su parte, las condiciones temporales de presentación de estímulos se manipulan para explorar las dinámicas temporales de los efectos.

Se ha planteado que los diseños experimentales como el descrito implican en alguna medida adaptar una propuesta teórica de inspiración no representacionista y dinámica (como la Teoría Ecológica de Gibson, antes mencionada) a una metodología basada en la selección de estímulos discretos en el marco del paradigma de procesamiento de información (Proctor & Miles, 2014). Esta adaptación puede arrastrar algunas contradicciones, y ha inspirado distintas elaboraciones teóricas que buscan justificarla (Neisser, 1994; Shepard, 1984). Por ejemplo, Shepard (1984) apela al concepto de resonancia (similar al concepto de simulación descrito en el apartado anterior) para justificar como las experiencias descritas desde la perspectiva ecológica pueden dar

lugar a una idea de representación que pueda emplearse en experimentos de psicología cognitiva.

#### 2.4.1. *Affordances en experimentos estímulo-respuesta (S-R)*

Los trabajos de Ellis y Tucker en la Universidad de Plymouth han sido especialmente pioneros en la investigación sobre el vínculo entre acción y percepción, al establecer el vínculo directo entre componentes motores de objetos observados y modos de respuesta empleando un paradigma experimental de compatibilidad estímulo-respuesta (S-R) (Tucker & Ellis, 1998).

Ellis y Tucker estaban interesados en llevar las concepciones ecológicas, y en particular el concepto de *affordance* gibsoniano aplicado a objetos (ver apartado 2.1.4), a condiciones de laboratorio, en una línea similar a la que ya había sido empleada por Michaels (1988, 1993). Esta investigadora había sugerido que la detección de *affordances* de los objetos podría funcionar como facilitadora en experimentos S-R, a pesar de que estos experimentos tradicionalmente se enfocaban en asociaciones abstractas (i.e.: *Simon* o *Stroop*). En su estudio de 1988, Michaels realizó una prueba computarizada muy sencilla en la que mostró que la dirección en la que se movía un estímulo rectangular facilitaba una respuesta lateralizada congruente. Esta facilitación no fue relativa a la ubicación absoluta en la que era presentado el estímulo sino a la dirección a la que este se dirigía, por lo cual supuso que se trataba de algo más que una simple compatibilidad espacial. Los resultados fueron interpretados como una prueba del efecto de la *affordance* del estímulo en movimiento que favorecía una respuesta manual lateralizada independientemente de la localización absoluta del estímulo.

Hay que destacar que, en el marco del paradigma S-R, a comienzos de los años 90 se habían popularizado estudios acerca de la compatibilidad espacial automática -o efecto *Simon* (Simon & Rudell, 1967; Simon & Small, 1969). La interpretación habitual de este efecto remitía a una asociación entre una característica visual del estímulo (típicamente su presentación en uno de los hemisferios) y un código de respuesta (Kornblum, Hasbroucq, & Osman, 1990; Lu & Proctor, 1994), una interpretación apoyada por evidencias psicofisiológicas (Eimer, 1995). Una línea de interés de la época era poder discernir qué parte de estos efectos era producida por un código espacial abstracto y qué parte podía remitir a un código de respuesta motora del tipo *affordance*.

#### 2.4.2. Efecto de facilitación de la orientación del objeto en la respuesta del sujeto

En su estudio de 1998, Tucker y Ellis se propusieron explorar cómo la presentación visual de objetos con una parte agarrable saliente orientada a la izquierda o la derecha, influía en la codificación de una respuesta lateralizada. Para esto solicitaron a los participantes juzgar si un grupo de objetos estaban presentados con su orientación vertical típica o invertida. En dos de los tres estudios presentados en ese artículo, los objetos aparecían con su parte agarrable (por ejemplo: mango de una sartén) orientado a la izquierda o la derecha, un aspecto irrelevante a la tarea pero que generaba una condición de compatibilidad en relación con la ubicación lateralizada de dos botones con los que debía producirse la respuesta. Los participantes respondieron más rápidamente a objetos cuya parte agarrable estaba orientada de forma congruente con la ubicación de los botones. Este fenómeno se dio a conocer como efecto de *orientación*.

Con estos resultados Tucker y Ellis tuvieron éxito en demostrar una vía directa y automática, de influencia entre percepción y acción. Sin embargo en su artículo reconocen que su concepción de *affordance* se distancia de la originalmente propuesta por Gibson. Mientras en la versión original se describe un fenómeno no mediado por ninguna representación (ver apartado 2.1.4), Tucker y Ellis definen a su efecto *affordance* como una disposición en el sujeto operada por el objeto. Los autores conceden así que su versión de la *affordance* es representacionista, diferenciándose de la concepción de Gibson para quien la *affordance* no se encontraba ni en el sujeto ni en el mundo exterior. Con esta formulación, los investigadores inauguran una línea de trabajo que aporta evidencias empíricas del *efecto affordance* para fenómenos concretos dejando en suspenso la conexión con la perspectiva más holística y dinámica propia de la teoría ecológica en la que se inspiran.

Es relevante mencionar que la solución teórica de Tucker y Ellis resulta similar a la de otro investigador interesado en el vínculo entre percepción y acción, Bernhard Hommel. Este investigador propuso la existencia de un código común para la acción y su efecto (Hommel, 1997); una propuesta anticipada por la Teoría del código común elaborada por su colaborador Wolfgang Prinz (1990) y que luego se completaría con la Teoría del código de evento (TEC) (Hommel, Müssele, Aschersleben, & Prinz, 2001). Sin embargo una diferencia importante entre la propuesta de Hommel y la de Tucker y Ellis radica en que estos últimos argumentan en favor de un vínculo directo entre visión y



acción (o sea un tipo de representación en la que percepción y acción se fusionarán en un continuo) mientras que para Hommel sería un código abstracto el que operaría de mediador entre estos procesos.

#### *2.4.3. Efecto de facilitación del tamaño del objeto en modos de respuesta específicos*

Más tarde, Ellis & Tucker, (2000) extienden su investigación explorando la influencia de las *affordances* de los objetos sobre modos de respuesta específicos. Mientras en su trabajo anterior las respuestas se producían presionando sobre botones asignados a cada una de las manos, en este nuevo experimento los participantes contaban para dar sus respuestas con dispositivos que emulaban distintos gestos de agarre: un dispositivo que exigía la presión con el pulgar y el índice (simulando un agarre de precisión) y otro dispositivo que exigía el agarre con toda la mano (agarre de fuerza). En este estudio se incluyeron objetos que debían ser memorizados por los participantes, una mitad era típicamente manipulable con un agarre de fuerza y la otra mitad con un gesto de precisión. La consigna del experimento era presionar uno de los dispositivos de acuerdo a una clave sonora (de forma aleatorizada se incluían dos tipos de señales, una para cada tipo de dispositivo). Los resultados mostraron que la presentación de los objetos facilitaba las respuestas compatibles. Las respuestas ejecutadas con un agarre de fuerza fueron más rápidas en los casos en que era presentada la imagen de un objeto manipulable con ese tipo de gesto. Mientras que para las respuestas emulando un agarre de precisión las menores latencias se dieron ante la visión de objetos pequeños. Estos resultados demostraron que el efecto visomotor podía ser obtenido a través de una asociación que no implicaba la coincidencia espacial entre la ubicación del estímulo y el botón de respuesta. Sino que la asociación se establece entre la configuración de la mano del sujeto y las propiedades visuales de los objetos. A partir de este hallazgo, Ellis y Tucker (2000) introducen la expresión *micro-affordances* para referir a propiedades disposicionales del cerebro del observador relativas a acciones específicas asociadas a características físicas de los objetos observados.

En su manuscrito del año 2000, los autores reconocen que las *micro-affordances* dan cuenta de asociaciones visomotoras básicas mientras que la facilitación que depende del acceso a la función del objeto necesita de una mediación semántica que daría lugar a una *affordance* de más alto nivel.

Para esta distinción entre *micro-affordance* y facilitaciones visomotoras de más alto nivel es importante considerar la hipótesis de las dos vías de la visión (Goodale & Milner, 1992; Ungerleider & Mishkin, 1982) que sostiene la existencia de dos procesos corticales distintos para la información visual sirviendo por separado a procesos semánticos (vía ventral) y motores (vía dorsal). Las *micro-affordances* serían procesadas principalmente por vía dorsal -asociadas a las características espaciales y motoras del objeto- en tanto que la *affordance* de más alto nivel necesitaría además de la contribución de información ventral, de naturaleza semántica.

#### *2.4.4. Dinámicas temporales de las dos vías de la visión*

Goodale & Milner (1992) establecieron la división funcional para la información visual procesada por el cerebro fundamentalmente a partir del estudio de la paciente D.F., una mujer joven que había sufrido una lesión cortical (bilateral en la vía ventral) como resultado de una intoxicación con monóxido de carbono. Luego del accidente, D.F. no podía identificar los objetos que tenía enfrente por lo cual se autodefinía como ciega; estrictamente D.F. había desarrollado agnosia visual. Sin embargo, a partir de experimentos de laboratorio se comprobó que una parte no lesionada de su sistema visual (lóbulo parietal) le permitía agarrar y manipular objetos con precisión casi normal (introducir discos en ranuras, por ejemplo).

El estudio de la localización de la lesión de D.F. y su comportamiento relativo a la información visual permitió a los investigadores confirmar la división funcional de las vías dorsal (interacción) y ventral (identificación) que ya había sido anticipada por Ungerleider & Mishkin, (1982) (cómo las vías del 'qué' y el 'dónde'). Pero además, les permitió establecer que el control de las acciones dirigidas a objetos era dependiente de que el objeto estuviese accesible al sistema visual.

Por medio de experimentos con sujetos sanos Milner y Goodale confirmaron que cuando la información visual deja de estar disponible la vía dorsal pierde la capacidad de control (*en línea*), y es la vía ventral la que provee la información necesaria para la acción (Milner & Goodale, 2006). Este fenómeno fue comprobado al registrarse movimientos muy imprecisos en participantes que debían iniciar su movimiento luego de que el objeto al que se dirigían desaparecía (control aplazado). Los autores explican este fenómeno argumentando que mientras la información de base dorsal no puede almacenarse -ya que debe renovarse permanentemente para permitir el control fino de la

acción- la información procesada por la vía ventral sí, aunque la información recordada no es capaz de producir un movimiento tan refinado como el habitualmente ejecutado.

El fenómeno de la limitación dorsal en el almacenamiento de información ha sido más tarde confirmado por diversos estudios dedicados al control aplazado (i.e: Cohen, Cross, Tunik, Grafton, & Culham, 2009). De especial interés son aquellos que emplearon estímulos basados en ilusiones ópticas como la Müller-Lyer. En estos experimentos se instruye a los participantes a agarrar estímulos con la formas típicas de la ilusión. Bruno y Franz (2009), han repasado 18 estudios sobre el papel de la vía dorsal y ventral en la estimación de la ilusión Müller-Lyer. En estos estudios se observó que el control en línea (*on line*) del agarre no reflejaba los errores perceptivos a los que induce la ilusión (medidos a partir de la apertura de la mano de los participantes). En cambio, el control aplazado sí reflejaba el error de estimación típico al ser dirigido por áreas ventrales. Bruno y Franz concluyen en su meta-análisis que, cuando un estímulo que comienza a ser procesado desaparece del campo visual, la información para la interacción motora con el objeto decae de manera drástica (aproximadamente a los 500 ms) dando lugar a un gesto de agarre impreciso. Estas evidencias son relevantes para los estudios de facilitación visomotora ya que sugieren una limitación temporal para la influencia de la información de base motora en la percepción de objetos que dejan de ser visibles. Esta cuestión es específicamente atendida en el estudio 1 de esta tesis.

#### *2.4.5. Efectos visomotores en la categorización de objetos*

En una serie de experimentos incluidos en un artículo publicado en 2001, Tucker y Ellis solicitan a los participantes responder categorizando una serie de objetos grandes y pequeños, como naturales o manufacturados y, al mismo tiempo, manipulan distintas condiciones experimentales referidas a la temporalidad de la presentación de los estímulos. Un aspecto relevante de este trabajo en relación a esta tesis es que en este caso se exploraba una facilitación mediada por el acceso a la identidad del objeto (categorización).

En ese estudio se empleó un paradigma *go-no go*, los participantes respondían a una sola categoría (natural) y se inhibían de responder cuando el objeto presentado era manufacturado. Las respuestas se efectuaron con los dispositivos emulando gestos de agarre (empleados en Ellis & Tucker, 2000). Una señal sonora indicaba a los participantes con cuál de los dos dispositivos debían responder. A lo largo de cinco

experimentos se manipularon el tiempo de presentación de los objetos empleados como facilitadores y los intervalos de presentación de estímulos (facilitadores y claves sonoras que señalaban al participante con que dispositivo debía responder). En tres de los estudios se encontraron efectos de congruencia entre tamaño del objeto y tipo de agarre (*affordance*). Esta facilitación se produjo cuando el objeto se mantenía visible o era removido inmediatamente antes de la señal sonora. No se produjo este efecto en dos casos: cuando los participantes ya habían seleccionado su modo de respuesta -a partir de la clave sonora- 500 ms antes de observar el objeto y cuando el objeto desaparecía 300 ms antes de que el modo de respuesta fuera anunciado.

Estos resultados apoyaban la hipótesis de que la contribución visomotora a la tarea categorización sería de naturaleza transitoria. Lo cual era compatible con la evidencia reportada acerca de las características del procesamiento visual de base dorsal a cargo del procesamiento motor (Goodale & Humphrey, 1998; Milner & Goodale, 2008). Pero además en ese estudio se analizaron por separado distintos quintiles de los tiempos de respuesta recogidos para cada experimento encontrándose que los efectos de compatibilidad eran más grandes cuando los tiempos de respuesta eran más altos.

Los autores concluyen que la posible transitividad de origen dorsal del efecto *affordance* solo se vería con respecto a la presencia o ausencia del objeto ya que cuando el objeto permanece disponible a la visión el efecto tiende a aumentar con el paso del tiempo; reflejando la posibilidad de un proceso creciente de integración de información asociado a la categorización del objeto.

Confirmando este hallazgo, Philips y Ward (2002) presentaron un estudio empleando objetos con partes de agarre destacadas (sartén, colador) que podrían aparecer al centro a la izquierda o a la derecha de una pantalla. A estos les precedía – bajo distintas condiciones de asincronía (SOA: 0, 400, 800 y 1200 ms)- una señal visual que indicaba a los participantes con que tecla debían responder. Las respuestas fueron lateralizadas y ejecutadas con pies y manos (para estas últimas también con las manos cruzadas). Los resultados de este estudio mostraron efectos de orientación en todas las condiciones con lo cual demostraron que el efecto no era dependiente de la ejecución de una respuesta manual específica sino que se producía en un nivel más abstracto. Además, en la línea de Tucker y Ellis (2001) constataron que los efectos se hacían más robustos en la

medida que el tiempo de presentación, y por ende de procesamiento del objeto era más largo.

A partir de estos resultados se establece que el tiempo es un factor determinante para la elaboración del efecto de *affordance*, que supone la integración de una información visual en un código de respuesta motor, el cual depende de un cierto tiempo de procesamiento.

#### *2.4.6. El rol de la identificación del objeto en el efecto visomotor en la categorización de objetos*

Poco después Tucker y Ellis (2004) presentan un estudio en el que se pone a prueba el efecto de *affordance* bajo presentaciones muy breves (20-300 ms) de objetos que debían ser categorizados como naturales o manufacturados. En este estudio las respuestas se producían presionando sobre los dispositivos de respuesta que emulaban agarres de fuerza o precisión (Ellis & Tucker, 2000). Los resultados mostraron efectos incluso para las condiciones más breves en las que el objeto se presentaba, siempre que alcanzara a identificarse. No encontraron que el efecto fuese mayor cuando el estímulo era presentado por más tiempo, hasta 300 ms (lo que no debe confundirse con la evidencia de que el efecto aumenta cuando los TR son mayores). Por tanto se concluyó que el desarrollo temporal del efecto antes reportado no depende de la disponibilidad visual del objeto siempre que este llegue a ser identificado. Esto implica que la disponibilidad visual del objeto en momento de la ejecución de la respuesta no es necesaria para la aparición del efecto. Lo que sugiere que el proceso de integración de información semántica y motora se produce a partir de la identificación del objeto y su influencia puede subsistir luego de la desaparición del objeto. (Este efecto sería más tarde confirmado en un estudio en que los participantes respondían 700 ms después de la presentación de objetos que debían ser recordados, Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006).

Además en este estudio se incluyó un experimento en el que las imágenes de objetos empleadas como facilitadores fueron substituidas por palabras que representaban objetos. El hallazgo de efectos en esta condición confirmó que la automaticidad del efecto producido por vía semántica. Es así que se confirma que el efecto de *affordance* producida por un objeto incluye una contribución semántica y no es únicamente dependiente de la actividad transitiva de la vía dorsal de la información visual.

#### 2.4.7. Niveles de atención al objeto en el efecto *affordance*

Las evidencias repasadas muestran que el efecto *affordance* puede ser encontrado cuando los participantes atienden a la posición (Tucker & Ellis, 1998) o a la identidad del objeto (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001; 2004), que el tiempo de separación entre estímulos afecta a la aparición del efecto (Tucker & Ellis, 2001) que el efecto crece cuando el objeto es procesado por más tiempo (Phillips & Ward, 2002; Tucker & Ellis, 2001) y que la asociación visomotora se produce a nivel de la percepción y no en el proceso de ejecución de la respuesta (Tucker & Ellis, 2004).

Esta caracterización sugiere que la recuperación automática de información relativa a la interacción (*affordance*) depende de la tarea solicitada al participante, la que podrá demandar distintos niveles de atención al objeto, lo cual se reflejará en el tiempo de procesamiento a este. Esta interacción es as su vez afectada por el grado de simultaneidad con el que aparecen los estímulos.

La interrelación de los factores mencionados afectando al efecto *affordance* (atención, dinámica temporal y demanda de la tarea experimental) ha sido explorada en la búsqueda de disociar el efecto *affordance* de asociaciones puramente espaciales como las que ocurren en el efecto *Simon*<sup>2</sup>.

Este es el caso del estudio de Symes, Ellis y Tucker (2005) en el que se explora el efecto de orientación (Tucker & Ellis, 1998) a partir de una serie de experimentos a través de los cuales tanto la tarea solicitada, como la localización de los estímulos son variados. Por una parte, la ubicación del objeto y su orientación son manipulados al mismo tiempo (esto es, los objetos aparecían orientados hacia la derecha o la izquierda en cualquiera de los hemisferios visuales). Luego, las condiciones de atención sobre el objeto son variadas a través de las tareas propuestas dado que en dos experimentos se respondía a la categoría del objeto y en otro a su color. Por su parte las respuestas fueron recogidas por medio de respuestas manuales pero también ejecutadas con los pies; lo

---

<sup>2</sup> Esta disociación entre los efectos *Simon* y *affordance* ha sido especialmente explorada dada su relevancia teórica ya que algunos autores han propuesto comprender el efecto de *affordance* como un efecto atencional espacial en el que los recursos cognitivos son dirigidos a la parte más saliente del objeto (Anderson et al., 2002). Una discusión de este asunto se ofrece en el apartado 2.4.11.

que permitía explorar si los efectos dependían de la ejecución de una respuesta específica o podrían ocurrir por la influencia de una representación más abstracta de la información motora -como se había sugerido (Tucker & Ellis, 2004).

Los resultados arrojaron efectos de *Simon* (congruencia entre el lado donde se produce la respuesta y el hemicampo en que se presenta el objeto) y *affordance* (coincidencia entre la orientación de la parte agarrable del objeto y el lado de respuesta del participante) tanto para las respuestas manuales como las efectuadas con pies siempre que se respondía a la categoría del objeto. En tanto solo se obtuvieron efectos *Simon* cuando los participantes decidían sobre el color. De este modo se demostró que los efectos *Simon* y *Affordance* pueden ser disociados. Además sugieren que el acceso a la información semántica del objeto puede ser determinante para la aparición del efecto *affordance*, reflejando el acoplamiento entre percepción y acción en un nivel abstracto y no dependiente de ejecución de una respuesta específica. (Este resultado sería más adelante confirmado por otros estudios que encontraron efectos de congruencia cuando las respuestas fueron efectuadas por medios que no involucraban ejecución motora; i.e: Kalénine, Mirman, Middleton, & Buxbaum, 2012; Lee, Middleton, Mirman, Kalénine, & Buxbaum, 2012).

El hecho de que en ese estudio el efecto de *affordance* solo se encontrara cuando los participantes debían responder a la categoría del objeto sugirió que el objeto debería ser percibido “como un objeto” -en palabras de los autores- y no como un estímulo abstracto de uno u otro color, para que la información interactiva del objeto fuera recuperada. Los autores sugieren así que el nivel de atención dedicada al objeto es clave para la automaticidad del efecto *affordance* en mayor medida que para el efecto *Simon*. Otro dato relevante arrojado por este estudio proviene del análisis en distintos cuartiles de los tiempos de respuesta. Estos análisis mostraron que la magnitud del efecto *Simon* disminuía cuando los TR se hacían más altos mientras que por el contrario para el caso de *affordance* las diferencias en favor de los casos compatibles eran mayores cuando las latencias aumentaban (en dos de los tres experimentos realizados). Esto último apoyaba la hipótesis de que se trataba de dos efectos diferentes, permitiendo concebir al *affordance* como un efecto que implicaba una integración más compleja de información (que se enriquecía en la medida que el procesamiento del estímulo se alargaba) y que presumiblemente incluía información semántica de naturaleza ventral que no se

extinguía tan pronto como aquella estrictamente espacial, en la que estaría basado el efecto Simon.

Finalmente, otra cuestión relevante acerca del rol de la atención dedicada al objeto en el efecto affordance tiene que ver con las posibilidades de realizar una acción efectiva sobre el objeto, ya que ha sido demostrado que la preparación de una respuesta favorece la atención dedicada al objeto (Symes, Tucker, Ellis, Vainio, & Ottoboni, 2008). Además el hecho de percibir el objeto dentro de nuestro espacio peri-personal también potencia el efecto affordance, dado que nuestras posibilidades de interacción se ven realizadas (Costantini, Ambrosini, Scorolli, & Borghi, 2011; Costantini, Ambrosini, Sinigaglia, & Gallese, 2011; Costantini, Ambrosini, Tieri, Sinigaglia, & Committeri, 2010). Un hallazgo importante en este sentido es que la visión del objeto dentro del espacio peri-personal de otra persona también va a potenciar el efecto affordance (Cardellicchio, Sinigaglia, & Costantini, 2013; Costantini, Committeri, & Sinigaglia, 2011) lo que ha sido interpretado como una interacción de un proceso de empatía con el otro agente (a través de las neuronas espejo, ver apartado 2.7.1) y la influencia de los componentes motores del objeto en el observador (presumiblemente a cargo de las neuronas canónicas, ver apartado 2.7.2).

#### *2.4.8. Limitación atencional al objeto en el efecto affordance*

Vainio, Ellis, & Tucker (2007) se propusieron profundizar en el rol de la atención visual selectiva en el efecto de congruencia lateral de orientación del objeto y respuesta del participante (*affordance* de orientación; Tucker & Ellis, 1998). Para ello llevaron adelante una serie de experimentos en los que se manipulaba el foco de atención endógena en una tarea que no implicaba responder a los objetos. En su experimento 1 los participantes respondían al color de un círculo presentado en el centro de la pantalla mientras al fondo era presentado un objeto agarrable (cucharón) que era irrelevante a la tarea. En este experimento se encontraron efectos de *affordance* automáticos. Sin embargo hay que tener en cuenta que en esa tarea el círculo de color aparecía por 180 ms mientras que el objeto mostrado al fondo estaba disponible por aproximadamente 3000 ms. Por lo tanto los participantes tenían la posibilidad de atender al objeto durante buena parte de cada ensayo. En un segundo experimento el círculo que operaba como clave para la respuesta permaneció disponible durante todo el ensayo y se instruyó a los participantes a mantener su foco de atención allí. En estas condiciones no se



encontraron efectos de *affordance* ya que los sujetos intencionalmente no desviaban su atención del estímulo circular, desatendiendo al objeto.

Este experimento mostró que la extracción de las propiedades motoras de los objetos puede producirse de forma automática sin que el objeto sea el foco de atención. Pero si existe un estímulo relevante compitiendo por la atención, la atención sobre el objeto será reducida inhibiendo el efecto. En otro experimento la clave de color se colocó en distintas ubicaciones coincidentes con partes del objeto más o menos irrelevantes a su interacción. En este caso no se encontró que la atención a partes agarrables del objeto fuera determinante para la aparición del efecto.

#### *2.4.9. Efecto de facilitación global a partir de la affordance local*

Los resultados del estudio presentado en el apartado anterior se complementan con otro estudio aparecido ese mismo año (Vainio, Ellis, Tucker, & Symes, 2007) en el que se mostraba que el efecto de *affordance* de un objeto podía ser obtenido ante la presentación de una porción de ese objeto; incluso cuando esa porción fuera susceptible de un tipo de agarre diferente al del objeto completo. Por ejemplo la atención sobre el cabo de una manzana facilitó el agarre típico de la manzana y no el agarre típico del cabo. En este caso no se trató de un efecto de orientación sino de una asociación entre el tamaño y el tipo de agarre (como en Ellis & Tucker, 2000).

El hallazgo más importante de este estudio fue la congruencia generada a partir de la representación del objeto (entero) y no de la percepción local de una de sus partes. De este modo se mostró que el efecto operaba sobre un proceso de integración de la información relativa al objeto (en la línea planteada por Treisman & Gelade, 1980; Treisman, 1996). Los autores propusieron la posibilidad de *affordances* globales y locales. El primer tipo sería relativo a la evocación completa de la información del objeto -mediada por información semántica. Mientras que la *affordance* local estaría en función de aspectos particulares -asociados a atributos más básicos como la forma (como en el caso de las *micro-affordances* antes referidas).

#### *2.4.10. Dinámica temporal de la affordance según condiciones de procesamiento*

El reconocimiento del rol de la evocación automática de la información semántica del objeto en la aparición del efecto *affordance* resaltó otra cuestión relativa a la atención

que ya no tenía que ver con el foco, sino con el nivel de procesamiento del objeto necesario para la emergencia del efecto.

Symes, Ellis y Tucker (2005) habían planteado que el objeto debía ser atendido "cómo un objeto" para que fuera posible un efecto *affordance* potenciado por información de naturaleza semántica. En un estudio posterior (Symes, Ellis, & Tucker, 2007) buscaron explorar si los efectos visomotores podrían ser producidos por objetos que fueran funcional y semánticamente neutros, y además explorar como la complejidad formal del estímulo y su *realismo* modulaban el tamaño del efecto.

Con esa finalidad, a diferencia de los estudios reportados en los apartados anteriores, Syemes, Ellis y Tucker (2007) emplearon imágenes de formas que no representaban ningún objeto con significación o función conocida. Se emplearon 3 estímulos presentados en diagonal en relación a la pantalla (45° de inclinación): un rectángulo alargado ubicado sobre un fondo plano (el objeto más básico presentado), una figura con las proporciones de la anterior pero con los bordes curvos e inmerso en un fondo tridimensional (lo que lo hacía aparecer como un cilindro visto de lado) y un tercer estímulo similar al anterior pero al que se agregaba una línea curva en uno de los extremos (representando entonces un cilindro apenas ladeado en el que se vislumbraba la cara de uno de los extremos del objeto, resaltando así su tridimensionalidad).

Para todos los casos fueron encontrados efectos de orientación. El efecto fue mayor en la medida que los objetos estaban representados con mayor realismo. Los autores concluyeron que el efecto de compatibilidad puede encontrarse para *affordances puramente físicas*, es decir con contenido semántico disminuido. Pero también que la riqueza semántica favorecía el efecto (cuando la figura se parecía más a un objeto real que brindaba más posibilidades de ser categorizado).

Por otra parte, el empleo en ese estudio de distintas duraciones de intervalo entre la presentación del estímulo y una señal que solicitaba la respuesta no dio lugar a cambios en el tamaño del efecto. Por tanto Symes y colegas (2007) concluyeron que el aumento del efecto cuando el objeto estaba disponible a la visión por más tiempo, y por tanto se contaba con más tiempo para la integración de la información era una característica de procesos que involucraban la integración de información semántica (recuérdese que no se emplearon objetos reconocibles).

En suma, la investigación realizada logró caracterizar el efecto de *affordance* en el marco de un continuo partiendo desde un nivel de integración básico de información visual y motora -lindero con efectos espaciales tipo *Simon*- que sube de nivel hasta implicar el acceso a información funcional y semántica. La riqueza semántica de los objetos en cuestión, así como el nivel de procesamiento del objeto exigido por una tarea en curso son determinantes para la aparición del efecto *affordance*.

#### 2.4.11. Relación entre los efectos *Simon* y *affordance*

Cómo comentábamos en apartados anteriores (2.4.3), la expresión más básica del efecto de *affordance* (*micro-affordance*), relacionado con acciones manuales, remite a una asociación directa entre una característica visual del objeto y con un código de respuesta asociado a un gesto manual específico. El efecto de orientación por su parte implica una asociación más abstracta ya que está mediado por una asociación espacial, al coincidir localización del estímulo y ubicación de la respuesta. Con foco en este fenómeno, algunos autores han cuestionado la necesidad de la caracterización el efecto *affordance* al comprenderlo como un fenómeno de compatibilidad espacial, catalogándolo como una especie de efecto *Simon* (Anderson, Yamagishi, & Karavia, 2002; Proctor, Van Zandt, Lu, & Weeks, 1993; Schneider, 1993). Desde esa perspectiva se entiende que la asociación que da lugar al efecto de facilitación se basa en una coincidencia espacial entre una característica saliente del estímulo (que puede ser la parte agarrable de un objeto, como en el caso de una sartén) y el código de respuesta del participante (responder con un movimiento hacia la izquierda o la derecha) (i.e.: Proctor et al., 1993). También se ha argumentado que el efecto dependería de una focalización atencional producida por una parte del objeto hacia un lugar del espacio coincidente con el código de respuesta en curso (Schneider, 1993).

En algunos casos se ha tenido éxito al explicar bajo esa perspectiva los resultados de varios trabajos paradigmáticos de los estudios del efecto *affordance* (Proctor et al., 1993 sobre Michaels, 1988; Cho & Proctor, 2010 sobre Phillips & Ward, 2002). Sin embargo, al momento de interpretar estas discrepancias teóricas es importante tener en cuenta el alto grado de solapamiento propuesto entre buena parte del fenómeno espacial y la codificación de la acción motora. En relación a esto se ha planteado que la organización egocéntrica del espacio se nutre de la codificación resultante de la coordinación visual y

motora para distintos tipos de acciones (Paillard, 1991). Evidencias de esto provienen de estudios dedicados a áreas visuales dorsales en monos macacos en los que se ha reportado la existencia regiones corticales sensibles a la codificación del espacio y al mismo tiempo a movimientos de ojos (área lateral intraparietal), cabeza (área ventral intraparietal), brazos (área parietal de agarre) y manos (área anterior intraparietal) (Colby & Goldberg, 1999). Asimismo se ha reportado la existencia de áreas del cerebro humano con un funcionamiento homólogo a las áreas referidas en macacos; éstas se encontrarían en el córtex parietal occipital superior (Culham, Gallivan, & Cavina-Pratesi, 2008; Culham & Valyear, 2006; Culham & Kanwisher, 2001).

Las codificaciones visomotoras de estas áreas específicas -coordinando visión y movimientos de ojos, cabeza, manos etc.- serían subsidiarias, a su vez, de una codificación espacial superordinada más abstracta de perspectiva egocéntrica, la cual convergería en una codificación aún más abstracta que incluiría información de base allocéntrica (Paillard, 1991).

Considerando esas evidencias se comprende que la codificación de una acción sobre un objeto ubicado en el espacio tendrá necesariamente que solaparse en cierto grado con una codificación espacial más abstracta. Por esta razón es lógico concebir al efecto *affordance* de orientación como una especie de efecto *Simon* operando dentro del objeto. Es decir, la atención se enfocaría en una parte del espacio dónde se ubica el objeto más allá de la ubicación absoluta de este. En relación a esta concepción, se ha reportado que el efecto *Simon* puede presentarse a partir de distintos marcos de referencia simultáneos en un mismo experimento; por ejemplo involucrando la lateralidad de la tecla de respuesta y: el hemisferio, el hemicampo y la ubicación relativa del estímulo dentro del hemicampo (Lamberts, Tavernier, & d'Ydewalle, 1992).

Considerando el vínculo estrecho entre la codificación de respuestas motoras y la organización del espacio inmediato de acción, podría pensarse al efecto *Simon* como un efecto *affordance* abstracto. Es decir un efecto resultante de la síntesis de múltiples asociaciones posibles entre un estímulo visual y sus respuestas correspondientes (aunque pensamos que esta caracterización no es necesaria y podría llevar a confusión).

En definitiva, al analizar la posibilidad de una concepción espacial del efecto en cuestión es importante considerar que la aproximación teórica asociada al concepto de *affordance* ofrece una perspectiva de análisis más refinada del fenómeno. Esta cuestión

se resume en la siguiente pregunta, ¿qué motiva al sistema cognitivo a dirigirse a una porción particular del espacio? Desde la interpretación asociada al efecto *affordance* se sugiere que la atención se dirige una parte del espacio en función de su relevancia para la ejecución de una acción motora; y predice que cuanto más explícita sea la posibilidad de acción más notoria será la asociación. Para cerrar este apartado, es de destacar que recientemente diversos estudios han ofrecido evidencias de disociación entre efecto *affordance* y efectos espaciales del tipo *Simon* (Ambrosecchia, Marino, Gawryszewski, & Riggio, 2015; Iani, Baroni, Pellicano, & Nicoletti, 2011; Pappas, 2014; Pellicano, Iani, Borghi, Rubichi, & Nicoletti, 2010; Wilf, Holmes, Schwartz, & Makin, 2013).

## **2.5. Estudios de facilitación visomotora a partir de la visión de acciones**

### *2.5.1. Efectos de la visión de acciones sobre la ejecución de acciones*

En el marco de los estudios de la interacción entre la percepción visual y respuesta motora una línea de estudio se enfocó en la influencia de la visión de un gesto de agarre en la producción de una acción similar (Brass et al., 2000; Brass et al., 2001; de Lange, Spronk, Willems, Toni, & Bekkering, 2008; Newman-Norlund, van Schie, van Zuijlen, & Bekkering, 2007). Este tipo de estudios son un antecedente importante para este trabajo ya que se introducen como estímulos facilitadores imágenes representando acciones manuales (tal como ocurre en nuestros trabajos experimentales).

La motivación teórica de estos estudios es similar a la de los estudios de *affordance* antes reseñados, se espera que la visión de la acción produzca una *resonancia motora* que facilite la producción de respuestas subsecuentes.

En los últimos años, los efectos visomotores congruentes asociados a la visión de acciones suelen referirse como efectos espejo -en alusión a la supuesta participación de las neuronas espejo (ver apartado 2.6). Cuando las respuestas provocadas no son imitativas se habla de respuestas complementarias y también se atribuye un rol al sistema espejo (de Lange et al., 2008; Newman-Norlund et al., 2007).

A nivel comportamental, un antecedente importante de respuesta facilitada por la visión de una acción similar proviene del trabajo de Brass y Bekkering (2000; Brass et al., 2001) Estos estudios aportaron evidencias de imitación automática ante la observación de una acción que era irrelevante a la tarea experimental. Concretamente, la visión de del movimiento de un dedo de la mano, provocó una respuesta automática involuntaria por parte de los participantes, producida con el dedo de la mano que correspondía con el el movimiento de un dedo observado. Más tarde, nuevos estudios establecieron la robustez del efecto de facilitación de respuestas motoras a partir de la observación de gestos congruentes (Craighero, Bello, Fadiga, & Rizzolatti, 2002; Edwards, Humphreys, & Castiello, 2003; Stürmer, Aschersleben, & Prinz, 2000; Vainio, Tucker, & Ellis, 2007; Vogt, Taylor, & Hopkins, 2003). De particular interés, Vainio y colaboradores (2007) mostraron que la discriminación entre gestos de agarre ejecutados correctamente o no, era facilitada cuando la respuesta era ejecutada por medio de un gesto de agarre similar al observado. A partir de estos hallazgos fue diseñado un nuevo estudio con la

intención de explorar en qué medida la presentación visual de un gesto influye en la categorización de un objeto también observado (Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008). De este modo, en este trabajo se explora si la evocación de una acción que es congruente con la forma de manipulación habitual del objeto facilita la categorización de ese objeto. Este estudio es de particular relevancia como antecedente de nuestros trabajos experimentales.

### *2.5.2. Efectos de la visión de acciones en la categorización de objetos*

El vínculo entre la percepción semántica de los objetos, esto es, el acceso a información acerca de su identidad, y la ejecución de acciones con la que esos objetos pueden ser manipulados fue asentado empíricamente durante los primeros años del SXXI a partir de los estudios repasados en apartados anteriores. Las contribuciones de los distintos trabajos permitieron elaborar una visión teórica que plantea que la visión de un objeto determinado evoca de forma automática información latente acerca de sus posibilidades de interacción.

La idea de que la información interactiva es una parte inherente de la semántica de los objetos inspiró una línea de investigación orientada a explorar la posible facilitación ejercida por estímulos visuales representando acciones en la identificación de objetos también presentados visualmente; un efecto que denominaremos *Efecto de Facilitación Agarre-Objeto (EFAO)*. Si se compara con los clásicos experimentos *affordance* de Tucker y Ellis aquí se explora una asociación abstracta entre dos estímulos visuales más allá de cuál sea el modo de respuesta a la tarea experimental, mientras que en aquellos se exploraba la influencia de la resonancia motora provocada por el objeto en un modo de respuesta específica. Podría decirse que en el *EFAO* se explora la relación entre la representación mental de la acción y la representación mental del objeto y como estos se integran en lo que podríamos denominar representación de la acción.

Sin embargo la representación en juego aquí no sería descriptiva sino pragmática (Cisek, 2007) y dependería de la atribución de una intención de la acción. Es decir, se asume que el gesto de agarre observado es comprendido como un movimiento de la mano que persigue un fin: agarrar algo. En ese sentido, su conexión con el objeto resulta de su integración con la acción, la que es favorecida si las posibilidades interactivas del objeto encajan con el movimiento observado.

De particular relevancia para los estudios presentados en esta tesis, Borghi y colaboradores (2005; 2007) mostraron que la influencia de la visión de una imagen estática representando un gesto de agarre facilitaba la categorización de objetos subsecuentemente presentados -siempre que unos y otros compartieran características interactivas- en respuestas realizadas con una sola mano (las respuestas no guardaba relación con la acción ni con el objeto observado). En ese estudio el vínculo entre acciones y objetos observados era relativo al tamaño de estos últimos y la especificidad de las primeras (se emplearon objetos pequeños y grandes y gestos de agarre de fuerza y precisión). Es de destacar que el efecto de congruencia fue encontrado solamente cuando los participantes realizaban un entrenamiento previo que consistía en la producción de los gestos representados en fotografías empleadas como facilitadores. De modo que una cierta preparación para la producción de los gestos específicos luego observados favorecía la aparición de los efectos encontrados. Los resultados obtenidos sugirieron una ligazón entre la evocación implícita de información motora generada por la acción observada y componentes motores congruentes relativos al objeto que también se evocan. Este efecto ha sido interpretado como la interacción entre un fenómeno de imitación involuntaria (*espejo*) y un fenómeno *affordance*. Se ha especulado que a nivel neural esta interacción respondería a una coordinación entre la actividad de las neuronas espejo -encargadas de la resonancia motora relativa acciones (di Pellegrino et al., 1992; Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996)- y las neuronas canónicas (Murata et al., 1997) -a cargo de los componentes motores de los objetos observados (ver apartados 2.7.1 y 2.7.2).

Más adelante, Vainio y colaboradores (2008) replicaron los resultados del experimento de Borghi y colaboradores introduciendo un cambio fundamental. En vez de imágenes estáticas emplearon animaciones de una mano realizando el gesto. Los participantes debían categorizar a los objetos como naturales o manufacturados. En este estudio se encontraron efectos de asociación entre el tipo de gesto y objeto observado (por ejemplo la visión de un agarre de fuerza favorecía la identificación de un objeto grande) a lo largo de tres experimentos. En un primer experimento cuando las respuestas eran recogidas por medio de la presión de botones, pero también cuando las respuestas eran brindadas por medio de respuestas verbales y también cuando eran ejecutadas utilizando los dispositivos empleados por Tucker y Ellis (2001) que eran congruentes con la asociación acción-objeto observadas.



Este estudio tuvo la importancia de mostrar el efecto de facilitación visomotora abstracta entre acción y objeto, sin necesidad de un entrenamiento motor previo. Los autores argumentaron que esto es posible gracias a la utilización de videos que son considerados como estímulos facilitadores más potentes que las imágenes estáticas utilizadas por Borghi en sus estudios anteriores. Este hecho mostraba el papel del realismo temporal de la acción en la integración de la acción y el objeto.

### *2.5.3. Sensibilidad temporal en efectos comportamentales de compatibilidad visomotora*

Cómo antecedentes experimentales de la sensibilidad temporal de efectos visomotores destacamos los trabajos de Vainio quien reportó efectos de compatibilidad negativa a partir de presentaciones muy breves estímulos que en otros casos habían dado lugar a facilitación. Por ejemplo, la presentación de una mano por solo 80 ms (Vainio & Mustonen, 2011), o un objeto agarrable (taza) por 30 o 70 ms (Vainio, Hammaren, Hausen, Rekolainen, & Riskila, 2011; Vainio, 2011) dieron lugar a respuestas compatibles más lentas que las incompatibles. Este efecto fue interpretado como el funcionamiento de un proceso exógeno de control motor que llevaba a la inhibición de una respuesta temporalmente incongruente; hipótesis que fue consolidada por medio en un estudio electrofisiológico posterior (Vainio, Schulman, Tiippana, & Vainio, 2013).

A partir de sus estudios de 2011, Vainio demostró a nivel comportamental que tanto los efectos de *affordance* como los efectos espejo pueden dar lugar a interferencia a partir de presentaciones demasiado breves, que no son acordes con la predicción producida por el sistema cognitivo. En este caso no solo se sugirieron duraciones mínimas aproximadas para el establecimiento de asociaciones de compatibilidad, sino que se demostró cómo el sistema cognitivo reacciona generando una inhibición.

Estos hallazgos están en acuerdo con la noción de que la dinámica temporal es determinante en la comprensión de una acción observada. El siguiente apartado está dedicado a describir la relación entre temporalidad e intencionalidad de las acciones.

## **2.6. Relación entre temporalidad e intencionalidad de las acciones**

Para la *Teoría de la Simulación neural de la acción* (Jacob & Jeannerod, 2005) toda acción contiene una etapa encubierta tanto para el caso en que es producida como cuando es percibida. Esta etapa encubierta es una simulación de la acción que contiene una representación del futuro basada en la meta de la acción, los medios para alcanzarlo. Las acciones encubiertas o simulaciones y las acciones reales formarían parte de un mismo continuo. De este modo, las acciones encubiertas son acciones como tales, solo que no se llevan a cabo, es decir son inhibidas. A partir de aquí Jeannerod predice una similitud neural y temporal, entre la instancia en que la acción es simulada y su ejecución real. Para estos autores, tanto producir, imaginar y dar sentido a una acción observada es configurar una intención, o sea fijar una meta y establecer cuáles son los medios que permiten alcanzarla. El contexto es clave para dotar de intencionalidad a una acción y dentro del este los objetos tienen un papel destacado. En relación a esto, se ha propuesto que los objetos especialmente ricos explicitando la intención de la acción en curso (Bach, Nicholson, & Hudson, 2014) a partir de sus componentes interactivos (*affordance*), los que ofrecen el vínculo más explícito con una acción que tiene lugar.

La red a cargo de dar lugar a esta simulación en el cerebro involucraría a una amplia red incluyendo áreas motoras primarias, regiones subcorticales (cerebelo, ganglios basales), córtex premotor, áreas corticales asociativas y córtex prefrontal. La utilidad de la simulación sería programar la acción en curso pero también contribuir a la imaginación de la acción y la comprensión de acciones observadas.

Una de las particularidades de este mecanismo -que es especialmente relevante para nuestro trabajo- es que las acciones imaginadas se regirían por la dinámica temporal de las acciones cuando son ejecutadas (Decety, Jeannerod, & Prablanc, 1989; Decety, 1996). Por ejemplo, Frak, Paulignan y Jeannerod (2001), mostraron que el tiempo para determinar la viabilidad de agarrar un objeto es similar al tiempo que lleva realizar esa misma acción. Entendemos que a través de la propuesta de Jeannerod se logra explicar la pertinencia de atender a la sensibilidad del aparato cognitivo a la dinámica temporal de las acciones observadas en la exploración de la contribución motora a la categorización de objetos. Es decir, este y otros autores (Decety et al., 1989; Pozzo, Papaxanthis, Petit, Schweighofer, & Stucchi, 2006) han logrado establecer que la

percepción de acciones está determinada por la dinámica temporal de la acción cuando es ejecutada.

## **2.7. Evidencia neurocientífica de la codificación visomotora de acciones y objetos**

Las investigaciones referidas en los apartados anteriores han encontrado apoyo en evidencias fisiológicas que confirman el correlato neural de los efectos comportamentales de facilitación visomotora. Repasamos en este apartado hallazgos relativos a cuatro aspectos relevantes para la investigación aquí presentada:

- Bases neurales para visión de acciones observadas (neuronas espejo).
- Bases neurales para la codificación de *affordance* de objetos (neuronas canónicas)
- Bases neurales de la integración semántica-motora
- Bases neurales de la dinámica temporal de la integración semántica-motora

### **2.7.1. Bases neurales para la visión de acciones (neuronas espejo)**

El descubrimiento de las neuronas espejo es sin dudas la principal evidencia de la existencia de una activación automática de naturaleza motora ante un estímulo visual (di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996). Nos referimos a un tipo particular de células bimodales halladas en el córtex premotor del mono macaco (área F5), que responden ante la actividad motora y visual. En el caso motor reaccionan ante la configuración por parte del sujeto de distintos programas de movimientos. En el caso visual reaccionan ante la observación de movimientos -realizados por otro sujeto- similares a aquellos a cuya programación están dedicadas. Dada la funcionalidad descrita se ha interpretado que contribuyen a la comprensión de las acciones producidas por otros (Rizzolatti & Fadiga, 1998), aunque el rol de exacto de estas neuronas en esa función es objeto de controversia (Hickok, 2009).

La actividad de las neuronas espejo fue extensamente explorada por parte de un grupo de investigadores de la Universidad de Parma, originalmente interesados en la organización cortical del control motor, por medio de registro intracraneal de célula única. Por medio de distintos experimentos pudieron comprobar varias características de su funcionamiento de las neuronas espejo entre las que destacamos: organización en función de objetivos y organización jerárquica.

### *Organización en torno a objetivos*

Las neuronas espejo fueron encontradas en el área premotor F5 del mono macaco. El 60% de las neuronas espejo de esa área reaccionan ante la visión de distintos tipos de acciones con un objetivo común (se les conoce como *congruentes en sentido laxo*) (Gallese et al., 1996). Es decir pueden reaccionar ante la acción de llevarse un trozo de comida a la boca sin importar si esto se realiza con un gesto de agarre o de precisión, o con la mano derecha o la izquierda (Fogassi et al., 1996). Además neuronas que reaccionan ante la flexión de un dedo para agarrar no lo hace si el objetivo de la acción es rascar (Fogassi et al., 2001).

### *Organización jerárquica*

Así como existen las neuronas espejo congruentes en sentido laxo, también hay neuronas congruentes en sentido estricto. Estas neuronas no reaccionan en base a objetivos sino ante acciones muy específicas. Por ejemplo, muestran selectividad para el tipo de agarre (de objetos grandes y pequeños): el acto de agarrar una esfera está codificado por neuronas distintas a las que se utilizan para coger un cilindro. En este sentido, las neuronas espejo de F5 se pueden subdividir en: “neuronas-agarrar”, “neuronas –sostener”, “neuronas-manipular”, “neuronas-colocar” (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010).

Dada esta organización, para la configuración de una acción es necesaria la activación de neuronas congruentes en sentido laxo, que aseguren que la actividad cumple con los objetivos previstos (tomar un determinado objeto), y neuronas congruentes en sentido estricto que codifiquen de forma precisa la secuencia de movimientos requeridos (emplear un gesto de agarre de precisión o de fuerza).

La interconexión entre ambas clases de neuronas permitirá en el momento de la ejecución la adecuación de una acción muy específica a los objetivos relativos a la intención del sujeto. En tanto, durante la observación contribuirán a la comprensión de los objetivos de la acción realizada por otro agente. Para esto, será necesario distinguir entre acciones muy similares que pueden presentar diferencias sutiles de acuerdo a los objetivos que persiguen (tomar un vaso o el ratón del ordenador). En este sentido, es de destacar que en el surco temporal superior existen neuronas visuales que codifican toda clase de movimientos biológicos con altísima precisión -y además son sensibles a las dinámicas temporales de las acciones (Jellema, & Perret, 2003; Perret, 1989; Perret,

Xiao, Barraclough, Keysers, & Oram, 2009). Estas neuronas son capaces de proveer la información necesaria para la detección de acciones específicas al área F5, por medio de su conexión con el lóbulo parietal posterior (Rozzi et al., 2006).

Una característica relevante de las neuronas espejo encontradas en monos es activarse preferentemente a acciones dirigidas a objetos (di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996), con la excepción de ciertas acciones bucales ingestivas (Ferrari, Gallese, Rizzolatti, & Fogassi, 2003).

### *Evidencias de neuronas espejo en el hombre*

A partir del descubrimiento de las neuronas espejo en el mono comenzó una controversia acerca de si estas células estaban presentes en el hombre y si daban cuenta de los mismos comportamientos. Una de las críticas principales tenían que ver con la atribución a estas neuronas de funciones humanas que no estaban presentes en los monos en los que se habían registrado, nos referimos a la comprensión de acciones (cosa que los monos no podían reportar) y la imitación (que no está presente en los macacos adultos), por ejemplo (Hickok, 2009).

No entraremos en los detalles de esa polémica pero sí detallamos a continuación los estudios que aportaron evidencias de un sistema espejo en el ser humano.

En un estudio realizado poco después del descubrimiento de las neuronas espejo en monos se registraron potenciales motores en el brazo de participantes que observaban acciones dirigidas a objetos mientras su córtex premotor era estimulado magnéticamente, con el fin de aumentar su sensibilidad. En esas condiciones, los potenciales motores registrados ante la observación de acciones fueron similares a aquellos característicos de la manipulación efectiva (Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti, 1995).

Poco después, por medio de tomografía por emisión de positrones se pudo registrar actividad en un circuito cortical que respondía a un sistema espejo en el hombre, homólogo al encontrado en el mono, incluyendo el córtex premotor, áreas parietales y el surco temporal superior (Decety et al., 1997; Grafton, Arbib, Fadiga, & Rizzolatti, 1996; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996). Más tarde, en un estudio de magnetoencefalografía se registró actividad oscilatoria neuromagnética en el córtex

premotor y también en el córtex motor primario ante las visión de acciones dirigidas a objetos (Hari et al., 1998).

Con la llegada del siglo XXI, distintos estudios de resonancia magnética funcional confirmaron la existencia de un circuito cerebral con características espejo similares a las descritas para el mono (Decety & Grèzes, 2006; Gazzola, Rizzolatti, Wicker, & Keysers, 2007; Grèzes, Tucker, Armony, Ellis, & Passingham, 2003; Grèzes & Decety, 2000; Iacoboni et al., 1999; Iacoboni, Molnar-Szakacs, Gallese, Buccino, & Mazziotta, 2005; Koski, Iacoboni, Dubeau, Woods, & Mazziotta, 2003).

Finalmente Mukamel y colaboradores (2010), pudieron comprobar por medio de registro intracraneal (en el que 1177 células fueron registradas) actividad asociada a la producción y visión de acciones en los córtices temporal, medial y frontal. En lo que respecta a la presencia de objetos como meta de la acción, se ha comprobado que, como en el caso del mono, estos favorecen la actividad del sistema espejo en el hombre (Agnew, Wise, & Leech, 2012; Grèzes, Armony, Rowe, & Passingham, 2003). Esta evidencia es relevante para la justificación de los experimentos comportamentales que emplean cómo estímulos a acciones dirigidas a objetos, como los presentados en esta tesis. Además sugiere que la presencia del objeto es relevante para la resonancia motora producida ante la visión de un acción. En el siguiente apartado repasamos evidencias fisiológicas de actividad motora provocada por la visión de objetos, un fenómeno que da cuenta del efecto comportamental de *affordance*.

### *2.7.2. Bases neurales para la codificación de affordance de objetos*

La evidencia fisiológica en sustento de la existencia de *affordances* a partir de la visión de objetos está fundamentalmente asociada al descubrimiento de las neuronas canónicas en el córtex premotor del mono macaco por parte de los mismos investigadores que descubrieron las neuronas espejo. Estas células fueron halladas en el área F5 -como las neuronas espejo- y reaccionan tanto en procesos que implican la programación de acciones como ante la visión de objetos pasibles de esas acciones (Jeannerod, Arbib, Rizzolatti, & Sakata, 1995; Murata et al., 1997). Estas neuronas fueron bautizadas canónicas por reaccionar de la forma esperada por los investigadores, contrastando con

las neuronas espejo cuya reactividad fue interpretada como excepcional cuando fue detectada por primera vez. Se ha reportado que las neuronas canónicas presentan características específicas que ligan el tamaño del objeto y la ejecución de acciones congruentes (Sakata, Taira, Murata, & Mine, 1995).

Para hacer posible la funcionalidad descrita, las neuronas canónicas de F5 integran un circuito que involucra el área anterior intraparietal (AIP) y el córtex inferior temporal (IT) encargado de la identificación de objetos (Binkofski et al., 1999; Murata et al., 1997). A partir del descubrimiento de esta conectividad fue desarrollado el modelo FARS (Fagg & Arbib, 1998) que describe el funcionamiento de una red neural que haría posible la selección de una acción a partir de la presentación de un objeto. En este modelo, la información relativa a la identidad del objeto (región IT) se comunicaría al área AIP donde se procesarían las posibilidades de acción sugeridas por el objeto (*affordances*). Por su parte en la zona F5 se codificarían los programas de acción específicos asociados al objeto (ver Figura 1).

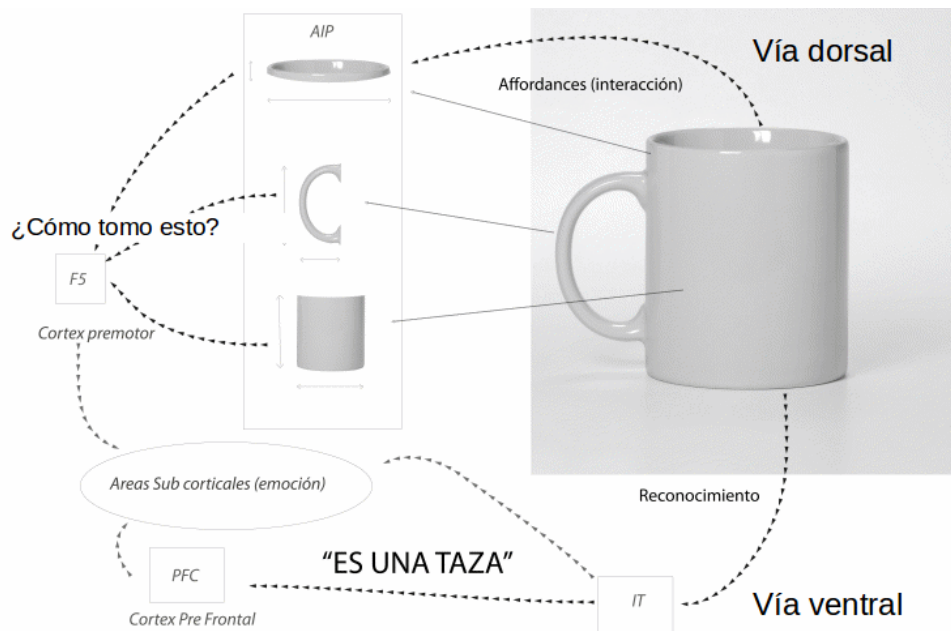


Figura 1. Esquema de la elección de las *affordances* de una taza (modelo FARS). La imagen formada en IT se comunica a AIP donde se extrae la información necesaria para la interacción motora. Esta información es transferida a F5 que en comunicación con la corteza prefrontal decide la potenciación de una *affordance* sobre otras que son inhibidas. Adaptado de Fagg & Arbib, 1998.

Cómo evidencia de estos mecanismos en humanos, estudios de tomografía por emisión de positrones encontraron actividad en el córtex premotor ante la visión pasiva de objetos y cuando estos debieron nombrarse (Grafton, Fadiga, Arbib, & Rizzolatti,



1997). Más tarde, estudios de resonancia magnética funcional revelaron actividad en el córtex premotor ventral izquierdo -considerado como el homólogo del área F5 del mono- y posterior parietal izquierdo para la visión y denominación de herramientas (Chao & Martin, 1999, 2000). Por su parte otro estudio de fMRI registró actividad premotora ventral y del surco intraparietal -considerado homólogo de AIP en el mono- cuando los objetos fueron manipulados y también cuando fueron nombrados en voz baja (Binkofski et al., 1999).

De interés particular para esta reseña es un estudio que replicó uno de los experimentos reportados en 2001 por Tucker y Ellis (referido en el apartado 2.4.5.) en los que los participantes debían categorizar objetos grandes y pequeños como naturales o manufacturados al tiempo que se registraba actividad neural por medio de resonancia magnética funcional (Grèzes et al., 2003). En ese estudio los participantes respondían accionando dispositivos que emulaban agarres de precisión y de fuerza. Se consideraban casos congruentes a aquellos en los que el gesto con el que debía responder el participante era el adecuado al tamaño del objeto presentado. La resonancia magnética reveló activación que covariaba con la condición de compatibilidad en una red cortical compuesta por áreas parietales, dorsales premotoras e inferior- frontales. A nivel comportamental se observaron latencias de respuesta más altas para los casos incompatibles, como en el estudio de 2001. Los investigadores reportaron que la actividad en la red cortical referida era más alta para los casos incompatibles lo que fue interpretado como un efecto de la competencia de la programación de la acción demandada por la tarea y aquella sugerida por la *affordance* del objeto.

Acerca de la relación próxima entre las neuronas canónicas y las neuronas espejo, recientemente Bonini y colaboradores (2014) reportaron la existencia de neuronas reactivas tanto a la visión de un objeto como acciones de las que este era pasible a las que fueron bautizadas como neuronas espejo – canónicas.

### 2.7.3. Bases neurales de la integración semántico-motora

Las evidencias repasadas describen las bases neurales que permiten la decodificación de acciones y objetos desde su perspectiva interactiva. La tendencia contemporánea es asumir el funcionamiento de circuitos en los que la información semántica de base ventral y la motora de base dorsal se integrarían (Kumar, Riddoch, & Humphreys, 2013; Mahon et al., 2007). De hecho Rizzolatti y Matelli (2003) propusieron una tercera vía

cortical de la visión: la vía dorso-ventral, que sería el resultado de una subdivisión de la vía dorsal. Esta se ocuparía de la integración de la información semántica en la programación de las acciones y también haría posible la incorporación de aspectos motores a la información semántica. Por su parte, la vía propiamente dorsal sería bautizada por Rizzolatti y Matelli como dorso-dorsal y estaría a cargo de la contribución visual a la coordinación automática de acciones. Algunos teóricos vinculados a los estudios de las neuronas espejo propusieron que estas podrían explicar el origen del lenguaje (Rizzolatti & Arbib, 1998). Esta teoría se apoyaba en parte en el hecho de que el área F5 del mono macaco era considerada el homólogo del área de Broca del cerebro humano (Rizzolatti, Luppino, & Matelli, 1998).

Sin embargo esa visión extrema del rol de las neuronas espejo en el lenguaje ha sido moderada en los últimos tiempos. Por ejemplo se ha mostrado que la lectura de palabras relativas a acciones manuales activa regiones similares a aquellas responsables de la preparación de esas acciones pero no aquellas a cargo de su ejecución efectiva (Moody-Triantis, Humphreys, & Gennari, 2014). De acuerdo con esta visión, recientemente un meta-análisis de 11 estudios en pacientes (361) con lesiones corticales, reportó que la percepción y comprensión de acciones no lingüísticas estaba asociado con actividad en el córtex frontal (inferior y parietal) y el córtex temporal medial/superior, pero no el córtex motor. Considerando este tipo de pruebas, Mikulan, Reynaldo e Ibañez (2014) proponen que las neuronas espejo jugarían un rol importante en el procesamiento del lenguaje facilitando la comprensión pero necesitarían de una red mayor para explicar la complejidad propia de los procesos lingüísticos.

Asumiendo que por intermedio de las neuronas espejo, o por medio de estas y otras regiones neuronales, los procesamientos de la información de base ventral y dorsal se integran en procesos de comprensión, diferentes estudios se propusieron explorar la temporalidad de esa integración. Parte del interés se basaba en el hecho de que las dos vías corticales para la información visual -semántica y motora- funcionan en base a dinámicas temporales diferentes.

#### 2.7.4. Bases neurales de la dinámica temporal de la integración motor - semántica

Una serie de trabajos se dedicaron al estudio de la comprensión de acciones a través del estudio del componente electrofisiológico conocido como N400. Este componente ha sido descrito como el reflejo de la integración de un estímulo en un determinado contexto (Kutas & Hillyard, 1980). A pesar de que fenómeno ha sido mayormente estudiado empleando estímulos verbales también ha sido hallado ante la presentación de acciones. Por ejemplo *pseudo-acciones* generaron efectos similares a los tradicionalmente provocados por pseudo-palabras (Proverbio & Riva, 2009). Además, en ese estudio se encontró un componente asociado al reconocimiento de acciones significativas a los 250 ms de presentado el estímulo. Este hallazgo es congruente con otro estudio reciente que reportó que la visión de acciones dirigidas a objetos provoca una actividad diferencial también en el entorno de los 250 ms en regiones fronto-parietales, cuando se le compara con acciones intransitivas (Wamain, Pluciennicka, & Kalénine, 2014).

En otro estudio dedicado al estudio de la percepción de los componentes motores de los objetos (responsables de la *affordance*), los participantes juzgaban lo apropiado de usar una herramienta para realizar una acción sugerida. En este caso también se encontró un N400 (Bach, Gunter, Knoblich, Prinz, & Friederici, 2009). Más tarde, otro estudio de electroencefalografía también exploró el curso de temporal de la codificación de información motora relativa a objetos observados. Para ello los participantes observaron objetos agarrables y no agarrables irrelevantes para una tarea que consistía en responder a fotografías de plantas. La actividad diferencial entre los distintos tipos de objetos fue registrada alrededor de los 250 ms luego de la presentación del objeto, principalmente en el hemisferio izquierdo. Los autores concluyeron que la *affordance* es codificada a nivel neural luego de 250 ms (Proverbio, Adorni, & D'Aniello, 2011).

En lo que respecta al curso temporal de la integración de los componentes motores y semánticos, estudios neurofisiológicos mediante técnicas de magnetoencefalografía exploraron la dinámica temporal de la cooperación de las áreas motoras (dorsales) y semánticas (ventrales) para la percepción de gestos manuales significativos (Nakamura et al., 2004). Los investigadores encontraron una activación conjunta (dorsal-ventral), asociada con un primer momento de síntesis semántica, que ocurre sobre los 230 ms de

la presentación visual del gesto. Luego aparece una segunda instancia de activación (entre 370 y 380 ms) que correspondería a la integración de la información entre el sistema espejo (visomotor) y el sistema de reconocimiento de objetos (visual semántico). Los resultados hallados por Nakamura et al. (2004) son coherentes con otros estudios que hablan acerca de la detección de acciones dirigidas a objetos en el entorno de los 200-300 ms (Cavallo, Heyes, Becchio, Bird, & Catmur, 2014; Nishitani & Hari, 2000; Proverbio & Riva, 2009; Wamain et al., 2014).

Las distintas evidencias repasadas en este apartado sugieren que la integración semántico-motora que se produce en la percepción de una acción o un objeto ocurriría en el entorno de los 200-500 ms luego de presentado el estímulo. Por otra parte, se ha reportado que la actividad de las áreas visuales dorsales decae cuando el estímulo que las activa deja de estar disponible al sistema visual, luego de aproximadamente 500 ms (Bruno & Franz, 2009; Cohen et al., 2009; Milner & Goodale, 2008).

Entendemos que la información aquí reportada es coherente con la idea de que las vías dorsales funcionan de forma *on line* y no almacenan información ya que si consideramos los rangos temporales aquí reportados, entendemos que la información motora (dorsal) se conserva durante el tiempo que lleva el procesamiento del estímulo y el almacenaje de información más allá de eso sería casi nulo.



### 3.Trabajos experimentales

El repaso de los estudios comportamentales dedicados a los efectos visomotores producidos por la visión de objetos y acciones (apartados 2.4 y 2.5) nos permite una caracterización bastante completa del fenómeno que estudiamos aquí. Repasamos esta caracterización a continuación a modo de sumario y a continuación presentamos las preguntas que motivan el presente trabajo e intentan ser contestadas a través de los estudios empíricos que se presentan en el apartado siguiente.

*Sumario de los efectos visomotores producidos por objetos y acciones.*

En las secciones destinadas a reseñar la investigación comportamental dedicada a los efectos de facilitación visomotora (2.4) presentamos distintas pruebas acerca de las condiciones en que un objeto facilita la ejecución de respuestas manuales de los participantes a partir de sus propiedades interactivas (*affordance*). Vimos que esta influencia se observa cuando la tarea implica atender a distintos atributos del objeto como: su posición (Tucker & Ellis, 1998), su forma (Tipper, Paul, & Hayes, 2006) o identidad (categorización) (Symes et al., 2005; Tucker & Ellis, 2001; Tucker & Ellis, 2004).

El efecto visomotor producido por el objeto tiene lugar de forma automática, aún cuando el objeto no sea el estímulo sobre el que debe producirse la respuesta, y puede darse cuando esta respuesta está relacionada de forma específica con las propiedades del objeto (*microaffordances*) (Ellis & Tucker, 2000), o cuando existe una correspondencia espacial entre la orientación del objeto y la respuesta (lateralizada) del participante (Tucker & Ellis, 1998, Phillips & Ward, 2002). Pero también se han encontrado efectos visomotores ante la visión de objetos cuando las respuestas se ejecutan sin emplear las manos (Kalénine et al., 2012; Lee et al., 2012; Phillips & Ward, 2002; Symes et al., 2005).

El grado de asincronía entre la aparición de los estímulos y la ejecución de las respuestas afecta la aparición del efecto (i.e.: Tucker & Ellis, 2001). De forma que si la presentación del objeto sobre el que se debe responder y la respuesta del participante ocurren demasiado separados en el tiempo el efecto tiende a disminuir. Esto ha sido interpretado como un efecto de la contribución de información visual de base dorsal que

está limitada en su capacidad de almacenamiento (Tucker & Ellis, 2001). De modo que la información del objeto de base motora, que sería responsable del efecto de facilitación de la respuesta, decae pocos cientos de milisegundos después de que el objeto desaparece. Sin embargo, aún en condiciones de asincronía como esas, el efecto logra subsistir si el objeto llega a ser categorizado antes de su remoción (Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Tucker & Ellis, 2004). Este hallazgo sugiere que la asociación visomotora ocurre a nivel de percepción y no a nivel de la ejecución de la acción, lo que es sustentado al demostrarse efectos visomotores en experimentos que emplean distintos tipos de respuesta no manuales. Esta concepción también se apoya en el hecho de que el efecto *affordance* puede provocarse por medio de la visión de solo una parte del objeto (Ellis, Tucker, & Symes, 2007) o cuando es sustituido por palabras (Derbyshire et al., 2006; Tucker & Ellis, 2004).

Por otra parte, sabemos que el efecto visomotor aumenta en la medida que el objeto es procesado por más tiempo (Derbyshire et al., 2006; Fischer & Dahl, 2007; Phillips & Ward, 2002; Symes et al., 2005) y que si el estímulo es más rico desde el punto de vista semántico (por ejemplo una manzana es más rica en información semántica que una esfera) el efecto se ve favorecido (Symes, Ellis, & Tucker, 2007).

Se ha comprobado también que la atención dedicada al objeto modula el efecto visomotor, de modo que se favorece en la medida que es atendido (Riggio et al., 2008; Symes et al., 2005). No obstante, el efecto puede producirse de forma automática independientemente de si es directamente atendido o no; pero si el objeto compite por la atención con otro estímulo más relevante a la tarea el efecto tiende a inhibirse (Vainio, Ellis, & Tucker, 2007).

También se ha comprobado que la visión de acciones facilita la producción de acciones similares (Craighero, Bello, Fadiga, & Rizzolatti, 2002; Edwards, Humphreys, & Castiello, 2003; Stürmer, Aschersleben, & Prinz, 2000; Vainio, Tucker, & Ellis, 2007; Vogt, Taylor, & Hopkins, 2003) y que la visión de acciones facilita la categorización de objetos, lo que denominamos Efecto de Facilitación Agarre-Objeto. A diferencia de lo que sucede con el efecto *affordance*, esta facilitación ocurre cuando la respuesta exigida no guarda relación específica con las características de manipulación del objeto (Borghi, 2005; Borghi et al., 2007; Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008). Pero este efecto también se manifiesta cuando sí existe una relación funcional entre el objeto, la

acción observada y la respuesta solicitada, caso en el que incluso puede verse potenciado (Girardi, Lindemann, & Bekkering, 2010; Vainio et al., 2008). Esto último es importante para la motivación los estudios 2 y 3 de este trabajo. El hecho de que la respuesta del participante esté relacionada desde el punto de vista interactivo con la orientación del objeto y la acción observada implica una relación triple que creemos influye en la representación evocada del objeto. En este caso la contribución motora a la semántica del objeto se manifiesta al mismo tiempo a partir de la congruencia con la acción observada y la respuesta del participante. Esta triple interacción es la que se produce en un escenario social en el que observamos un objeto que es la meta de la manipulación de otra persona. De hecho se ha demostrado que la presencia de un objeto en el espacio peri-personal del otro favorece al emergencia de efectos affordance (Cardellicchio et al., 2013; Costantini, Committeri, et al., 2011).

Otra cuestión central para nuestro estudio surge del hecho de que en el Efecto de Facilitación Agarre-Objeto el realismo temporal de la acción favorece la evocación visomotora (Vainio et al., 2008). De hecho, esta facilitación puede tornarse negativa si los intervalos entre estímulos (acción facilitadora y estímulo sobre el que debe producirse la respuesta) son demasiado breves, por ejemplo entre 30 y 70 ms (Vainio et al., 2014; Vainio et al., 2011; Vainio, 2011). Esta característica del *EFAO* acuerda con la Teoría de la Simulación neural de la acción que propone que la percepción e imaginaria de la acción se rigen por la dinámica temporal de la acción cuando es ejecutada (Jacob & Jeannerod, 2005). En este sentido, entendemos que la percepción de acciones que incluyen la interacción con objetos deben seguir la temporalidad de la acción efectivamente realizada.



*Preguntas de investigación*

**Estudio 1.**

¿La influencia generada a partir de la representación de la acción (evocada visualmente) sobre la representación del objeto es dependiente de la dinámica temporal de la integración dorsal-ventral?

**Estudio 2.**

¿La dinámica temporal de la acción (empleada como facilitadora) es determinante en la influencia que esta tiene sobre las respuestas (lateralizadas) a la categorización de los objetos?

**Estudio 3.**

¿El mayor tiempo de procesamiento sobre el objeto, cuando se atiende a su información semántica, es determinante en la influencia que la observación de una acción dirigida a un objeto (que debe categorizarse) ejerce sobre la respuesta del sujeto?

### **3.1. Estudio 1 (parte fundamental)**

#### **3.1.1 Objetivos**

Estudios comportamentales de categorización de objetos que emplearon la presentación visual de un gesto de agarre como estímulo facilitador reportaron efectos de compatibilidad cuando el gesto (que podía ser un agarre de fuerza ejecutado con toda la mano o una prensión de precisión con los dedos índice y pulgar) era el apropiado para agarrar un objeto según su tamaño (grande o pequeño) (Borghetti et al., 2005, 2007; Vainio et al., 2008). Este efecto -que llamamos efecto de facilitación agarre-objeto (*EFAO*)- es una forma de facilitación visomotora que sugiere un vínculo entre la planificación motora y la percepción visual (Craigheero, Fadiga, Rizzolatti, & Umiltà, 1998; Craigheero, Fadiga, Umiltà, & Rizzolatti, 1996; Tucker & Ellis, 1998). Entendemos que en este caso se ponen en contacto la representación de la acción y el objeto evocadas visualmente. El hecho de que la visión de un gesto de agarre congruente con el objeto facilite su categorización es una prueba de la contribución motora a la semántica del objeto.

En este estudio exploramos la dinámica temporal de ese vínculo considerando la división funcional de las dos vías corticales para la visión (dorsal y ventral) propuesta por Goodale & Milner, (1992). Esta teoría plantea una división de la información visual que sirve a la representación perceptual (vía ventral) y la que guía el procesamiento relativo a la acción (dorsal). La integración de esos dos procesos subyace al reconocimiento de objetos (Rizzolatti & Arbib, 1998).

Estudios previos muestran que estas dos vías de información son procesadas bajo diferentes dinámicas temporales (Bruno & Franz, 2009; Cohen et al., 2009; Milner & Goodale, 2008). Mientras las áreas ventrales almacenan información del objeto en la memoria a largo plazo permitiendo su reconocimiento a lo largo del tiempo, las áreas dorsales renuevan constantemente la información para permitir la rectificación de una acción en marcha; y la información no es almacenada más allá de la memoria icónica (Milner & Goodale, 2008).

En este estudio nos proponemos investigar si la integración de información motora y semántica cuando el estímulo facilitador (acción) desaparece está limitada por las dinámicas temporales de las áreas dorsales, que retienen información aproximadamente

no más de 500 ms después de que los estímulos dejan de estar disponibles para el sistema visual (Bruno & Franz, 2009; Cohen et al., 2009).

Con el fin de investigar la dinámica temporal del efecto *EFAO* diseñamos un estudio dedicado a explorar la influencia de dos tipos de acciones de agarre en la categorización de objetos introduciendo 5 condiciones de intervalos entre estímulos (0, 250, 500, 1000 y 2000 ms).

Nuestra hipótesis es que el efecto de compatibilidad entre la visión de la acción y la categorización del objeto aparecerá en los intervalos entre estímulos (ISI) más cortos y desaparecerá cuando el objeto sea presentado 500 milisegundos después de la presentación del estímulo facilitador (la acción de agarre), esto es, más allá de los límites de la memoria dorsal.

### 3.1.2. Resultados y discusión<sup>3</sup>

Los resultados del experimento principal muestran que existe una ventana temporal en el que el *EFAO* aparece más claramente. Este período de tiempo en que la facilitación visomotora se refleja de forma más potente incluye a los dos intervalos entre estímulos más cortos distintos de 0 (250 y 500 ms). En la condición de sustitución inmediata de los estímulos (ISI = 0) los tiempos de respuesta son más altos y se observa una tendencia a la interferencia no significativa. Interpretamos el resultado de ISI=0 como un efecto de compatibilidad negativa producida por una falla en la integración de información ocasionado por la sustitución abrupta de estímulos en el sentido reportado en estudios anteriores (Vainio et al., 2011; Vainio, 2009, 2011).

Los resultados de congruencia encontrados en este estudio para los ISI de 250 y 500 ms dan soporte la opinión de que las *affordances* de los objetos son generados por la conexión entre áreas ventrales y dorsales. Cuando se clasifica un objeto, la información semántica ventral es recuperada, pero también la información en relación con la forma en que el objeto se maneja es reclutada por áreas visuales dorsales. Esta es la razón por la que reconocimiento de objetos manipulables puede facilitarse mediante la presentación de un gesto manual congruente con el tamaño del objeto. La dinámica

---

<sup>3</sup> La descripción de los resultados obtenidos en los estudios comentados en este y los siguientes apartados está basada en los análisis de tiempos de respuesta. Los análisis de tasas de acierto no fueron incluidos al no aportar resultados teóricamente relevantes para nuestros objetivos. Los reportes de esos análisis se encuentran accesibles en los manuscritos anexos.

temporal del *EFAO* refleja la computación automática de las métricas de acción que se procesan cuando un objeto es percibido visualmente (Borghini et al., 2005, 2007; Vainio et al., 2008). De acuerdo con las evidencias reportadas esta información está disponible cuando el objeto es visualmente accesible y luego se preserva por no más de 500 ms aproximadamente.

Vale la pena mencionar que varios experimentos encontraron efectos de compatibilidad visomotora (*affordance*) empleando un objeto que debía ser recordado como facilitador de una respuesta manual (producida hasta 700 ms después de la desaparición del objeto) cuando esta era congruente con aspectos interactivos del objeto (Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Riggio et al., 2008; Tucker & Ellis, 2004), y también cuando los objetos fueron sustituidos por palabras que representaban objetos (Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Gough et al., 2012; Tucker & Ellis, 2004). Estos resultados muestran que pueden encontrarse efectos basados en actividad motora a partir de información almacenada en la memoria a largo plazo: lo que es congruente con evidencias neurofisiológicas acerca del reconocimiento de objetos (Chao, Haxby, & Martin, 1999; Chao & Martin, 2000; Pulvermüller et al., 1999). Sin embargo, debemos tener en cuenta que los gestos están más limitados en su capacidad de evocar automáticamente información semántica, del tipo categórico que es almacenado por áreas ventrales y por tanto son más dependientes de la actividad transitoria dorsal. De hecho, se ha reportado que al momento de emplear gestos como facilitadores de la categorización de objetos, la atención a estos necesita ser realizada. Esto se ha conseguido al solicitar a los participantes realizar un entrenamiento previo que implicaba la ejecución de gestos similares a los empleados como facilitadores (Borghini, 2005; Borghini et al., 2007). También se ha logrado potenciar el papel de los gestos como facilitadores al incluir en los ensayos experimentales una tarea adicional que ponía los objetos en el centro de la atención (justo antes de dar lugar a la tarea de categorización), por ejemplo decidir si se trataba de un gesto que habilita la ejecución de la respuesta o no (tarea *go-no-go*), como se hizo en nuestro estudio y en trabajos anteriores (Vainio et al., 2008).

En conclusión, los resultados del estudio 1 muestran que la influencia de visión de acciones en la categorización de objetos ocurre hasta 500 ms después de la desaparición de la acción empleada como facilitadora. En los intervalos de tiempo superiores a 500 ms el efecto decae no siendo significativo. En respuesta a la pregunta experimental que motivó este estudio, la respuesta es afirmativa. El *EFAO* depende de una dinámica

temporal que es acorde a la reportada para la integración de información visual procesada de forma separada por las vías corticales dorsal y ventral. Entendemos que esto refleja una característica de la contribución motora a la semántica del objeto: la proximidad temporal de una acción dirigida al objeto -que es congruente desde el punto de vista interactivo- resalta el componente motor de su representación semántica.

### **3.2. Estudio 2 (parte fundamental)**

#### **3.2.1. Objetivos**

En este estudio realizamos una modificación importante en relación al diseño experimental empleado en el estudio 1. En este caso la respuesta del participante es lateralizada y por tanto puede ser congruente (o no) con la orientación del objeto y la lateralización de una acción manual observada. De este modo, se explora la posibilidad de una triple congruencia entre la respuesta lateralizada de sujeto, la orientación del objeto y la observación de la acción producida por otro agente (también lateralizada). El objetivo de este estudio es explorar cómo la categorización del objeto se ve influida por la relación triádica entre: el objeto, el sujeto y el actor observado. Esta se refleja por medio del efecto affordance (relación objeto-sujeto), imitación (sujeto-actor) y *EFAO* (objeto-actor) y sus interacciones. Entendemos que esta relación triple es la que se establece cuando observamos un objeto manipulado por otra persona.

Además, en el estudio 2 ponemos el foco de interés en la dinámica temporal de la acción que se emplea como estímulo facilitador, con el fin de investigar como el realismo temporal de la acción observada afecta la facilitación visomotora producida por objeto y acción observada en la respuesta del participante. Con ese objetivo es que llevamos adelante dos experimentos por medio de los que comparamos los efectos de dos acciones diferentes dirigidas a objetos: una acción en la que se presenta un gesto de alcance y agarre (experimento 1a) y otro en el que la secuencia de la acción acaba con el gesto de alcance, sin llegar a producirse el agarre del objeto (1b).

El antecedente directo de este estudio es el trabajo de Ellis y colaboradores (2013) que también investiga los efectos simultáneos de las *affordances* de los objetos y las acciones observadas en una respuesta lateralizada. En ese trabajo los participantes observaron un gesto de agarre en una perspectiva en primera persona. La acción era

producida con la mano izquierda o la derecha hacia un objeto cuya parte agarrable también se orientaba a la izquierda o la derecha. Bajo estas circunstancias, Ellis y colegas (2013) observaron efectos sorprendentes. El efecto *affordance* de orientación se observó ante la presentación de un gesto realizado con la mano derecha, mientras que lo contrario se observó en la presentación de un gesto de alcance izquierdo; mostrando una cierta lateralización de la influencia del gesto observado en la *affordance*. Además, no se observó imitación ya que las respuestas fueron más rápidas con la mano contralateral al gesto observado.

Es de destacar que las respuestas no imitativas obtenidas por Ellis y colaboradores (2013) parecen contradecir la literatura reportando imitación automática de acciones manuales hacia objetos (Borghi et al., 2005, 2007; Edwards et al., 2003; González-Perilli et al., 2013; Vainio et al., 2008). Los autores proponen que estas discrepancias se deben a la introducción de un escenario social en el que el participante se preparaba de forma implícita para una acción en la que esperaba recibir el objeto del otro agente. Sin embargo en el trabajo de Ellis y colegas (2013), los clips de vídeo utilizados como estímulos no mostraron una mano realizando un gesto de prensión completo. Por el contrario, en ese estudio se presentó un video en el que una mano simplemente se acercaba a uno de los lados del objeto. Es decir, la secuencia en la que se mostraba la acción omitía la fase de prensión sobre el objeto, que era incluida en los estudios anteriores que reportaron imitación automática. Por tanto, creemos que el efecto de compatibilidad negativa encontrado por Ellis y colaboradores (2013) puede explicarse mejor si atendemos a la dinámica temporal (cinemática) en que se desarrolla la acción.

Inspirados en estos antecedentes, la motivación del artículo que presentamos como estudio 2 en esta tesis, es explorar si el realismo temporal de la acción empleada como facilitador es una condición necesaria para encontrar efectos visomotores positivos que reflejen la influencia provocada por la integración de acciones y objetos observados en respuestas a la categorización de objetos.

Adicionalmente se exploró el papel del género del actor observado (las imágenes de los actores -un hombre y una mujer- eran presentadas al inicio de cada ensayo) ya que había interés en investigar si el hecho de resaltar la presencia de otro agente potenciaba el efecto colaborativo sugerido por Ellis y colaboradores (2013). Además esta manipulación permitía explorar si información social, como el rol asociado al sexo, o un

efecto de afiliación entre el participante y el actor (cuando fueran del mismo sexo), podría influir en los efectos estudiados.

Nuestras predicciones para este estudio son que la visión de un gesto dirigido a agarrar un objeto, que no llega a completarse producirá resultados de compatibilidad negativa entre la visión y ejecución de la acción, mientras que la visualización de un agarre completo sobre el objeto -que favorece la integración de ambos en una *acción de agarre del objeto*- dará lugar a respuestas imitativas y efectos de *affordance*.

Además, se espera que la coincidencia entre el género del participante y el género del actor influya de forma positiva en los efectos visomotores explorados.

### 3.2.2. Resultados y discusión

Los resultados del estudio 2 mostraron un patrón marcadamente diferente de respuesta entre los experimentos en los que el facilitador fue un gesto de agarre completo o simplemente un movimiento de alcance. En el primero se observó una tendencia a respuestas imitativas más rápidas, mientras que en el segundo los participantes respondieron más rápido con la mano contralateral a la del gesto de los actores. La asociación entre la orientación del objeto y la respuesta del participante (*affordance*) no fue significativa en ninguno de los experimentos. Lo mismo ocurrió para la asociación entre objeto y respuesta observada (*EFAO*). Sin embargo los efectos de estas asociaciones se reflejaron en su interacción con el efecto de imitación para el experimento que mostraba un gesto de agarre completo (interacción significativa entre los efectos de *affordance*, *EFAO* e imitación).

En los que respecta a la imitación, el hecho de encontrar un efecto positivo para la visión de un gesto completo y lo contrario para el gesto interrumpido nos permite concluir que la inclusión de la fase final de la acción observada mostrando el gesto de agarre da lugar a diferencias radicalmente distintas en las respuestas provocadas en los participantes. Entendemos que este hallazgo puede ser explicado por dos razones: las ventajas específicas atribuidas a los gestos de agarre para transmitir intenciones o un efecto de interferencia que surge cuando una acción esperada (contacto mano-objeto) no llega a producirse, lo que implica una violación de la expectativa de temporalidad de la acción.

En cuanto a la primera posibilidad, tenemos en cuenta que se ha reportado que las

neuronas espejo (que serían responsable de la imitación automática) son más activas en respuesta a la visión de acciones dirigidas a metas (Gallese, 2009; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996). Dado que los gestos agarre son más eficaces especificando objetivos de acción en comparación con las acciones de agarre (Sartori et al., 2011) podríamos pensar que esta fase final (agarre) podría ser más eficaz en la obtención de imitación. Sin embargo estudios recientes en el sistema espejo humano (Newman-Norlund et al., 2007) sugieren que la actividad de las neuronas espejo provocadas por gestos de agarre pueden originar respuestas complementarias. Pero para que esto suceda información contextual adicional debe ser integrada. En nuestro *set up* experimental, además del gesto observado, sólo el objeto podría proporcionar información acerca de la intención de la acción, y los objetos se presentaron de la misma manera en ambos experimentos. Por lo tanto, es razonable deducir que las diferencias resultaron de la inclusión (o no) de las diferentes fases de la acción<sup>4</sup>. Otra posibilidad que podría explicar la compatibilidad negativa cuando se omite la fase de prensión, es considerar que la interrupción repentina de la acción observada da lugar a una disrupción del proceso de simulación, que subyace a la comprensión de la acción. De modo que la disrupción de la simulación puede haber dado lugar a una inhibición de la acción simulada que consecuentemente interfirió con el proceso de programación de una acción similar (con el que comparte recursos neurales). En sustento a esta explicación, se han reportado resultados similares en experimentos de facilitación visomotora cuando estímulos congruentes provocaron efectos negativos debido presentaciones muy breves (Vainio et al., 2013; Vainio et al., 2014; Vainio, 2009, 2011). En esos estudios, se ha argumentado que un proceso inhibitorio se activa cuando una acción entra en conflicto con un objetivo en curso o cuando la actualización visual de la información se interrumpe (Vainio, 2009). Esta explicación es congruente con estudios que han demostrado la importancia de la dinámica temporal en la percepción del movimiento humano (Castiello, 2003; Pozzo et al., 2006; Giacomo Rizzolatti & Craighero, 2004).

---

<sup>4</sup> Nos referimos a la división propuesta por Jeannerod (1984) entre la fase de transporte del miembro (que nosotros referimos como alcance) y la fase de prensión (agarre) que fueron descritas con parámetros cinemáticos diferentes (Jeannerod & Frak, 1999). Conviene mencionar que propuestas más recientes (Smeets & Brenner, 1999) cuestionan esta división a partir de nuevas evidencias. Sin entrar en detalles de esta discusión, aclaramos que en nuestro experimento la división en dos etapas está marcada principalmente con el contacto con el objeto, el que ocurre en la fase de agarre pero no en la llamada fase de alcance (y no por un análisis cinemático, que no fue realizado).



En cuanto a los efectos de *affordance* y *EFAO*, estos fueron modulados por el tipo de gesto observado, lo que sugiere la existencia de un proceso de integración de las representaciones del objeto y la acción observados que se refleja en la respuesta del participante. En los casos en que la acción facilitadora incluyó la fase de agarre se registraron efectos de compatibilidad de acuerdo a la orientación del objeto, cuando la acción era realizada con la mano derecha, mientras lo contrario sucedió cuando se observó un gesto izquierdo (un efecto de lateralización antes reportado por Ellis et al. 2013). En cambio, cuando el gesto observado fue solo de alcance, ningún efecto de *affordance* fue registrado. Estos resultados sugieren que los efectos de *affordance* y los provocados por la acción observada, aunque interactúan, podrían modularse de forma independiente.

En suma, los resultados del estudio 2 mostraron que la dinámica temporal con que se desarrolla la acción afecta la aparición de efectos visomotores en la respuesta del participante. La imitación involuntaria de la acción se produce cuando la acción observada se desarrolla de forma coherente con la posibilidad de contactar con un objeto al que se dirige. En cambio cuando la acción es interrumpida se encuentran efectos de interferencia. Por su parte, el gesto observado influye en los efectos de compatibilidad entre las propiedades interactivas del objeto y la respuesta lateralizada del participante (*affordance* de orientación); lo que también implica asumir la interacción con el *EFAO*. La visión del gesto de agarre completo ejecutado con la mano derecha afecto positivamente el efecto *affordance*, mientras que la visión de este gesto realizado con la mano izquierda se asoció a efectos de compatibilidad negativa. Si bien la interpretación de esta lateralización no es sencilla, prueba la posibilidad de una integración triple entre la acción observada, el objeto y la respuesta del sujeto, propia de los escenarios interactivos. Los resultados de este estudio nos permiten concluir que la dinámica temporal de la acción observada afecta la forma en que se produce esta integración responsable de la contribución motora a la semántica del objeto inserto en un escenario interactivo.

El hecho de que la afectación de la cinemática de la acción observada haya producido cambios tan notorios en la interacción descrita está de acuerdo con las propuestas que sugieren que el proceso de integración de información responsable de la comprensión de la acción implica una predicción que anticipa su resultado (Cisek, 2007; Grush, 2004; Jacob & Jeannerod, 2005; Jeannerod, 2001).

En cuanto al factor relacionado al género del actor, no fueron encontrados efectos significativos por lo que concluimos que el resaltar la presencia del actor no produjo ningún efecto considerable y que, al menos de acuerdo a este diseño experimental y con la cantidad de sujetos con los que trabajamos, las influencias sociales asociadas al género no afectan los efectos estudiados.

### **3.3. Estudio 3 (parte no fundamental)**

#### **3.3.2. Objetivos**

El estudio 2 mostró que un cambio en la cinemática de la acción observada era suficiente para afectar los efectos visuomotores ejercidos por la visión de una acción dirigida a un objeto en la respuesta del participante, que debía categorizar al objeto. La supresión de la fase del movimiento en que la mano tomaba contacto con el objeto revertía el efecto de imitación automática. Tampoco los efectos de asociación entre objeto y respuesta del sujeto (*affordance*) o asociación entre acción y objeto observados (*EFAO*) resultaban positivos. Entendemos que estos hallazgos están en línea con las teorías que proponen que para la comprensión de una acción tiene lugar un proceso que se anticipa su resultado (Cisek, 2007; Grush, 2004; Jacob & Jeannerod, 2005; Jeannerod, 2001). En relación a esta a esta posibilidad se ha propuesto que los objetos son un factor principal que favorece la producción de una predicción positiva (Bach, Nicholson, & Hudson, 2014).

En este sentido, distintas evidencias sugieren que no solo la presencia o ausencia de un objeto pero también el nivel de atención dedicada a un objeto presente modula la facilitación de respuestas visomotoras congruentes (Bach, Peatfield, & Tipper, 2007; Chong, Cunnington, Williams, & Mattingley, 2009). Por ejemplo un estudio dedicado al efecto *affordance* de lateralización mostró que cuando el único atributo requerido por el participante para elaborar su respuesta es el color, solo efectos básicos como el *Simon* tiene lugar, pero no efectos de tipo *affordance* (Symes et al., 2005). Un hallazgo importante de ese estudio fue que la magnitud del efecto *affordance* era mayor en la medida que los tiempos de respuesta crecían, lo que sucedía cuando los participantes categorizaban al objeto. Esto sugería que la recuperación de los atributos motores de los objetos necesitaba del desarrollo de un proceso creciente de integración de

información que respondía a la necesidad de acceder a la identidad del objeto y que se desarrollaba en la medida que los participantes mantenían su atención sobre este.

En el estudio 2 exploramos como la extracción de diferentes atributos de los objetos, que pueden ser más básicos (color) o más complejos (categoría) afecta los efectos visomotores que dan cuenta de la contribución motora a la representación semántica del objeto. De modo que comparamos entre un escenario social en el que el conocimiento de la identidad del objeto es demandado y otro en el que solo algunos aspectos (color) necesitaban ser procesados. Esta manipulación nos permitió investigar de que forma el tiempo de procesamiento dedicado al objeto -el que es mayor cuando este debe categorizarse- está relacionado con la aparición de efectos visomotores, cuando el objeto es el objetivo de una acción.

La pregunta planteada en este estudio es si el proceso dedicado a la categorización del objeto, que implica una atención más prolongada, necesariamente dará lugar a efectos visomotores positivos más potentes que en el caso en que únicamente se atiende al color, aún cuando el objeto aparezca incluido en una acción que le tiene como meta.

Nos interesa particularmente investigar cómo el cambio en la disposición del sujeto, producido por las distintas demandas experimentales introducidas, afecta el tipo de representación evocada del objeto. Creemos que el procesamiento por el que se extrae información acerca de la identidad del objeto (categorización) será más susceptible a dar lugar a una facilitaciones visomotoras.

Esperamos entonces encontrar menores tiempos de respuesta para la tarea de discriminación de color en comparación con la tarea de categorización. Además predecimos que esto llevará a que en la tarea de categorización del objeto se produzcan efectos visomotores positivos de imitación y *affordance* mayores a cuando se responda sobre el color. Pensamos que el acceso a la identidad del objeto favorecerá la extracción de sus atributos motores facilitando su integración con la acción observada, y de ese modo afectará positivamente la producción de respuestas congruentes del participante (compatibilidad entre respuesta lateralizada del participante, orientación del objeto y lateralización de la acción observada).

### 3.3.2. Resultados y discusión

Los resultados mostraron que las respuestas fueron más rápidas en el bloque en el que los participantes respondieron al color del objeto. Además, sorprendentemente el orden en el que los bloques experimentales fueron presentados fue determinante para la observación de distintos efectos visomotores. Principalmente el bloque de respuesta a la categoría registró tendencias opuestas según si había sido el primero presentado o era ejecutado después del bloque de respuesta al color. Esto mostró que las estrategias de respuestas desarrolladas por los participantes en un bloque experimental son capaces de influir en las respuestas en un bloque posterior dedicado a explorar efectos visomotores; un efecto ya reportado para el efecto *affordance* (Ambrosecchia et al., 2015; Ottoboni, Iani, Tessari, & Rubichi, 2013).

Considerando únicamente los casos en los que cada bloque era presentado por primera vez, podemos concluir que el hecho de responder al color o a la categoría del objeto produjo diferencias importantes. En lo que refiere a la imitación de las acciones observadas, se registraron respuestas distintas en los dos bloques aunque estas no fueron significativas<sup>5</sup>. La tendencia fue hacia la imitación al responder a la categoría y la opuesta discriminando el color. En lo que refiere al efecto de *affordance*, una tendencia positiva fue observada cuando la identidad del objeto era recuperada (en el bloque de categorización), aunque la interacción que refleja este efecto no alcanzó a ser significativa ( $p = .057$ ).

Por otra parte, la interrelación entre los efecto *affordance*, *EFAO* e imitación parece reflejarse por medio de una interacción que no llegó a ser significativa ( $p = .059$ ), pero que daba cuenta de una facilitación de la coincidencia derecha de orientación del objeto, acción observada y respuesta producida; esta diferencia entre casos compatibles e incompatibles derechos duplicaba a la diferencia, también positiva, observada en los casos izquierdos.

Curiosamente la disminución del acceso a la información semántica al responder al color, no solo anuló el efecto *affordance* sino que dio lugar a un efecto de compatibilidad negativa. Esto se explica porque siendo los objetos asimétricos la parte

---

<sup>5</sup> Conviene tener presente que la observación de efectos significativos vinculados al orden de presentación de los bloques nos llevó a realizar análisis separados de los datos, considerando si provenían de los casos en que el bloque era presentado primero (sin la influencia de un bloque previo) o después del otro bloque experimental. Este procedimiento nos llevó a perder poder estadístico.

no agarrable del objeto era en la mayoría de los casos la que ocupó una parte mayor del espacio en la pantalla (como en el caso de un martillo, cuya cabeza es más grande que el mango). Creemos que por esa razón, al responder al color la atención fue sesgada hacia el lado no agarrable del objeto dando lugar a una facilitación de tipo *Simon*.

Otro hallazgo importante de este estudio proviene de los análisis distribucionales de los tiempos de respuesta. Estos demostraron que el efecto *affordance* aumenta en la medida que las latencias son mayores. Sugiriendo que en la medida que los participantes dedicaban más tiempo al procesamiento del objeto los efectos de compatibilidad visomotora positiva aparecen de forma más potente. Un resultado que explica en parte la dificultad de encontrar efectos de significación para varias tendencias observadas.

La modulación de las tendencias de *affordance* e imitación automática a través de los bloques -cuando fueron presentados por primera vez- sugiere que el acceso al conocimiento semántico del objeto puede ser determinante para el proceso de integración de la acción y el objeto, y que esto es relevante para la aparición de los efectos visomotores en escenarios sociales. Además, este proceso de integración de acción y objeto en una *acción de agarre del objeto* implica un determinado tiempo de procesamiento, el que es necesario para la elaboración de una representación conjunta que puede influir en la respuesta del participante.

Concluimos que los resultados de este estudio muestran que la actitud o disposición del sujeto frente al objeto es un elemento fundamental para la emergencia de los efectos visomotores automáticos. En este sentido, entendemos que la representación del objeto generada se vio mayormente influida por el tipo de procesamiento demandado, Pero también pensamos que la contribución motora a esa representación se vio favorecida cuando los participantes atendieron a la identidad del objeto, lo que prueba la existencia de la influencia motora en la semántica del objeto. En este sentido, proponemos que el tiempo de procesamiento del objeto es un buen marcador de este fenómeno ya que nos permite apreciar como a mayor tiempo de procesamiento los fenómenos emergen con más fuerza.

### **3.4. *Discusión general***

En conjunto los tres estudios presentados ilustran aspectos relevantes de la dinámica temporal de los efectos de facilitación producidos por gestos de agarre en la categorización de objetos. Dichos aspectos corresponden a la temporalidad de la interacción entre la observación de una acción y un objeto, la secuencia en la que la acción se desenvuelve y la temporalidad del proceso de percepción del objeto en función de la atención que se le dedica.

El estudio 1 muestra que la interacción entre la percepción de una acción y de un objeto está sujeta a una cierta integración temporal relativamente breve. Desde el punto de vista de la actividad neural, esta integración temporal sigue los parámetros reportados para la actividad de la vía visual dorsal (Bruno & Franz, 2009; Cohen et al., 2009; Milner & Goodale, 2008). Por su parte, desde el punto de vista comportamental los resultados del estudio 1 sugieren que la facilitación de la visión de la acción en la categorización del objeto sigue las pautas temporales de la interacción real con un objeto. Entendemos que esto ocurre, porque la integración de la visión del gesto de agarre y el objeto al que este se dirige en la representación de una acción intencional, se favorece de la recreación de la dinámica temporal típica de la acción, mayormente codificada en regiones visomotoras dorsales. No obstante, sabemos que la información relativa a la acción puede ser almacenada en la memoria a largo plazo y evocada por la vía ventral, pero esta información no contiene en mismo nivel de especificidad que provee la codificación dorsal de la acción, de modo que tiene una capacidad limitada para facilitar la percepción de objetos, tal como reflejan nuestros resultados.

Esta caracterización es importante a nivel teórico ya que da soporte a la propuesta de que la representación del objeto contiene información acerca de sus posibilidades de manipulación que son conformadas únicamente ante la visión del objeto, en base a información manipulativa específica codificada por áreas visomotoras dorsales. En esta evocación el contexto y estado del sujeto juegan un rol fundamental modulando el tipo de representación evocada. Nuestra concepción, siguiendo la propuesta de emulación (Grush, 2004), es que la semántica del objeto sigue los esquemas creados por la experiencia del sujeto con el objeto, y estos incluyen información acerca de la dinámica temporal de esa experiencia. Un resultado de este proceso es que la evocación visual de

una acción dispara un proceso predictivo en el que un objeto va a encajar si es coherente con la intención sugerida por la acción.

Así pues, en el estudio 1 nos dedicamos a explorar la temporalidad de la interacción de acción y objeto, observando en qué medida esto es informativo acerca de la posibilidad de una representación pragmática del objeto, dependiente del contexto y basada en la experiencia interactiva. En los estudios 2 y 3 extendimos esta exploración poniendo el foco en la temporalidad del facilitador (acción) (estudio 2) y en el *target* (objeto) (estudio 3) de la contribución de acciones a la categorización de objetos. Pero además incluimos un tipo de respuesta que podía ser compatible con el objeto y la acción observados. Nos referimos a la respuesta lateralizada del participante, ejecutada con las disitintas manos, que podía coincidir con la orientación de la parte agarrable del objeto y con la lateralización de la mano que ejecutaba la acción observada. De este modo, exploramos como la acción y el objeto se relacionaban con la respuesta (específica) del participante.

En el estudio 2 nos interesó explorar la temporalidad de la acción dado que está es relevante para la atribución de la intención del movimiento y, por tanto, debía afectar la evocación del objeto, dado que entendemos que la representación del objeto se adecua al contexto en el que se inserta. De modo que este estudio se centró en la dinámica temporal del facilitador. Con ese fin manipulamos la temporalidad de la acción, comparando un gesto de agarre que se aproximaba al objeto pero en el que la fase de agarre era suprimida con otro en que la acción de agarre se mostraba de forma completa. Los resultados de este estudio muestran que la omisión de la fase de agarre del gesto afecta la conducta del sujeto dando lugar a respuestas contralaterales más cortas, en comparación con los casos en que mano observada y mano de respuesta coinciden. Creemos que esto es producto de una violación de la expectativa del participante que lleva a una interferencia. Es decir, el gesto observado tenía claramente como finalidad la prensión del objeto y al no suceder esto, se produce un efecto de compatibilidad negativa. Entendemos que esto también puede interpretarse como una afectación de la dinámica temporal observada. Es decir, la violación de la expectativa de la acción de agarre implica una incongruencia entre la temporalidad de la acción anticipada por el sistema cognitivo (a partir de la observación de los primeros instantes de su ejecución) con la interrupción repentina en la que acaba. Esta incongruencia genera una inhibición de la simulación interna que tiene lugar en la percepción de la acción (Jacob &

Jeannerod, 2005). A su vez, esta inhibición de la simulación causa una interferencia en la programación motora de la respuesta del participante (Vainio et al., 2013), lo que se demuestra al observarse tiempos de respuesta más altos en este experimento en relación al experimento en que se muestra una acción de agarre completa. Pero además ese efecto de interferencia es más notorio cuando la mano observada y la mano del participante coinciden, tal como sugiere el hecho de que se observen respuestas más rápidas cuando ante la visión de la acción contralateral.

Asimismo, los resultados del estudio 2 muestran que el efecto de *affordance* ocurre únicamente ante la visión del gesto de agarre completo. Nuestra interpretación de este resultado es que el efecto visomotor producido por el objeto también se ve afectado cuando la temporalidad del facilitador no está de acuerdo a las expectativas generadas por la propia acción.

El estudio 3 por su parte, se centró en el tipo de procesamiento del objeto que el sujeto debía realizar, en función de la tarea asignada. El énfasis aquí, estuvo puesto en las características atencionales requeridas al momento de procesar el objeto. Estudios previos sugieren que distintas demandas de acceso a la información del objeto pueden producir distintos efectos visomotores (Symes et al., 2005). A partir de estos planteos, nos preguntamos por el rol de la disposición del participante ante el objeto y, para explorar esto, diseñamos el estudio 3.

A diferencia de los dos estudios anteriores, en este caso nos centramos en la dinámica temporal de dos procesos de comprensión distintos y con demandas atencionales diferentes: uno que implicaba el acceso a la identidad del objeto (categorización) y otro en el que solo era necesario el procesamiento del atributo color, por lo que implicaba una integración más simple de información. Los resultados del estudio 3 permiten apreciar que el proceso que demanda más tiempo de procesamiento (categorización) es el que da lugar a efectos visomotores positivos. Además, la congruencia entre la orientación del objeto y el lado sobre el que se produce la respuesta aparece cuando el objeto es atendido por más tiempo. Esto sugiere que ante la necesidad de categorizar el objeto se produce un proceso de integración de información que incluye a aquella relacionada con la forma en que el objeto se manipula. La aparición del efecto de orientación indica que en entre las múltiples formas de interacción posibles aquella más adecuada se destaca (por ejemplo, agarrar un martillo por el mango) y por ello la acción



de respuesta que coincide con la simulación de esa acción se ve facilitada. El hecho que la forma de interacción más adecuada del objeto sea destacada afectando su percepción acuerda con la *Teoría de la competencia de affordances* (Cisek, 2007) explicada en el marco teórico de esta tesis.

En suma los tres estudios apoyan una visión dinámica de la contribución motora a la semántica de los objetos. Esta contribución motora cobra mayor relevancia ante la proximidad temporal de una acción observada que sea temporalmente compatible con el estímulo percibido y es distinta a partir de cuál sea la disposición del sujeto.

### **3.5. Conclusiones**

Estudios previos han mostrado que la visión de una acción con la que un objeto es habitualmente manipulado facilita su categorización. Este hallazgo ha sido interpretado con una prueba de la contribución motora a la semántica del objeto.

Considerando que la codificación motora es sensible a dinámicas temporales muy específicas, en esta tesis nos propusimos explorar como la dinámica temporal en que se desarrollan las acciones afecta la facilitación que ejercen en la categorización de objetos.

Con ese objetivo nos centramos en tres aspectos de la dinámica temporal de las acciones empleadas como facilitadoras en tareas de categorización de objetos: El grado de simultaneidad con el que la acción y el objeto son presentados, la cinemática de la acción empleada como facilitadora y el tipo de procesamiento del objeto que realiza el sujeto dependiendo de si debe categorizarlo o atender a su color. A través de tres estudios empíricos pudimos comprobar que estos tres factores afectan las respuestas a la categorización de objetos, lo que nos permite concluir lo siguiente:

La visión previa de una acción de agarre con la que un objeto es habitualmente manipulado favorece la evocación de los aspectos motores que contribuyen a la categorización del objeto, siempre y cuando el objeto no se presente luego de un intervalo temporal mayor al que normalmente media entre el la acción y el objeto cuando es agarrado.

La contribución motora a la categorización del objeto se beneficia de la observación simultánea de una acción dirigida al objeto, si la cinemática de esa acción es acorde a la de las acciones normalmente observadas.

Finalmente, la contribución motora a la semántica del objeto -que se ve favorecida cuando el objeto es el objetivo de una acción- es más notoria cuando el sujeto atiende a la identidad del objeto. Durante este tiempo en el que el objeto es atendido sus propiedades motoras son extraídas de forma implícita y potencian la facilitación producida por la visión de la acción. Si en cambio solo se atiende a un atributo como el color la facilitación de la acción se ve limitada. Esto significa que la disposición del sujeto, que dedica un cierto tiempo de procesamiento al objeto, es importante para la contribución motora a la categorización del objeto.

Vistos globalmente, pensamos que nuestros resultados dan soporte a una perspectiva que reconcilia la visión experimental y neurocientífica con la fenoménica: la influencia de la acción en la semántica guarda relación con la temporalidad con la que se produce la acción real.

### *3.5.1. Limitaciones*

Somos conscientes de que las preguntas planteadas en los trabajos presentados no se responden completamente con los resultados encontrados en los trabajos ofrecidos. Además los hallazgos presentados cobran sentido a la luz del conjunto de evidencias que constantemente se aportan en el campo. Por lo tanto más allá de que pensamos haber realizado un pequeño avance, reconocemos la necesidad de realizar muchos más experimentos en que las condiciones de interacción sean manipuladas, incluyendo distintas condiciones de asincronía entre estímulos, distintos actores, distintos objetos, distintas consignas y, por qué no, la inclusión de factores multisensoriales, sociales y emocionales.

Otra limitación a tener presente tiene que ver con la dificultad de encontrar efectos significativos en muchos de los análisis estadísticos realizados, incluso en los casos donde las tendencias observadas aparecían con claridad. Creemos que esta dificultad está relacionada con la cantidad de factores incorporados en nuestros diseños

experimentales, la variabilidad presentada en los efectos estudiados y la aparición de efectos inesperados.

Es de reconocer que existen muchas fuentes de variabilidad difíciles de controlar en nuestra área de trabajo. Una de ellas es la cinemática del movimiento de los actores que son registrados para componer los estímulos. Es difícil controlar que los actores realicen movimientos similares, así como es difícil determinar como esa variabilidad asumida influye en los resultados obtenidos en los experimentos. No es fácil instruir a los actores y tampoco es fácil para ellos ser consistentes con las indicaciones y, al mismo tiempo, mantener la *naturalidad* de la acción. El límite ente la facilitación y la interferencia es muy sutil. Estos problemas afectan la capacidad de generalización de los resultados.

En esta tesis, pretendimos poner el foco en el estudio de uno de los elementos claves para comprender la semántica de los objetos: la temporalidad de las acciones. Estamos convencidos de que esta línea de trabajo constituye una de las muchas perspectivas posibles de trabajo que en los años venideros aportaran evidencias relevantes que contribuirán fuertemente a la clarificación de este tipo de fenómenos. En esa empresa estamos.

### 3.5.2. *Perspectivas futuras*

De acuerdo con lo señalado en el apartado anterior (limitaciones) creemos que sería fructífero refinar el diseño experimental de modo que permita captar ciertos componentes dinámicos de la interacción explorada. Esto puede hacerse con registros de movimiento que permitan modelar computacionalmente los parámetros de las acciones y así diseñar experimentos en que tanto este factor como la simultaneidad de presentación de objetos o la acción realizada por otro actor puedan ser controladas.

En estos meses nos encontramos llevando adelante un proyecto que pretende registrar y modelizar los movimientos intencionales de los actores. Para esto registramos con cámaras infrarrojas de profundidad (*Microsoft Kinect*) y extraemos parámetros cinemáticos de las acciones. Aplicamos técnicas de aprendizaje de ordenador (*machine learning*) con el fin de detectar los componentes que caracterizan acciones con distintas finalidades. Nuestro objetivo es poder recrear las acciones por medio de animaciones

computarizadas. De este modo podremos controlar la variabilidad del movimiento de forma gradual (no suprimirla) y acceder a nuevas manipulaciones que seguramente enriquecerán nuestros aportes a la línea de investigación.



#### 4. Referencias

- Agnew, Z. K., Wise, R. J. S., & Leech, R. (2012). Dissociating object directed and non-object directed action in the human mirror system; implications for theories of motor simulation. *PLoS ONE*, 7(4), e32517. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0032517>
- Ambrosecchia, M., Marino, B. F. M., Gawryszewski, L. G., & Riggio, L. (2015). Spatial stimulus-response compatibility and affordance effects are not ruled by the same mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(283), 1–11. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00283>
- Andersen, R. A. (1995). Encoding of intention and spatial location in the posterior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 5(5), 457–469.
- Andersen, R. A., & Buneo, C. A. (2002). Intentional maps in posterior parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 25(1), 189–220.
- Anderson, S. J., Yamagishi, N., & Karavia, V. (2002). Attentional processes link perception and action. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 269(1497), 1225–32. <http://doi.org/10.1098/rspb.2002.1998>
- 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. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0011751>
- Bach, P., Gunter, T. C., Knoblich, G., Prinz, W., & Friederici, A. D. (2009). N400-like negativities in action perception reflect the activation of two components of an action representation. *Soc. Neurosci.*, 4 (1747-0927 (Electronic)), 212–232. <http://doi.org/10.1080/17470910802362546>
- Bach, P., Nicholson, T., & Hudson, M. (2014). The affordance-matching hypothesis: how objects guide action understanding and prediction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(May), 254. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00254>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *The Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577–609; discussion 610–660.
- Beer, R. D. (1995). A dynamical systems perspective on agent-environment interaction. *Artificial Intelligence*, 72(1-2), 173–215. [http://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00005-L](http://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00005-L)
- Binkofski, F., Buccino, G., Posse, S., Seitz, R. J., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (1999). A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: Evidence from an fMRI-study. *European Journal of Neuroscience*, 11(9), 3276–3286. <http://doi.org/10.1046/j.1460-9568.1999.00753.x>
- Blakemore, S. J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the

- understanding of intention. *Nature Reviews. Neuroscience*, 2(8), 561–567.  
<http://doi.org/10.1038/35086023>
- Bonini, L., Maranesi, M., Livi, A., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (2014). Space-dependent representation of objects and other's action in monkey ventral premotor grasping neurons. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(11), 4108–19.  
<http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4187-13.2014>
- Borghini, A. M. (2005). Object Concepts and Action. In *Grounding Cognition* (pp. 8–34).  
<http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.11.004>
- Borghini, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2005). Visual hand primes and manipulable objects. In B. G. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the Cognitive Science Society* (pp. 322–327). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, inc.
- Borghini, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? *Neuroscience Letters*, 411, 17–21.
- Borghini, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(June), 1–16.  
<http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- Brass, M., Bekkering, H., & Prinz, W. (2001). Movement observation affects movement execution in a simple response task. *Acta Psychologica*, 106(1-2), 3–22.  
[http://doi.org/10.1016/S0001-6918\(00\)00024-X](http://doi.org/10.1016/S0001-6918(00)00024-X)
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, a, & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and Cognition*, 44(2), 124–143.  
<http://doi.org/10.1006/brcg.2000.1225>
- Bruno, N., & Franz, V. H. (2009). Neuropsychologia When is grasping affected by the Müller-Lyer illusion ? A quantitative review. *Perception*, 47, 1421–1433.  
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.031>
- Buneo, C. a., & Andersen, R. a. (2006). The posterior parietal cortex: Sensorimotor interface for the planning and online control of visually guided movements. *Neuropsychologia*, 44, 2594–2606.  
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.011>
- Calvo, P., & Gomila, A. (2008). *Handbook of Cognitive Science. An Embodied Approach. Foundations*. Elsevier.
- Calvogarzon, P., Laakso, a, & Gomila, T. (2008). Dynamics and Psychology. *New Ideas in Psychology*, 26(2), 143–145.

<http://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2008.02.001>

- Cangelosi, A., & Harnad, S. (2001). The Adaptive Advantage of Symbolic Theft Over Sensorimotor Toil: Grounding Language in Perceptual Categories. *Evolution of Communication*, 4(1), 1–30. <http://doi.org/10.1075/eoc.4.1.07can>
- Cardellicchio, P., Sinigaglia, C., & Costantini, M. (2013). Grasping affordances with the others hand: A tms study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(4), 455–459. <http://doi.org/10.1093/scan/nss017>
- Cavallo, A., Heyes, C., Becchio, C., Bird, G., & Catmur, C. (2014). Timecourse of mirror and counter-mirror effects measured with transcranial magnetic stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(8), 1082–8. <http://doi.org/10.1093/scan/nst085>
- Chao, L. L., & Martin, A. (1999). Cortical regions associated with perceiving, naming, and knowing about colors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(1), 25–35.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *NeuroImage*, 12(4), 478–484.
- Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2010). The object-based Simon effect: grasping affordance or relative location of the graspable part? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 36(4), 853–861. <http://doi.org/10.1037/a0019328>
- Cisek, P. (2007). Cortical mechanisms of action selection: the affordance competition hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 362(1485), 1585–1599. <http://doi.org/10.1098/rstb.2007.2054>
- Cohen, N. R., Cross, E. S., Tunik, E., Grafton, S. T., & Culham, J. C. (2009). Ventral and dorsal stream contributions to the online control of immediate and delayed grasping: a TMS approach. *Neuropsychologia*, 47(6), 1553–1562.
- Colby, C. L., & Goldberg, M. E. (1999). Space and attention in parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 22(1), 319–349.
- Costantini, M., Ambrosini, E., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). When objects are close to me: affordances in the peripersonal space. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 302–308. <http://doi.org/10.3758/s13423-011-0054-4>
- Costantini, M., Ambrosini, E., Sinigaglia, C., & Gallese, V. (2011). Tool-use observation makes far objects ready-to-hand. *Neuropsychologia*, 49(9), 2658–2663. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.013>
- Costantini, M., Ambrosini, E., Tieri, G., Sinigaglia, C., & Committeri, G. (2010). Where does an object trigger an action? An investigation about affordances in space. *Experimental Brain Research*, 207(1-2), 95–103. <http://doi.org/10.1007/s00221-010-2435-8>



- Costantini, M., Committeri, G., & Sinigaglia, C. (2011). Ready both to your and to my hands: Mapping the action space of others. *PLoS ONE*, *6*(4), 2–7.  
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0017923>
- Craighero, L., Bello, A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (2002). Hand action preparation influences the responses to hand pictures. *Neuropsychologia*, *40*, 492–502.
- Craighero, L., Fadiga, L., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. (1998). Visuomotor Priming. *Visual Cognition*, *5*(1-2)(1), 109–125. <http://doi.org/10.1080/713756780>
- Craighero, L., Fadiga, L., Umiltà, C. A., & Rizzolatti, G. (1996). *Evidence for visuomotor priming effect. NeuroReport* (Vol. 8).
- Culham, J. C., Gallivan, J., & Cavina-Pratesi, C. (2008). *Embodiment, Ego-Space, and Action - Google Books*. (M. B. (Editor) Roberta L. Klatzky (Editor), Brian MacWhinney (Editor), Ed.)... (1 edition). East Sussex: Psychology Press.
- Culham, J. C., & Kanwisher, N. G. (2001). Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*.  
[http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00191-4](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00191-4)
- Culham, J. C., & Valyear, K. F. (2006). Human parietal cortex in action. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(2), 205–12.  
<http://doi.org/10.1016/j.conb.2006.03.005>
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain. Bmj Clinical Research Ed.* (Vol. 310). Putnam.
- Damasio, H., Tranel, D., Grabowski, T., Adolphs, R., & Damasio, A. (2004). Neural systems behind word and concept retrieval. *Cognition*, *92*(1-2), 179–229.
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2008.02.057>
- Decety, J. (1996). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cognitive Brain Research*, *3*(2), 87–93. [http://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00033-X](http://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00033-X)
- Decety, J., & Grèzes, J. (2006). The power of simulation: imagining one's own and other's behavior. *Brain Research*, *1079*(1), 4–14.  
<http://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.12.115>
- Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., ... Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, *120*(10), 1763–1777.  
<http://doi.org/10.1093/brain/120.10.1763>
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented

- actions. *Behavioural Brain Research*, 34(1-2), 35–42.  
[http://doi.org/10.1016/S0166-4328\(89\)80088-9](http://doi.org/10.1016/S0166-4328(89)80088-9)
- Derbyshire, N., Ellis, R., & Tucker, M. (2006). The potentiation of two components of the reach-to-grasp action during object categorisation in visual memory. *Acta Psychologica*, 122(1), 74–98.
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale*, 91(1), 176–180.
- Edwards, M., Humphreys, G., & Castiello, U. (2003). Motor facilitation following action observation: A behavioural study in prehensile action. *Brain and Cognition*, 53(3), 495–502. [http://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00210-0](http://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00210-0)
- Eimer, M. (1995). Stimulus-response compatibility and automatic response activation: evidence from psychophysiological studies. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 21(4), 837–54. <http://doi.org/7643051>
- Ellis, R., Swabey, D., Bridgeman, J., May, B., Tucker, M., & Hyne, A. (2013). Bodies and other visual objects: The dialectics of reaching toward objects. *Psychological Research*, 77, 31–39. <http://doi.org/10.1007/s00426-011-0391-y>
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451–471.  
<http://doi.org/10.1348/000712600161934>
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73(6), 2608–2611. <http://doi.org/10.1.1.299.4524>
- Fagg, A. H., & Arbib, M. A. (1998). Modeling parietal-premotor interactions in primate control of grasping. *Neural Networks the Official Journal of the International Neural Network Society*, 11(7-8), 1277–1303. [http://doi.org/10.1016/S0893-6080\(98\)00047-1](http://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00047-1)
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 17(8), 1703–1714. <http://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02601.x>
- Fischer, M. H., & Dahl, C. D. (2007). The time course of visuo-motor affordances. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 176(3), 519–24. <http://doi.org/10.1007/s00221-006-0781-3>
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. Notes. MIT Press.
- Fogassi, L., Gallese, V., Buccino, G., Craighero, L., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (2001).

- Cortical mechanism for the visual guidance of hand grasping movements in the monkey: A reversible inactivation study. *Brain a Journal of Neurology*, 124(Pt 3), 571–586.
- Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Luppino, G., Matelli, M., & Rizzolatti, G. (1996). Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of Neurophysiology*, 76(1), 141–157.
- Frak, V., Paulignan, Y., & Jeannerod, M. (2001). Orientation of the opposition axis in mentally simulated grasping. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 136(1), 120–127.  
<http://doi.org/10.1007/s002210000583>
- Gallese, V. (2009). Mirror Neurons, Embodied Simulation, and the Neural Basis of Social Identification. *Psychoanalytic Dialogues*, 19(5), 519–536.  
<http://doi.org/10.1080/10481880903231910>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119 (September), 593–609.  
<http://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *NeuroImage*, 35(4), 1674–1684.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Book (Vol. 24). Houghton Mifflin.
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 36(2), 330–340. <http://doi.org/10.1037/a0017180>
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin Review*, 9(3), 558–565.
- Glenberg, A. M., Robertson, D. A., Kaschak, M. P., & Malter, A. J. (2003). Embodied meaning and negative priming. *Behavioral Brain Sciences*, 26(5), 644–648.
- Goldin-Meadow, S. (2006). Talking and thinking with our hands. *Current Directions in Psychological Science*, 15(1), 34–39. <http://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2006.00402.x>
- Gomila, A. (2008). Mending or abandoning cognitivism? In a. Glenberg, A. M., De Vega, M., Glaesser (Ed.), *Symbols and Embodiment* (pp. 799–834). Oxford University Press.
- González Perilli, F., Ramón Barrada, J., & Maiche, A. (2013). Temporal dynamics of action contribution to object categorization. *Psicologica*, 34(2), 145–162.

- Goodale, M. A., & Humphrey, G. K. (1998). The objects of action and perception. *Cognition*, 67(1-2), 181–207. [http://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00017-1](http://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00017-1)
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25.
- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale*, 112(1), 103–111.
- Grafton, S. T., Fadiga, L., Arbib, M. A., & Rizzolatti, G. (1997). Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *NeuroImage*, 6(4), 231–236.
- Grèzes, J., Armony, J. L., Rowe, J., & Passingham, R. E. (2003). Activations related to “mirror” and “canonical” neurones in the human brain: An fMRI study. *NeuroImage*, 18(4), 928–937. [http://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00042-9](http://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00042-9)
- Grèzes, J., & Decety, J. (2000). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12(1), 1–19. [http://doi.org/10.1002/1097-0193\(200101\)12:1<1::AID-HBM10>3.0.CO;2-V](http://doi.org/10.1002/1097-0193(200101)12:1<1::AID-HBM10>3.0.CO;2-V)
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action: an fMRI study of implicit processing. *The European Journal of Neuroscience*, 17(12), 2735–2740.
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: motor control, imagery, and perception. *The Behavioral and Brain Sciences*, 27(3), 377–96; discussion 396–442. <http://doi.org/10.1017/S0140525X04000093>
- Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 95(25), 15061–15065.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301–7. [http://doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00838-9](http://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00838-9)
- Helmholtz, H. (1968). The Facts of Perception. In *Helmholtz on perception: its physiology and development* (pp. 207–231). <http://doi.org/10.1037/030368>
- Hickok, G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1229–1243. <http://doi.org/10.1162/jocn.2009.21189>
- Hommel, B. (1997). Toward an action-concept model of stimulus-response

- compatibility. *Advances in Psychology*, 118(C), 281–320.  
[http://doi.org/10.1016/S0166-4115\(97\)80041-6](http://doi.org/10.1016/S0166-4115(97)80041-6)
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849–878; discussion 878–937.
- Horgan, T., & Tienson, J. (1994). A nonclassical framework for cognitive science. *Synthese*, 101(3), 305–345. <http://doi.org/10.1007/BF01063893>
- Husserl, E. (1913). Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch: Allgemeine Einführung in die reine Phänomenologie. *Jahrbuch Für Philosophie Und Phänomenologische Forschung*, 1(1), 1–323.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., & Mazziotta, J. C. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, 3(3), 0529–0535. <http://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030079>
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science New York NY*, 286(5449), 2526–2528.
- Iani, C., Baroni, G., Pellicano, A., & Nicoletti, R. (2011). On the relationship between affordance and Simon effects: are the effects really independent? *Journal of Cognitive Psychology*, 23(1), 121–131.  
<http://doi.org/10.1080/20445911.2011.467251>
- Imamizu, H. (2010). Prediction of sensorimotor feedback from the efference copy of motor commands: A review of behavioral and functional neuroimaging studies. *Japanese Psychological Research*, 52, 107–120. <http://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2010.00428.x>
- Imamizu, H., Kawato, M., & Imamizu, H. (2012). Cerebellar internal models: Implications for the dexterous use of tools. *Cerebellum*, 11(2), 325–335.  
<http://doi.org/10.1007/s12311-010-0241-2>
- Ito, M. (2002). Historical review of the significance of the cerebellum and the role of purkinje cells in motor learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 978, 273–288. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2002.tb07574.x>
- Ito, M. (2008). Control of mental activities by internal models in the cerebellum. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 304–313. <http://doi.org/10.1038/nrn2332>
- Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 21–5. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2004.11.003>
- James, W. (1904). A world of pure experience. *Journal of Philosophy, Psychology, and Scientific Methods*, 1, 533–543, 561–570.

- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehensile movements. *Journal of Motor Behaviour*, 16(3), 235–254. <http://doi.org/10.1080/00222895.1984.10735319>
- Jeannerod, M. (1992). Coordination mechanisms in prehension movements. In *Tutorials in Motor Behavior II* (pp. 265–285).
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, S103–S109. <http://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jeannerod, M., Arbib, M. a., Rizzolatti, G., & Sakata, H. (1995). Grasping objects: The cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neurosciences*, 18(7), 314–320. [http://doi.org/10.1016/0166-2236\(95\)93921-J](http://doi.org/10.1016/0166-2236(95)93921-J)
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 735–739. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)00038-0](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00038-0)
- Jellema, T., & Perret, D. (2003). Cells in monkey STS responsive to articulated body motions and consequent static posture: A case of implied motion? *Neuropsychologia*, 41(13), 1728–1737.
- Jirak, Doreen, Menz, Mareike M., Buccino, Giovanni, Borghi, Anna M, Binkofski, F. (2010). Grasping language – a short story on Embodiment. *Sciences-New York*, 1–30.
- Kacirik, N. a. (2014). Sticking your neck out and burying the hatchet: what idioms reveal about embodied simulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(September), 689. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00689>
- Kalaska, J. F., Scott, S. H., Cisek, P., & Sergio, L. E. (1997). Cortical control of reaching movements. *Current Opinion in Neurobiology*, 7(6), 849–859.
- Kalénine, S., Mirman, D., Middleton, E. L., & Buxbaum, L. J. (2012). Temporal dynamics of activation of thematic and functional knowledge during conceptual processing of manipulable artifacts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(5), 1274–1295. <http://doi.org/10.1037/a0027626>
- Kemmerer, D., & Gonzalez-Castillo, J. (2010). The Two-Level Theory of verb meaning: An approach to integrating the semantics of action with the mirror neuron system. *Brain and Language*, 112(1), 54–76. <http://doi.org/10.1016/j.bandl.2008.09.010>
- Klatzky, R. L., Pellegrino, J. W., McCloskey, B. P., & Doherty, S. (1989). Can you squeeze a tomato? The role of motor representations in semantic sensibility judgments. *Journal of Memory and Language*, 28(1), 56–77. [http://doi.org/10.1016/0749-596X\(89\)90028-4](http://doi.org/10.1016/0749-596X(89)90028-4)
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, a. (1990). Dimensional overlap: cognitive

- basis for stimulus-response compatibility--a model and taxonomy. *Psychological Review*, 97(2), 253–270. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.97.2.253>
- Koski, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.-C., Woods, R. P., & Mazziotta, J. C. (2003). Modulation of cortical activity during different imitative behaviors. *Journal of Neurophysiology*, 89(1), 460–471. <http://doi.org/10.1152/jn.00248.2002>
- Kumar, S., Riddoch, M. J., & Humphreys, G. (2013). Mu rhythm desynchronization reveals motoric influences of hand action on object recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(March), 66. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00066>
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science (New York, N.Y.)*, 207(4427), 203–205. <http://doi.org/10.1126/science.7350657>
- Lamberts, K., Tavernier, G., & d'Ydewalle, G. (1992). Effects of multiple reference points in spatial stimulus-response compatibility. *Acta Psychologica*, 79(2), 115–130.
- Lee, C., Middleton, E., Mirman, D., Kalénine, S., & Buxbaum, L. J. (2012). Incidental and Context-Responsive Activation of Structure- and Function-Based Action Features During Object Identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(1), 257–270. <http://doi.org/10.1037/a0027533>
- Louwerse, M. M., & Bangerter, A. (2005). Focusing attention with deictic gestures and linguistic expressions. In *of the 27th Annual Meeting of the*.
- Lu, C., & Proctor, R. W. (1994). Processing of an irrelevant location dimension as a function of the relevant stimulus dimension. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 286–298. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.20.2.286>
- Mahon, B. Z. (2014). What is embodied about cognition? *Language, Cognition and Neuroscience*, 29(1), 1–10. <http://doi.org/10.1080/23273798.2014.987791>
- Mahon, B. Z., Milleville, S. C., Negri, G. a L., Rumiati, R. I., Caramazza, A., & Martin, A. (2007). Action-Related Properties Shape Object Representations in the Ventral Stream. *Neuron*, 55(3), 507–520. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.07.011>
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41(3), 365–378. <http://doi.org/10.1037/h0084157>
- Mazzoni, P., Bracewell, R. M., Barash, S., & Andersen, R. A. (1996). Motor intention activity in the macaque's lateral intraparietal area. I. Dissociation of motor plan from sensory memory. *Journal of Neurophysiology*, 76(3), 1439–1456.
- McClelland, J. L., & Rogers, T. T. (2003). The parallel distributed processing approach

- to semantic cognition. *Nature Reviews. Neuroscience*, 4(4), 310–322.  
<http://doi.org/10.1038/nrn1076>
- Merleau-Ponty, M. (1962). *Phenomenology of Perception*. (T. Honderich, Ed.) *Cognitive Science* (Vol. 4). Routledge. <http://doi.org/10.1111/j.1468-0149.1963.tb00795.x>
- Miall, R. C., Imamizu, H., & Miyauchi, S. (2000). Activation of the cerebellum in coordinated eye and hand tracking movements: An fMRI study. *Experimental Brain Research*, 135(1), 22–33. <http://doi.org/10.1007/s002210000491>
- Michaels, C. F. (1988). S-R compatibility between response position and destination of apparent motion: Evidence of the detection of affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(2), 231–240. <http://doi.org/10.1037//0096-1523.14.2.231>
- Michaels, C. F. (1993). Destination compatibility, affordances, and coding rules: a reply to Proctor, Van Zandt, Lu, and Weeks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19(5), 1121–7.
- Mikulan, E. P., Reynaldo, L., & Ibáñez, A. (2014). Homuncular mirrors: misunderstanding causality in embodied cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(May), 299. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00299>
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2006). *The visual brain in action*. Chartered Institute of Personnel and Development.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774–785.
- Moody-Triantis, C., Humphreys, G. F., & Gennari, S. P. (2014). Hand specific representations in language comprehension. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(June), 360. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00360>
- Moseley, R. L., Mohr, B., Lombardo, M. V, Baron-Cohen, S., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2013). Brain and behavioral correlates of action semantic deficits in autism. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(November), 725. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00725>
- Mowat, E., & Davis, B. (2010). Interpreting embodied mathematics using network theory : Implications for mathematics education. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*, 7, 1–31.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*, 20(8), 750–756. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.045>
- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., & Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78(4), 2226–2230.



- Nakamura, A., Maess, B., Knösche, T. R., Gunter, T. C., Bach, P., & Friederici, A. D. (2004). Cooperation of different neuronal systems during hand sign recognition. *NeuroImage*, *23*(1), 25–34.
- Neisser, U. (1994). Multiple systems: A new approach to cognitive theory. *European Journal of Cognitive Psychology*, *6*(May 2015), 225–241.  
<http://doi.org/10.1080/09541449408520146>
- Newman-Norlund, R. D., van Schie, H. T., van Zuijlen, A. M. J., & Bekkering, H. (2007). The mirror neuron system is more active during complementary compared with imitative action. *Nature Neuroscience*, *10*(7), 817–818.  
<http://doi.org/10.1038/nn1911>
- Nishitani, N., & Hari, R. (2000). Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*(2), 913–8. <http://doi.org/10.1073/pnas.97.2.913>
- Paillard, J. (1991). Motor and representational framing of space. *Brain and Space*, *182*, 163–182.
- Pappas, Z. (2014). Dissociating Simon and affordance compatibility effects: Silhouettes and photographs. *Cognition*, *133*(3), 716–728.  
<http://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.08.018>
- Pellicano, A., Iani, C., Borghi, A. M., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2010). Simon-like and functional affordance effects with tools: the effects of object perceptual discrimination and object action state. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(11), 2190–2201. <http://doi.org/10.1080/17470218.2010.486903>
- Perret, D. (1989). Frameworks of analysis for the neural representations of animate objects and actions. *Journal of Experimental Biology*, *146*, 87–113.
- Perret, D., Xiao, D., Barraclough, N. E., Keysers, C., & Oram, M. W. (2009). Seeing the future: Natural image sequences produce “anticipatory” neuronal activity and bias perceptual report. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *62*(11), 2081–2104.
- Phillips, J. C., & Ward, R. (2002). S-R correspondence effects of irrelevant visual affordance: Time course and specificity of response activation. *Visual Cognition*, *9*(4-5), 540–558. <http://doi.org/10.1080/13506280143000575>
- Platt, M. L., & Glimcher, P. W. (1997). Responses of intraparietal neurons to saccadic targets and visual distractors. *Journal of Neurophysiology*, *78*(3), 1574–1589.
- Pozzo, T., Papaxanthis, C., Petit, J. L., Schweighofer, N., & Stucchi, N. (2006). Kinematic features of movement tunes perception and action coupling. *Behavioural Brain Research*, *169*(1), 75–82.  
<http://doi.org/10.1016/j.bbr.2005.12.005>

- Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. In *Relationships between perception and action* (pp. 167–201).  
[http://doi.org/10.1007/978-3-642-75348-0\\_7](http://doi.org/10.1007/978-3-642-75348-0_7)
- Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). *Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus-response compatibility effects? Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory* (Vol. 60).  
<http://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8>
- Proctor, R. W., Van Zandt, T., Lu, C. H., & Weeks, D. J. (1993). Stimulus-response compatibility for moving stimuli: perception of affordances or directional coding? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *19*(1), 81–91.
- Proverbio, A. M., Adorni, R., & Aniello, G. E. (2011). 250 Ms To Code for Action Affordance During Observation of Manipulable Objects. *Neuropsychologia*, *49*(9), 2711–2717.  
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.019>
- Proverbio, A. M., & Riva, F. (2009). RP and N400 ERP components reflect semantic violations in visual processing of human actions. *Neuroscience Letters*, *459*(3), 142–6. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.05.012>
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(7), 576–582. <http://doi.org/10.1038/nrn1706>
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*(5), 351–360.  
<http://doi.org/10.1038/nrn2811>
- Pulvermüller, F., Moseley, R. L., Egorova, N., Shebani, Z., & Boulenger, V. (2014). Motor cognition-motor semantics: action perception theory of cognition and communication. *Neuropsychologia*, *55*, 71–84.  
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.002>
- Quillian, M. R. (1968). Semantic Memory. *Semantic Information Processing*, 227–270.
- Riggio, L., Iani, C., Gherri, E., Benatti, F., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2008). The role of attention in the occurrence of the affordance effect. *Acta Psychologica*, *127*(2), 449–458. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.08.008>
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, *21*(5), 188–194.
- Rizzolatti, G., & Fadiga, L. (1998). Grasping objects and grasping action meanings: the dual role of monkey rostroventral premotor cortex (area F5). *Novartis Foundation Symposium*, *218*, 81–95; discussion 95–103.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the

- recognition of motor actions. *Brain Research Cognitive Brain Research*, 3(2), 131–141.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of cortical areas responsive to the observation of hand grasping movements in humans: a PET study. *Experimental Brain Research*, 139(4), 435–442. <http://doi.org/10.1007/s002210100793>
- Rizzolatti, G., Luppino, G., & Matelli, M. (1998). The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 106(4), 283–296.
- Rizzolatti, G., & M. Matelli. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Experimental Brain Research*, 153(1), 46–57.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(4), 264–74. <http://doi.org/10.1038/nrn2805>
- Rosch, E., & Lloyd, B. B. (1978). Cognition and Categorization. *Lloydia Cincinnati*, pp, 27–48.
- Roy, D. K., & Pentland, A. P. (2002). Learning words from sights and sounds: A computational model. *Cognitive Science*, 26(1), 113–146. [http://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00061-1](http://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00061-1)
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & Williams, R. J. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Computational models of cognition and perception* (Vol. 1).
- Sakata, H., Taira, M., Murata, A., & Mine, S. (1995). Neural Mechanisms of Visual Guidance of Hand Action in the Parietal Cortex of the Monkey. *Cerebral Cortex*, 5(5), 429–438. <http://doi.org/10.1093/cercor/5.5.429>
- Sartori, L., Becchio, C., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2009). Modulation of the action control system by social intention: unexpected social requests override preplanned action. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 35(5), 1490–1500. <http://doi.org/10.1037/a0015777>
- Sartori, L., Becchio, C., & Castiello, U. (2011a). Cues to intention: The role of movement information. *Cognition*, 119(2), 242–252. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.01.014>
- Sartori, L., Becchio, C., & Castiello, U. (2011b). Cues to intention: the role of movement information. *Cognition*, 119(2), 242–52. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.01.014>
- Schneider, W. X. (1993). Space-based visual attention models and object selection: constraints, problems, and possible solutions. *Psychological Research*, 56(1), 35–

43. <http://doi.org/10.1007/bf00572131>
- Shapiro, L. (2011). *Embodied Cognition*. New York: Routledge Press.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological Constraints on Internal Representation: Resonant Kinematics of Perceiving, Imagining, Thinking, and Dreaming. *Psychological Review*, *91*(4), 417–447. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.91.4.417>
- Simon, H. A., & Newell, A. (1962). Computer Simulation of Human Thinking and Problem Solving. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *27*(2), 137–150.
- Simon, J. R., & Rudell, a P. (1967). Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing. *The Journal of Applied Psychology*, *51*(3), 300–304. <http://doi.org/10.1037/h0020586>
- Simon, J. R., & Small, A. M. (1969). Processing auditory information: interference from an irrelevant cue. *The Journal of Applied Psychology*, *53*(5), 433–435. <http://doi.org/10.1037/h0028034>
- Smeets, J. B., & Brenner, E. (1999). A new view on grasping. *Motor Control*, *3*(3), 237–271.
- Smeets, J., & Brenner, E. (2008). Handbook of Cognitive Science - An Embodied Approach. In P. Calvo & T. Gomila (Eds.), (pp. 207–217). Amsterdam: Elsevier.
- Snyder, L. H., Batista, A. P., & Andersen, R. A. (2000). Intention-related activity in the posterior parietal cortex: a review. *Vision Research*, *40*(10-12), 1433–1441.
- Steels, L., & Spranger, M. (2008). The robot in the mirror. *Connection Science*, *20*(4), 337–358. <http://doi.org/10.1080/09540090802413186>
- Stürmer, B., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2000). Correspondence effects with manual gestures and postures: a study of imitation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(6), 1746–1759. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.26.6.1746>
- Symes, E., Ellis, R., & Tucker, M. (2005). Dissociating object-based and space-based affordances. *Visual Cognition*, *12*(7), 1337–1361. <http://doi.org/10.1080/13506280444000445>
- Symes, E., Ellis, R., & Tucker, M. (2007). Visual object affordances: object orientation. *Acta Psychologica*, *124*(2), 238–255.
- Symes, E., Tucker, M., Ellis, R., Vainio, L., & Ottoboni, G. (2008). Grasp preparation improves change detection for congruent objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(4), 854–871. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.34.4.854>
- Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2008). The Quarterly Journal of Motor resonance and

- linguistic focus. *Experimental Psychology*, (769850774).  
<http://doi.org/10.1080/17470210701625519>
- Thelen, E. (1995). Motor development. A new synthesis. *The American Psychologist*, *50*, 79–95. <http://doi.org/10.1037/0003-066X.50.2.79>
- Tipper, S. P., Paul, M. a, & Hayes, A. E. (2006). Vision-for-action: the effects of object property discrimination and action state on affordance compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 493–8. <http://doi.org/10.3758/BF03193875>
- Treisman, A. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, *6*(2), 171–178. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(96\)80070-5](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(96)80070-5)
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A Feature-Integration of Attention. *Cognitive Psychology*, *13*(12), 97–136. [http://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](http://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, *24*(3), 830–846.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, *8*(6), 769–800.  
<http://doi.org/10.1080/13506280042000144>
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, *116*(2), 185–203.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of Memory*.  
<http://doi.org/10.1017/S0140525X00047257>
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2001). I know what you are doing. a neurophysiological study. *Neuron*, *31*(1), 155–165.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of Visual Behavior* (Vol. 549, pp. 549–586). MIT Press.
- Vainio, L. (2009). Interrupted object-based updating of reach program leads to a negative compatibility effect. *Journal of Motor Behavior*, *41*(4), 305–315.  
<http://doi.org/10.3200/JMBR.41.4.305-316>
- Vainio, L. (2011). Negative stimulus-response compatibility observed with a briefly displayed image of a hand. *Brain and Cognition*, *77*(3), 382–90.  
<http://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.09.007>
- Vainio, L., Ala-Salomäki, H., Huovilainen, T., Nikkinen, H., Salo, M., Väliäho, J., & Paavilainen, P. (2014). Mug handle affordance and automatic response inhibition: Behavioural and electrophysiological evidence. *Quarterly Journal of Experimental*

- Psychology* (2006), 0(0), 1–23. <http://doi.org/10.1080/17470218.2013.868007>
- Vainio, L., Alén, H., Hiltunen, S., Lehtikainen, K., Lindbäck, H., Patrikainen, A., & Paavilainen, P. (2013). Response inhibition triggered by the briefly viewed image of a hand: Behavioural and electrophysiological evidence. *Neuropsychologia*, 51(3), 493–499. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.12.004>
- Vainio, L., Ellis, R., & Tucker, M. (2007). The role of visual attention in action priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 60(2), 241–261. <http://doi.org/10.1080/17470210600625149>
- Vainio, L., Ellis, R., Tucker, M., & Symes, E. (2007). Local and global affordances and manual planning. *Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale*, 179(4), 583–594.
- Vainio, L., Hammaren, L., Hausen, M., Rekolainen, E., & Riskila, S. (2011). Motor inhibition associated with the affordance of briefly displayed objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 64(6), 1094–1110. <http://doi.org/10.1080/17470218.2010.538221>
- Vainio, L., & Mustonen, T. (2011). Mapping the identity of a viewed hand in the motor system: evidence from stimulus-response compatibility. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 37(1), 207–221. <http://doi.org/10.1037/a0021432>
- Vainio, L., Schulman, M., Tiippana, K., & Vainio, M. (2013). Effect of syllable articulation on precision and power grip performance. *PLoS One*, 8(1), e53061. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0053061>
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008a). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, 108, 444–465. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.03.007>
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008b). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, 108(2), 444–465.
- Vainio, L., Tucker, M., & Ellis, R. (2007). Precision and power grip priming by observed grasping. *Brain and Cognition*, 65(2), 195–207. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.004>
- van Gelder, T. (1998). The dynamical hypothesis in cognitive science. *The Behavioral and Brain Sciences*, 21(5), 615–628; discussion 629–665. <http://doi.org/10.1017/S0140525X98001733>
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. *Mind* (Vol. 1).

- Vigliocco, G., Vinson, D. P., Woolfe, T., Dye, M. W. G., & Woll, B. (2005). Language and imagery: effects of language modality. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 272(1574), 1859–1863. <http://doi.org/10.1098/rspb.2005.3169>
- Vogt, S., Taylor, P., & Hopkins, B. (2003). Visuomotor priming by pictures of hand postures: Perspective matters. *Neuropsychologia*, 41(July 2002), 941–951. [http://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00319-6](http://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00319-6)
- Wamain, Y., Pluciennicka, E., & Kalénine, S. (2014). Temporal dynamics of action perception: Differences on ERP evoked by object-related and non-object-related actions. *Neuropsychologia*, 63C, 249–258. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.034>
- Weir, A. (1986). Realism and Behaviourism. *Dialectica*, 40 167–200.
- Wilf, M., Holmes, N. P., Schwartz, I., & Makin, T. R. (2013). Dissociating between object affordances and spatial compatibility effects using early response components. *Frontiers in Psychology*, 4(September), 591. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00591>
- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychological Bulletin*, 131(3), 460–473. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.460>
- Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 358(1431), 593–602. <http://doi.org/10.1098/rstb.2002.1238>

## **5. Anexos**

### **5.1. Estudio 1 (parte fundamental)**

González-Perilli, F. , Barrada, J.R., & Maiche, A. (2013).Temporal dynamics of action contribution to object categorization. *Psicológica (34)*, 145-162.





## **Temporal dynamics of action contribution to object categorization**

Fernando González Perilli<sup>1,2</sup>, Juan Ramón Barrada<sup>3</sup> and Alejandro Maiche<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidad Autónoma de Barcelona (Spain)*

<sup>2</sup>*Universidad de la República (Uruguay)*

<sup>3</sup>*Universidad de Zaragoza (Spain)*

The presentation of a hand grasp facilitates the recognition of subsequent objects when the grasp is coherent with the object to be identified. This outcome is usually explained as the integration of two different processes: descriptive visual processes in ventral visual areas and processes in charge of the computations of action metrics in dorsal visual regions. With the aim to explore the temporal dynamics of this interaction, we conducted an experiment in which participants categorized objects preceded by congruent and incongruent hand grasp gestures under different interstimulus interval (ISI) conditions. Hand grasp gestures and target objects were separated by five different interstimulus intervals (ISI): 0, 250, 500, 1000, and 2000 ms. Results showed significant shorter response times for congruent trials than for incongruent trials for ISI conditions of 250 and 500 ms. However, no effect was found for the other ISIs (0, 1,000 and 2,000). These results suggest that the contribution of automatically driven visuomotor dorsal areas in object recognition is stronger up to 500 ms after prime offset, and that object identification is facilitated by hand gesture primes just inside this time window (250–500 ms).

---

<sup>1</sup> *Acknowledgements:* This research is supported by the grant from the Spanish Ministry of Finance and Competivity no. FFI2012-39056-C02-01 Subtitling for the deaf and hard of hearing and audio description: new formats, and also by the Catalan Government funds 2009SGR700. We would like to thank Analía Arévalo for her helpful suggestions and for proofreading the manuscript. We also want to thank Chaska Walton for his valuable contribution for the discussion of the present article. *Corresponding author:* Fernando Gonzalez Perilli. Departamento de Psicología Básica, Evolutiva y de la Educación. Facultad de Psicología. Campus de Bellaterra; UAB. 08193 Cerdanyola del Valles, España. Tel: +34 935812901. Fax: +34 935813329. Email: fernando.gonzalez@uab.cat

When we look at an object the information about its identity is automatically activated. Part of this information involves object function and also the information about how we can interact with it. Behavioural evidence suggests that the presence of objects, we have interacted with in the past, automatically influences our present actions (Morsella, Larson, Zarolia, & Bargh, 2011). This kind of phenomenon has been explained by the spontaneous activation of action-related object information, the so-called *affordances*. The term *affordance* refers to action possibilities that could appear in the environment, including objects (Gibson, 1979). In this study, we focus on the well-known division proposed by Goodale and Milner (1992) between perceptual representation and action-related processing, which are carried out by the ventral and dorsal cortical pathways, respectively. The integration of these two processes underlies object recognition (Rizzolatti & Arbib, 1998). Starting from this premise, our aim in this study is to explore the temporal dynamics of ventral and dorsal integration in an object categorization task. It has been claimed that objects' affordances are processed by the same brain areas that control the motor actions used when interacting with the object (Rizzolatti & Arbib, 1998). Behavioural research has shown that the activation of motor programs can influence the subsequent categorization of different objects.

Employing a grasping gesture as a prime, a number of authors found facilitation in object identification when the gesture was appropriate to handle the object (Borghi et al., 2005; Borghi, Bonfiglioli, Ricciardelli, Rubichi, & Nicoletti, 2007; Grèzes, Tucker, Armony, Ellis, & Passingham, 2003; Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008). This effect, which we will refer to as the "grasp-object facilitation effect", is a form of visuomotor facilitation and suggests a link between motor planning and visual perception (Craighero, Fadiga, Rizzolatti & Umiltà, 1998; Craighero, Fadiga, Umiltà, & Rizzolatti, 1996; Tucker & Ellis, 1998). By means of the human mirror neuron system (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996) the presentation of an image depicting a body action activates brain areas related to the preparation of the observed movement as it would be executed by the observer. If the brain areas in charge of motor planning also process objects' action-related information, as Rizzolatti and Arbib (1998) have suggested, then the presentation of hand grasp actions should influence the subsequent identification of a graspable object.

This grasp-object facilitation effect has also been found using a static grasp gesture as a prime in an object categorization task (Borghi et al., 2005; 2007), and using an animated sequence as the prime (Vainio et al., 2008). In both studies, the use of a congruent prime (i.e., a power grasp –in which the fingers wrap around the object– for a banana) led to a faster

categorization of the target object as natural or man made. The grasp-object facilitation effect could be explained as the combination of motor and semantic visual information. However, according to the dual visual stream hypothesis, those two sources of information are processed within different temporal dynamics by the visual system (Goodale & Milner, 1992).

The pathways of visual information in the brain have been classically divided into two cortical streams, named ventral and dorsal (Goodale & Milner, 1992; Ungerleider & Mishkin, 1982). The ventral pathway stores semantic information whereas the dorsal stream provides spatial and interactive information to accomplish the goal of an action (usually with an object). Accordingly, ventral and dorsal processes must integrate information in order to permit the grasp-object facilitation effect to occur. A good amount of research suggests that dorsal areas are also fundamental for semantic coding of objects and actions (Chao & Martin, 2000; Jirak, Menz, Buccino, Borghi & Binkofski, 2010; Pulvermüller, Lutzenberger & Preissl, 1999).

Ventral areas store object information in long-term memory, permitting its recognition over time. Meanwhile, dorsal areas constantly renew visual information in order to allow the rectification of an ongoing action. In the dorsal stream, action-related information is not stored further than in iconic memory (Milner & Goodale, 2008). The influence of dorsal temporal limitations on visuomotor facilitation has been previously reported (Tucker & Ellis, 2001). The authors found that a short stimulus onset asynchrony could disrupt visuomotor facilitation on a manual response resembling a power or a precision grasp when the prime was an object that had to be categorized. However, in further experiments in which participants had to respond after the object's offset, visuomotor facilitation was observed (Derbyshire, Ellis & Tucker, 2006; Tucker & Ellis, 2004). In those studies, participants had to remember the objects until the response was produced. The authors concluded that motor response facilitation does not depend on transient on-line processing associated with the dorsal visual stream.

In the current study, we explore the possibility that a dorsal limitation influences visuomotor effects when the prime is a grasp gesture. Grasp gestures have been shown to be a less robust prime compared to objects. For example, Borghi et al. (2005) had to train participants reproducing grasp primes before finding grasp-object facilitation when prime stimuli were static. It is worth noticing that object primes are more likely to be based on ventral activation since they are semantically richer than grasp gestures, which may rely on action-related activation.

We propose that the binding of motor and semantic information that occurs in the grasp object facilitation effect, is constrained by dorsal temporal dynamics, specifically from 0 to 500 ms, as suggested by a number of different studies (for a review, see Bruno & Franz, 2009).

In order to investigate the time constraints for the binding of semantic and interactive information when a graspable object had to be identified, we carried out two experiments. First, we replicated Vainio et al. (2008) with the aim of confirming the efficiency of the experimental paradigm (experiment 1). Subsequently, in a second experiment (2) we introduced five different interstimulus interval (ISI) conditions. If grasp-object facilitation was not found a few hundred milliseconds after the prime disappeared, that is to say, beyond the bounds of dorsal storage, it would mean that grasp visuomotor facilitation depends on automatic online motor processing in dorsal areas. This would be in agreement with different theories extending the role of motor visual systems as mirror neuron systems (Rizzolatti, Fogassi & Gallese, 2009), the FARS model (Arbib, 2010; Fagg & Arbib, 1998) or the affordance competition hypothesis (Cisek, 2008).

Based on previous research, we expect that the facilitation effect found in previous studies would occur during the first ISIs (up to 500 ms) and would disappear with increasing inter-stimulus intervals.

Previous studies have reported different patterns of response depending on whether the target objects were natural or man made. Natural objects are usually associated with faster responses (Borghi et al, 2005; Vainio et al., 2008). However, we expect the temporal dynamics of the grasp facilitation effect not to be modulated by object category.

## EXPERIMENT 1

In order to be consistent with prior studies of grasp-object compatibility (Vainio et al., 2008), we carried out a first experiment with no interstimulus interval. Our aim here was to check the visuomotor effect in our experimental design and confirm that our hand grasp animations efficiently primed object recognition before introducing the additional interstimulus interval conditions. Stimuli included big and small objects commonly grasped with either a power or a precision grip. Our critical variable was congruency or match between grasp type and object size (match trial: power grasp and banana; mismatch trial: precision grip and a banana). Half of the objects were natural and half were man-made, and participants were instructed to categorize each item as either an artefact or a

natural object. Our target object set included four classes of objects: big natural, big man-made, small natural and small man-made. In previous experiments (Vainio et al., 2008) the set of target objects included 16 pictures, four for each class. However, in experiment 2 we used only one stimulus per class due to the introduction of five ISI conditions. Therefore, in experiment 1 one of the main aims was to test the stimuli set in order to detect the more efficient stimulus for each size and category.

## METHOD

**Participants.** Thirteen participants (six men and seven women) aged between 20 and 33 years ( $M = 28.7$ ,  $SD = 4.05$ ) volunteered to participate in the experimental sessions. All of them were psychology students at the Universidad Autónoma de Barcelona and were not aware of the objectives of the study. All of them were right-handed with normal, or corrected-to-normal, vision.

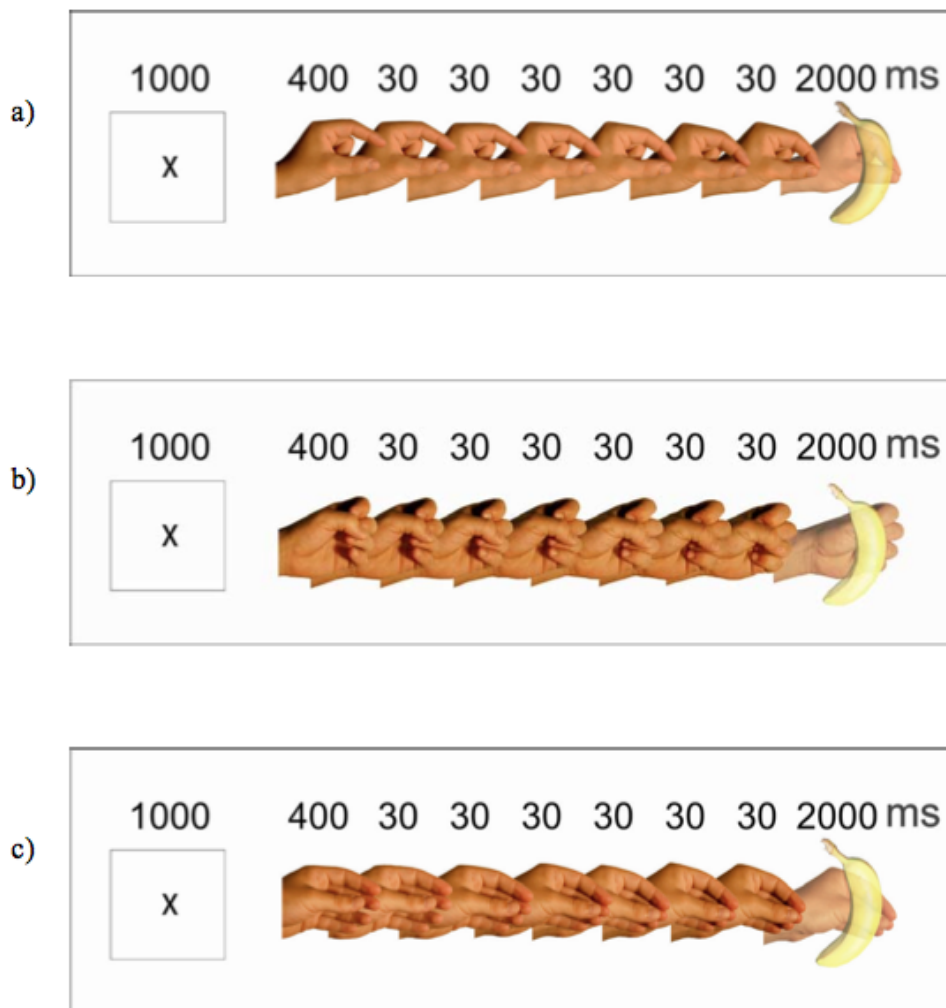
**Apparatus.** The experiment was run on a Pentium IV computer (800 Mhz). The stimuli were presented on a 19" colour monitor with a screen resolution of 1280 by 1024 pixels and a refresh rate of 100 Hz interlaced

**Stimuli.** Following Vainio et al. (2008), the stimuli were pictures depicting different objects and six visual animations of different hand grasp gestures.

**Objects.** The photographs of 16 familiar objects were processed to equalize proportional sizes, brightness and contrast levels and also to arrange them in front of a white background. We selected eight small objects that are graspable with a precision grip, including four natural (e.g., an olive) and four man-made (e.g., a pencil sharpener), and eight large objects that are graspable with a power grasp, with four natural (e.g., a banana) and four man-made (e.g., a bottle).

**Hand grasp animations.** Six animations were used as primes (Figure 1) varying in the direction of movement and the kind of hand gestures. Three of them were carried out with the left hand and the other three with the right hand. Following the design of Vainio et al. (2008), the animations consisted of the presentation of eight consecutive static images (see Figure 1). The hand grasp gestures represented in the animations were: (a) A precision grip in which the thumb and index finger close to press on a small object; (b) a power grasp with a final image showing a closed fist holding an object; and (c) a third gesture for catch trials that does not resemble any

known hand grasp and was constructed merging the two previous ones. The images were processed and arranged in front of a white background and equal in terms of brightness and contrast. The first image of the animation was presented for 400 ms. Each of the intermediate images were presented for 30 ms. The total duration of each animation was 610 ms. The last image of the hand was presented superimposed onto the target object.



**Figure. 1. Illustration of the stimuli employed in Experiment 1. The precision grasp (panel a); the power grasp (panel b); and the “catch” grasp (panel c). Each picture of the hand represents a different frame of the animation. In the last frame the target object appears superimposed with the hand.**

**Procedure.** Participants sat in a dimly lit room 60 cm away from a computer screen. They signed an informed consent, received written instructions and completed a training session of 50 trials. After a short break, valid experimental sessions began. Trials began with a black cross ( $1^\circ \times 1^\circ 20'$ ) in the centre of the screen ( $31^\circ \times 24^\circ 15'$ ). After 1,000 ms, one of the 6 animations was presented. Participants were instructed to indicate whether each item was natural or man-made. In half of the trials, animated primes were presented evolving from the right side to the center of the screen, and in the other half they were presented in the opposite direction (from the left side to the center of the screen). In order to ensure that participants were actively observing the different types of grasp, they were instructed to avoid answering when “the catch trials gesture” was presented. (The task was a go no-go paradigm). The final frame of the animations was one of the 16 target objects that appeared synchronized in time with the last image of the hand grasp animation. The overlapped image of hand grasp and object remained on the screen until participants responded or for 2,000 ms if no response was required (catch trials). The responses were produced on a computer keyboard using only the right hand. Participants indicated their response by pressing the O key for natural objects and the P key for man made objects. Subjects received the same subtle feedback signal every time they made a response, regardless of whether their answer was right or wrong. After that, a new trial began.

Presentations of different combinations of the six gestures (2 directions of movement  $\times$  3 types of grasp) and the 16 objects (4 objects  $\times$  2 sizes  $\times$  2 natures) led to sessions of 96 trials where 32 trials were catch trials. Half of the trials were match trials in which the presented prime and target object were congruent (i.e., power grasp and a banana) and the other half were mismatch trials (i.e., power grasp and an olive). Each participant took part in two of these sessions (total trials = 192). Total experiment duration was about seven minutes.

## RESULTS

Three of the 13 subjects were discarded due to more than 10% incorrect answers (including responses to the catch trials, when it was not required). Analyses focused on participants' RTs to the 64 trials in which the prime was either a power grasp or a precision grip (valid trials). RTs for error trials were excluded (4.06%) as were RTs that were above 2 SD from each participant's mean (2.73% of responses).



Differences in RT were examined with a repeated measures  $2 \times 2$  (Match [match, mismatch]  $\times$  Category [man made, natural]) analysis of variance (ANOVA).

The variable Category was included in order to explore the influence of object category on the match effect.

The interaction effect was not statistically significant,  $F(1,9) = 0.002$ ,  $p = .965$ ,  $\eta_p^2 < .001$ . The mean RT for man made objects ( $M = 549$  ms) was not statistically different from the mean RT for natural objects ( $M = 553$ ),  $F(1,9) = 0.169$ ,  $p = .690$ ,  $\eta_p^2 = .018$ . As expected, responses to match trials ( $M = 535$ ) were statistically faster than responses to mismatch trials ( $M = 567$ ),  $F(1,9) = 11.383$ ,  $p = .008$ ,  $\eta_p^2 = .558$ .

In order to discard the possibility of a speed-accuracy trade-off, differences in error rates were analyzed with the same ANOVA model. None of the effects reached statistical significance, all  $ps > .133$ .

## DISCUSSION

Objects were categorized faster when preceded by a congruent grasp type. The difference between match and mismatch trials ( $M_{\text{Differences}} = 32$  ms, 95% CI [10 ms, 53 ms]) was similar to the differences found in previous studies (Vainio et al., 2008: about 20 ms; Borghi et al. 2005: about 15 ms). Our preliminary results revealed that the object's motor related information is picked up more easily when the previously presented hand grasp is congruent. As Vainio et al. (2008) showed, the observed grasp action influenced the recognition of the target object. Object category did not influence the observed effect, as has been reported in previous studies (Vainio et al., 2008; Borghi et al., 2005). However, we did not address this discrepancy, given that the focus of the current experiment was the match effect.

The hand grasp animations used as primes proved to be efficient at facilitating the identification of congruent objects. Therefore, we can assume that the stimuli selected for this experiment were appropriate for the purposes of this research.

## EXPERIMENT 2

The aim of Experiment 2 was to explore the temporal dynamics of the grasp-object facilitation effect by introducing five ISI conditions. Target objects were presented following five different intervals after animation offset (five ISI conditions: 0, 250, 500, 1,000, and 2,000 ms). The shorter intervals (0, 250, and 500 ms) were chosen to explore the findings of previous studies where no facilitation effect was found after 300 ms (Tucker & Ellis, 2001). We decided to explore up to 500 ms because we know that early activation in dorsal areas and the integration of dorsal and ventral areas occurs around 450 ms (Mahon et al., 2007; Milner & Goodale, 2008). Larger intervals were selected in order to explore the evolution of the effect in working memory.

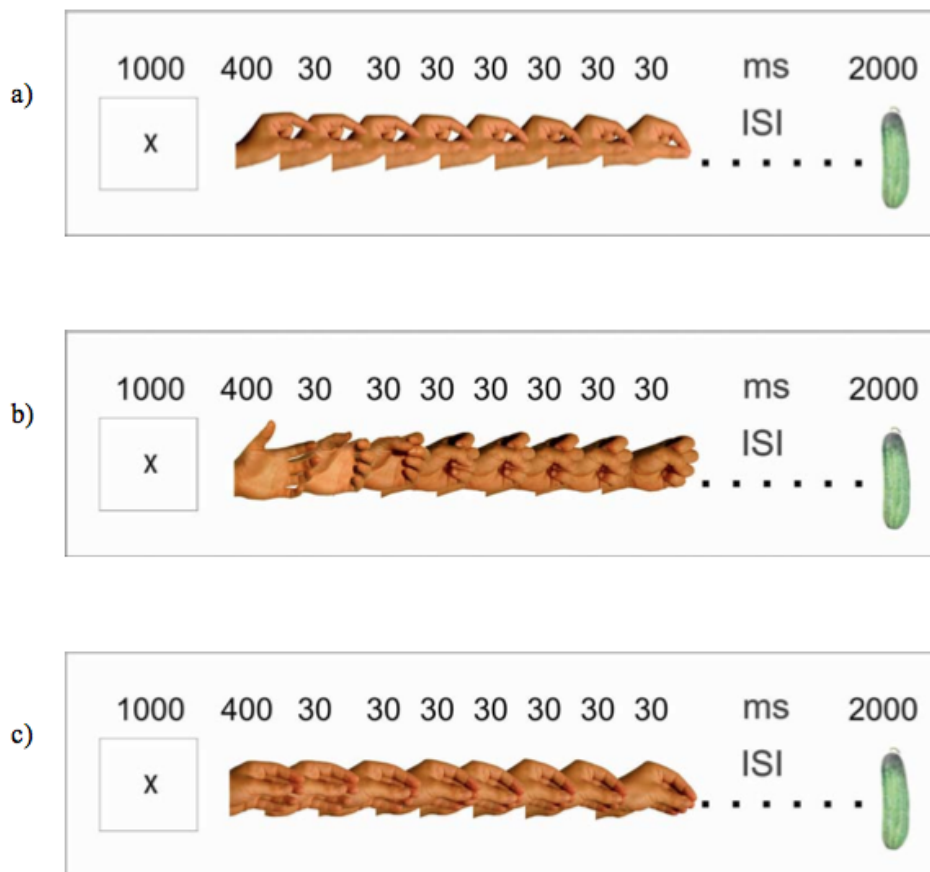
## METHOD

**Participants.** Twenty five participants took part in the experiment. All of them were students at the Universidad Aut3noma de Barcelona, na3ve to the purpose of the study. Their participation was voluntary and unpaid. All of them were right-handed with normal or corrected to normal vision and ranged in age from 18 to 30 years old ( $M=23.4$ ).

**Materials.** Six animations of action gestures very similar to those employed in experiment 1. The first three frames of the power grasp animation were slightly modified in order to improve dynamicity (Figure 2). Half of the grasp actions were performed with the left hand and the other half with the right hand. As in experiment 1, the grasp gestures represented three types of grasp: (a) a power grasp, (b) a precision grip, and (c) a grasp used for the catch trials.

Due to the introduction of five ISI conditions we had to reduce the number of target objects in order to keep the experimental sessions relatively short. We then identified and selected the objects from each category and size which presented the largest RT differences between congruent and incongruent trials in experiment 1: (1) a natural object graspable with a power grasp (a cucumber), (2) a natural object graspable with a precision grip (an olive), (3) a man made object graspable with a power grasp (a deodorant recipient), and (4) a man made object graspable with a precision grip (a screw).

**Procedure.** The procedure was very similar to that used in experiment 1. Presentations of different combinations of the six gestures (2 directions of movement  $\times$  3 types of grasp) and the 20 types of presentation (5 ISIs  $\times$  2 kinds of grasp  $\times$  2 kinds of objects) led to 120 different trials. As in experiment 1, half of the trials were match trials –in which grasp gestures and target objects were congruent– and the other half were mismatch trials. These trials defined an experimental session of about 8 minutes. Each subject participated in three experimental sessions after a training session of 50 trials.



**Figure 2. Illustration of the stimuli employed in Experiment 2. The precision grasp (panel a); the power grasp (panel b); and the “catch” grasp (panel c). Each picture of the hand represents a different frame of the, animation. The target object appears after a variable delay following hand grasp offset.**

## RESULTS

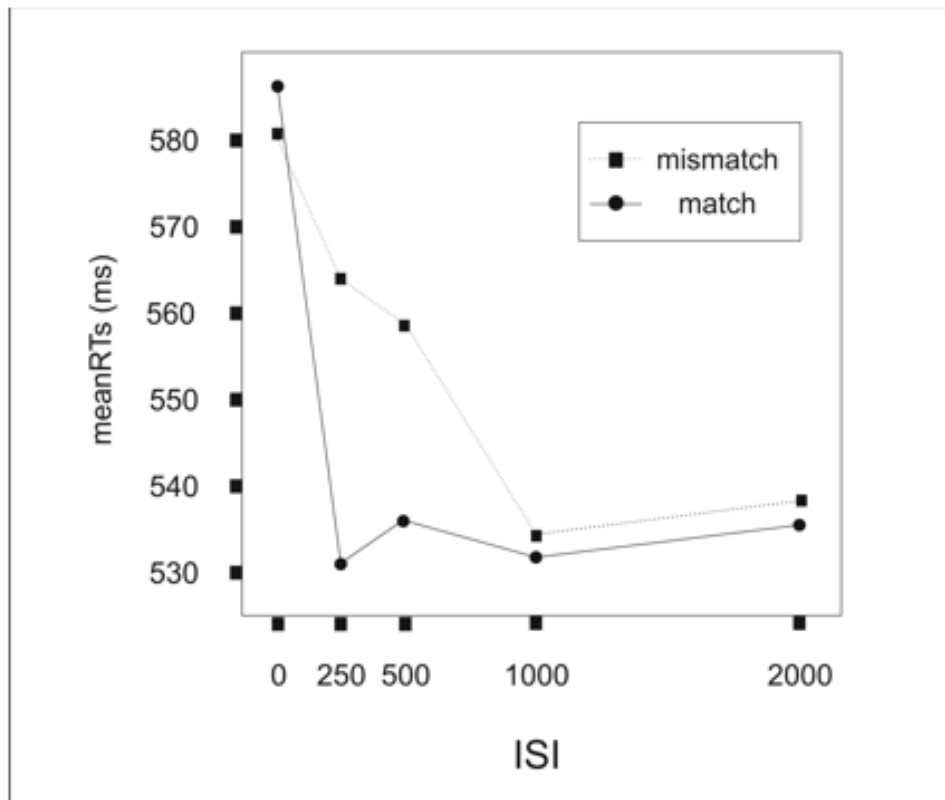
The data from five subjects were discarded due to the following reasons: One participant reported having ADHD and had significantly higher RTs than the rest of participants and four participants' errors were over 10%. Incorrect answers (4.35 %) and RTs separated above 2 SD (3.94 %) from the participant mean were discarded. Data from 20 participants were used in the final analyses.

The tested ANOVA model was equivalent to that of Experiment 1 with the inclusion of the ISI variable. The second order interaction was not statistically significant,  $F(4,76) = 1.514$ ,  $p = .206$ ,  $\eta_p^2 = .074$ . Out of the three first order interactions, only the Match  $\times$  ISI reached significance,  $F(4,76) = 5.131$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .213$  (the other two  $ps > .270$ ). This interaction was further tested with a simple effects analysis. The congruent trials were statistically faster (critical  $p$  value adjusted with Bonferroni correction) than the incongruent trials when the ISI was 250 ms [ $M_{\text{Differences}} = 32$  ms, 95% CI [13 ms, 51 ms],  $F(1,19) = 12.159$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .390$ ] and 500 ms [ $M_{\text{Differences}} = 23$  ms, 95% CI [7 ms, 39 ms],  $F(1,19) = 8.918$ ,  $p = .008$ ,  $\eta_p^2 = .319$ ]. By contrast, for ISIs of 0 ms [ $M_{\text{Differences}} = -6$  ms, 95% CI [-21 ms, 8 ms],  $F(1,19) = 0.766$ ,  $p = .392$ ,  $\eta_p^2 = .039$ ], 1,000 ms [ $M_{\text{Differences}} = 2$  ms, 95% CI [-15 ms, 19 ms],  $F(1,19) = 0.065$ ,  $p = .801$ ,  $\eta_p^2 = .003$ ] and 2,000 ms [ $M_{\text{Differences}} = 3$  ms, 95% CI [-8 ms, 14 ms],  $F(1,19) = 0.417$ ,  $p = .526$ ,  $\eta_p^2 = .021$ ] RTs did not differ significantly according to match.

All three main effects were statistically significant. Given the significant Match  $\times$  ISI interaction, the interpretation of the faster responses to congruent trials ( $M = 544$  ms) than incongruent trials ( $M = 555$  ms) requires considering the effect of the ISI,  $F(1,19) = 6.512$ ,  $p = .019$ ,  $\eta_p^2 = .255$ . Also the differences between ISI levels require considering the effect of the match effect,  $F(4,76) = 19.190$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .502$ . In this experiment natural objects lead to a statistically significant faster response ( $M = 542$  ms) in comparison with man made objects ( $M = 557$ ),  $M_{\text{Differences}} = 15$  ms, 95% CI [4 ms, 27 ms],  $F(1,19) = 7.654$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .287$ .

An ANOVA with the same factors described for RT was carried out for error rate. As in experiment 1, none of the effects reached statistical

significance, all  $ps > .126$ . Therefore, the possibility of a speed-accuracy trade-off can confidently be discarded.



**Figure 3.** Mean reaction times (ms) for each of the ISI used in experiment 2 and as a function of match between object size and type of grasp.

## DISCUSSION

Reaction times were longer for ISI = 0 than for the rest of the ISI conditions. This result suggests that when the stimuli were replaced immediately, participants' responses were delayed. This outcome could be identified as a foreperiod effect (Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2006; Näätänen, 1972). Moreover, at ISI = 0 (when an object was immediately preceded by a congruent hand grasp gesture) no facilitation effect was found. At first sight the results for ISI = 0 are not in agreement with our experiment 1 or with Vainio et al. (2008), where facilitation effects were

found with no delay between grasp prime and target object. However, there is an important difference in stimuli presentation between the tasks: in our experiment 2, the grasp animation is removed before the object is presented and this was not the case either in experiment 1 or in Vainio et al (2008).

In experiment 2, the replacement of the visual stimulus led to a disruption of the grasp-object facilitation effect found in the other ISI conditions. Interference effects in sensorimotor integration of this kind have been reported in previous behavioural studies (Bub & Masson, 2006; Tucker & Ellis, 2001; Vainio, Hammarén, Hausen, Rekolainen & Riskilä, 2011). According to neurophysiological evidence (Kesysers & Perrett, 2002), when two images are presented in SOA less than 300 ms, groups of visual neurons in the superior temporal sulcus attempt to codify the existence of two different objects, which leads to negative priming. In the ISI = 0 condition of experiment 2, the duration of the last image of each animation was 30 ms, resulting in a very short SOA after the target stimuli onset.

In experiment 1, just as in Vainio et al. (2008), no delay was introduced. In fact, both images –prime and target- remained superimposed and on the screen until participants responded.

In experiment 2, the effect of compatibility between grasp type and object size was limited to ISIs of 250 and 500 ms. As described in figure 4, the effect appeared at 250 ms, remained at 500 ms and became shorter and non significant at longer ISI latencies. This suggests that a time window between approximately 250 and up to 500 ms after prime offset enables the grasp-object facilitation effect.

Responses to natural objects were faster than to man made objects as Borghi et al. (2005) and Vainio et al. (2008) have previously shown. Those authors explained the advantage of natural objects arguing that man made objects elicit more complex motor information due to the functions associated with them. This effect was not found in experiment 1. The lack of category effect in the first experiment could be explained by the smaller size of the employed sample (less statistical power). However we cannot exclude the possibility that this disparity is due to other differences in the experimental design. Further work is needed in order to solve this question. Nevertheless these discrepancies do not alter the overall findings and interpretations of this study. Importantly, in experiment 2 this category effect did not modulate the interaction found between ISI and match.

## GENERAL DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Our results show the existence of a temporal window for the grasp-object facilitation effect. This period of time where visuomotor facilitation would be stronger occurs near the prime offset, with the exception of the immediate substitution of stimuli ( $ISI = 0$ ), that seems to lead to an interference effect.

The results found in this study support the view that object affordances are generated by the connection between ventral and dorsal areas. When an object is categorized, ventral semantic information is required, but also motor information related to the way the object is handled is recruited by dorsal visual areas. This might be the reason why the recognition of graspable objects can be facilitated by the use of a congruent hand grasp gesture as a prime. Grasp-object facilitation reflects the automatically driven computation of action metrics that are processed when an object is visually perceived (Borghetti et al., 2005; Vainio et al., 2008). This effect was reflected in experiment 2.

In their seminal paper on visuomotor facilitation, Craighero, Bello, Fadiga & Rizzolatti (2002) support an embodied interpretation of the grasp-object facilitation effect. However, the authors recognize that another type of explanation is possible. They concede that the effect found in their experiment can be attributed to the facilitation of specific responses by congruent visual stimuli. These two alternative explanations are not mutually exclusive, but as Craighero et al. (2002) suggest, unless one assumes this link as innate, a more parsimonious explanation is needed. Visuomotor priming appears as the best candidate to explain grasp facilitation in object recognition.

In the same line of reasoning, it is necessary to say that the prime-target facilitation extinction found in our study (after 500 ms) can be explained by other reasons that do not involve dynamics of motor dorsal areas. One could argue that the extinction is caused by a decay in working memory. We believe that what could be understood as working memory in the present case is the flip side of the transient dynamics of dorsal visuomotor areas contributing to object identification. We cannot deny a classic interpretation; however, we think that the working memory hypothesis does not negate an embodied explanation such as ours.

It is worth mentioning that several experiments found visuomotor facilitation employing a remembered object as a prime (Debyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Riggio et al., 2008; Tucker & Ellis 2004) or even words depicting objects (Gough et al., 2012). These results show that long-term memory stores motor-related object information, as has been reported in

neurophysiological studies (Chao & Martin, 2000; Pulvermüller et al., 1999). However, we believe that grasp primes, due to their poorer semantic information, are more dependent on dorsal transient activation; thus, evoking the sort of temporary interactive activation that can be elicited by visually available objects but not by evoked ones. Recent findings showed that object motor related activation is stronger when objects are seen within the peripersonal space than when they are presented out of reach (Constantini, Ambrosini, Scorolli, & Borghi, 2011; Constantini, Ambrosini, Sinigaglia, & Gallese, 2011, Cardelicchio, Sinigaglia, & Constantini, 2011). It has been proposed that object motor activation is stronger when an actual interaction is available (Constantini et al., 2011). We believe that this automatic, visually dependent and transient action-object link is reflected in the temporal pattern found in experiment 2.

In the present study the fact that motor-related activation is reduced in longer interstimulus intervals contributes to the embodied semantics debate. Theories of embodied semantics (see Gomila & Calvo, 2008), supported by neurophysiological evidence (see Jirak et al., 2010), claim that when an object is evoked –remembered or semantically recalled– the information related to the subject’s past experience with that object is recruited. According to simulation theory (Barsalou, 1999) or the more recent emulation theory (Grush, 2004), semantic perception is the integration of a stimulus in a code that refers to the experiences of the subject throughout his/her life. The reconstruction of object experience when it is evoked by the subject would require the participation of distributed resources which can be visual, motor, auditory, emotional, and so on. Importantly, this distributed activation will be stronger when the object is seen than when it is remembered or evoked by other means –say, by a word– because the actual perception of an object is enhanced by the online activation of motor visual areas.

In conclusion, our results contribute to our understanding of visuomotor integration and object recognition and suggest that there is a temporal constraint on grasp-object facilitation 500 ms after stimulus offset.

Future work will explore different temporal dynamics regarding the interaction of different kinds of motor actions in object recognition and the processing of different types of interactive information. We recognize that the small number of objects used as targets in experiment 2 can pose as a limitation that may constrain the scope of the present findings. More experiments including a broader set of stimuli will be useful in clarifying this issue. Also, future studies will explore more interstimulus intervals centred within the temporal window between 0 and 500 ms.



## RESUMEN

**Dinámica temporal de la contribución de la acción a la identificación de objetos.** La presentación de un gesto de agarre facilita el reconocimiento de un objeto presentado a continuación cuando el gesto es coherente con el objeto a identificar. Este efecto se explica habitualmente como el resultado de la integración de dos procesos visuales diferentes: procesos descriptivos asociados a áreas visuales ventrales y procesos a cargo de la computación de las métricas de acción en áreas visuales dorsales. Con el objetivo de explorar la dinámica temporal de esta interacción llevamos a cabo un experimento en el que los participantes categorizaron objetos precedidos por gestos de agarre congruentes y no congruentes luego de distintos intervalos temporales (ISI). Los gestos de agarre y los objetos se presentaron separados por cinco intervalos entre estímulos distintos (ISI): 0, 250, 500, 1,000, y 2,000 ms. Los resultados mostraron respuestas significativamente más cortas para los casos congruentes en las condiciones de ISI de 250 y 500 ms. Sin embargo, no se encontró efecto para las restantes condiciones de ISI (0, 1,000 y 2,000). Estos resultados sugieren que la contribución automática de áreas visuomotoras dorsales para el reconocimiento de objetos es más robusta hasta 500 ms después de la desaparición del estímulo facilitador, y que la identificación de objetos es facilitada por un gesto manual de agarre en el marco de una ventana temporal concreta (250–500 ms).

## REFERENCES

- Arbib, M. A. (2010). Mirror system activity for action and language is embedded in the integration of dorsal and ventral pathways. *Brain and Language*, *112*, 12-24. doi:10.1016/j.bandl.2009.10.001
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*, 577-660. doi:10.1017/S0140525X99002149
- Borghì, A. M., Bonfiglioli, C., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Do we access object manipulability while we categorize? Evidence from reaction time studies. In A. C. Schalley, D. Khlentzos, A. C. Schalley, & D. Khlentzos (Eds.), *Mental states, Volume 1: Evolution, function, nature* (pp. 153-170). Amsterdam, Netherlands: John Benjamins Publishing Company.
- Borghì, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciarelli, P., Rubichi, & S. Nicoletti, R. (2005). Visual hand primes and manipulable objects. In B. Bara, L. Barsalou, & B. Bucciarelli (Eds.) *COGSCI2005. XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 322-327). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bruno, N., & Franz, V. H. (2009). When is grasping affected by the Müller-Lyer illusion? A quantitative review. *Perception*, *47*, 1421-1433. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.031
- Bub, D. N., & Masson, M. J. (2006). Gestural knowledge evoked by objects as part of conceptual representations. *Aphasiology*, *20*, 1112-1124. doi:10.1080/02687030600741667
- Cardellicchio, P., Sinigaglia, C. & Costantini, M. (2011) The space of affordances: A TMS study. *Neuropsychologia*, *49*, 1369-1372. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.021

- Chao LL. & Martin A.(2000) Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, *12*, 478–484. doi:10.1006/nimg.2000.0635
- Cisek, P. (2008). The affordance competition hypothesis: A framework for embodied behavior. In R. L. Klatzky, B. MacWhinney, & M. Behrman (Eds.), *Embodiment, ego-space, and action* (pp. 203-246). New York, NY US: Psychology Press.
- Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2006). The attentional mechanism of temporal orienting: determinants and attributes. *Experimental Brain Research*, *169*, 58-68. doi: 10.1007/s00221-005-0131-x.
- Costantini, M., Ambrosini, E., Scrolli, C. & Borghi, A.M (2011).When objects are close to me: Affordances in the peripersonal space. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*, 32-38. doi: 10.3758/s13423-011-0054-4
- Costantini, M., Ambrosini, E., Sinigaglia, C. & Gallese, V. (2011) Tool-use observation makes far objects ready-to-hand. *Neuropsychologia*, *49*, 2658-2563. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.013
- Craighero, L., Fadiga, L., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. (1998). Visuomotor priming. *Visual Cognition*, *5*, 109-125. doi:10.1080/713756780
- Craighero, L., Fadiga, L., Umiltà, C. A., & Rizzolatti, G. (1996). Evidence for visuomotor priming effect. *Neuroreport*, *8*, 347-349. doi:10.1097/00001756-199612200-00068
- Craighero, L., Bello, A., Fadiga, L. & Rizzolatti, G. (2002). Hand action preparation influences the responses to hand pictures. *Neuropsychologia*, *40*, 492-502. doi: 10.1016/S0028-3932(01)00134-8
- Derbyshire, N., Ellis, R. & Tucker, M. (2006). The potentiation of two components of the reach-to-grasp action during object categorisation in visual memory. *Acta Psychologica*, *22*, 74-98. doi: 10.1016/j.actpsy.2005.10.004
- Fagg, A. H., & Arbib, M. A. (1998). Modeling parietal-premotor interactions in primate control of grasping. *Neural Networks*, *11*, 1277-1303. doi:10.1016/S0893-6080(98)00047-1
- Gibson, J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA US: Houghton, Mifflin and Company.
- Gomila, A., & Calvo, F. (2008) Directions for an embodied cognitive science: towards an integrated approach. In F. Calvo & A. Gomila (eds.) *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach* (pp. 1-25), San Diego, US: Elsevier Publishers Limited.
- Gough, P. M., Riggio, L., Chersi, F., Sato, M., Fogassi, L., & Buccino, G. (2012). Nouns referring to tools and natural objects differentially modulate the motor system. *Neuropsychologia*, *50*, 19-25. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.10.017
- Goodale, M. A., & Milner, A. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 20-25. doi:10.1016/0166-2236(92)90344-8
- Grèzes, J. J., Tucker, M. M., Armony, J. J., Ellis, R. R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action: An fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, *17*, 2735-2740. doi: 10.1046/j.1460-9568.2003.02695.
- Grush, R. (2004) The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, *27*, 377-396. doi:10.1017/S0140525X04000093
- Jirak, D., Menz, M. M., Buccino, G., Borghi, A. M., & Binkofski, F. (2010). Grasping language – A short story on embodiment. *Consciousness and Cognition*, *19*, 711-720. doi:10.1016/j.concog.2010.06.020

- Keysers, C., & Perrett, D. I. (2002). Visual masking and RSVP reveal neural competition. *Trends in Cognitive Sciences* 6, 120-125. doi:10.1016/S1364-6613(00)01852-0
- Mahon, B. Z., Milleville, S. C., Negri, G. A. L., Rumiati, R. I., Caramazza, A., & Martin, A. (2007). Action-related properties shape object representations in the ventral stream. *Neuron*, 55, 507-520. doi:10.1016/j.neuron.2007.07.011.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46, 774-785. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005
- Morsella, E., Larson, L. R. L., Zarolia, P., & Bargh, J. A. (2011) Stimulus control: The sought or unsought influence of the objects we tend to. *Psicológica*, 32, 145-169.
- Näätänen, R. (1972). Time uncertainty and occurrence uncertainty of the stimulus in a simple reaction time task. *Acta Psychologica*, 36, 492-503. doi: 10.1016/0001-6918(72)90029-7
- Pulvermüller, F., Lutzenberger, W., & Preissl, H. (1999). Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high frequency cortical responses. *Cerebral Cortex* 9, 498-508. doi: 10.1093/cercor/9.5.497
- Riggio, L., Iani, C., Gherri, E., Benatti, F., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2008). The role of attention in the occurrence of the affordance effect. *Acta Psychologica*, 127, 449-458. doi:10.1016/j.actpsy.2007.08.008
- Rizzolatti, G. & Arbib, M. A. (1998) Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21, 188-194. doi:10.1016/S0166-2236(98)01260-0
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain research, Cognitive brain research*, 3, 131-141. doi:10.1016/0926-6410(95)00038-0
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2009). The mirror neuron system: A motor-based mechanism for action and intention understanding. In M. S. Gazzaniga, E. Bizzi, L. M. Chalupa, S. T. Grafton, T. F. Heatherton, C. Koch, & B. A. Wandell (Eds.), *The cognitive neurosciences* (4th ed.) (pp. 625-640). Cambridge, MA US: Massachusetts Institute of Technology..
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 830-846. doi:10.1037/0096-1523.24.3.830
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, 8, 769-800. doi: 10.1080/13506280042000144
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, 116, 185-203. doi:10.1016/j.actpsy.2004.01.004
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M. & Ottoboni, G. (2008). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, 108, 444-465. doi:10.1016/j.cognition.2008.03.007.
- Vainio, L., Hammarén, L., Hausen, M., Rekolainen, E., & Riskilä, S. (2011). Motor inhibition associated with the affordance of briefly displayed objects. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 64, 1094-1110. doi:10.1080/17470218.2010.538221
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. Mansfield, *Analysis of Visual Behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.

## **5.2. Estudio 2 (parte fundamental)**

González-Perilli, F., & Ellis, R. (2015). I don't get you. Action observation effects inverted by kinematic variation. *Acta Psychologica*, 157, 114–121.  
doi: 10.1016/j.actpsy.2015.02.010.





















### **5.3. Estudio 3 (parte no fundamental)**

González-Perilli, F., & Ellis, R. (in prep.). The role of object-based attention and object processing time on the interaction of mirror and affordance effects.



# ***The role of object-based attention and object processing time on the interaction of mirror and affordance effects***

## **Abstract**

While growing evidence supports the importance of object affordances for interpersonal relations, the mechanisms of such phenomena remain a subject of debate. Attention dedicated to the meaning and function of a target object -which modulates its processing time- are both key ingredients when considering the action possibilities related to observed goal-directed body movements.

In the present study the amount of object based attention required during action observation was modulated by presenting two separate blocks, one where the colour of the object was attended, and another where the category of the object was the subject of attention. When participants were asked to respond to an objects' colour, a negative compatibility effect was found when the object's handle orientation and participant's response hand were congruent. Conversely, when responses were based on identifying the object category a positive association between object orientation and response arose. Importantly, longer response times during the categorization task, compared to the colour task, suggest that latency plays a role in explaining different visuomotor associations. Distributional analyses showed that affordance effects were stronger as RT's increased.

Despite failing to find a significant interaction between Response hand and observed action hand, we did observe a trend suggesting stronger affordance effects for observed right gestures, supporting prior research. When taken together, these results support the idea that the specifics of object based attention, which lead to different processing time, are key to the type of visuomotor effects which emerge in social contexts.



## Introduction

### Affordance effects

In a well-known series of stimulus-response compatibility studies Ellis and Tucker (2000; Tucker & Ellis, 1998, 2001; Tucker & Ellis, 2004) reported that the categorization of visually presented objects was facilitated when responses were in line with potential actions associated with the object. For example, responses were faster when the orientation of an object's handle was congruent with the hand required for responding (Tucker & Ellis, 1998), and when the size of the object matched the aperture of the required grasp, with big objects facilitating the execution of power grips and small objects precision grips (Ellis & Tucker, 2000). In these behavioural studies a **microaffordance effect** was defined as the automatic facilitation of an optimal manual response on a graspable object. The core idea of this approach is that the cognitive system automatically processes objects' interactive information in motor terms. This thesis is inspired by the classical definition of an **affordance** as action possibilities found in the environment as described by Gibson (1979).

### Affordance automaticity

One of the most appealing aspects of this line of research is that affordance effects are found when participants are not required to respond to the size of the object, but just to categorize the object's nature or position. Thus, it is concluded that the effect is involuntary and automatic. Affordance effects have been found when responses involve a grip device, key presses and even when the pictures of the target objects were replaced by words (Tucker & Ellis, 2004). This supports the idea that the effect occurs not only at the motor level but also at a more abstract higher level as well. The fact that affordance effects have also been demonstrated for verbal responses (Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008) shows that the effects do not rely only on manual motor execution, but also on perceptual and motor planning processes.

### Affordances in social scenarios

More recently research has shifted to focus on the role the presence of another agent interacting with an object has on the effect. Several studies have shown the influence that observing irrelevant grasp gestures has during object categorization (Borghetti et al., 2007; Gonzalez-Perilli, Barrada, & Maiche, 2013; Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008). In these studies the motor contribution was explored through the inclusion of hand action prior the appearance of the to-be-categorized object, responses were collected by key presses, verbal responses or devices requiring a power grasp or a precision grip. Thus, the effects of the action representation on the categorization of the object were observed.

Other studies explored the influence of the object directed action on a lateralized response which could be congruent with the object orientation (Ellis et al., 2013; González-Perilli & Ellis, 2015). That is, how an observed action affected the ***orientation-affordance effect*** (Tucker & Ellis, 1998).

Importantly, Ellis et al. (2013) found that the sight of a person reaching for an object influenced the affordance-orientation effect differently depending upon the observed hand used. Moreover, Gonzalez-Perilli and Ellis (2015) showed that the type of phase of a reach and grasp action was crucial for the elicitation of different associations between the observed gesture and the produced response. Faster responses were produced when the observed gesture was a contralateral reach, whereas when a reach included a grasp seen actions favoured imitative responses. The sight of these different phases of the same gesture also led to different outcomes in the association between object orientation and the participants response hand. Here positive compatibility (affordance) effects were found for complete grasp actions, while the opposite trend emerged when just a reach was shown. When taken together these studies show that affordance effects can vary depending upon the specifics of both the timing and completion of the action

observed. Crucial to this interaction, is the finding that covert imitation (associated with mirror processes) is greatly favoured by the concurrent presence of a goal directed object (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Moreover, it has been proposed that objects are a key factor in deciphering social intentions during action observation (Bach, Peelen, & Tipper, 2010; Bach, Nicholson, & Hudson, 2014) and that the nature of these intentions are critical when planning congruent manual responses (Liepelt, Cramon, & Brass, 2008; Longo & Bertenthal, 2009; van Elk, van Schie, & Bekkering, 2008; Wild, Poliakoff, Jerrison, & Gowen, 2010).

### The role of attention in social affordance

Of most importance for the present study is evidence suggesting that not only the presence or absence of an object, but also the level of attention dedicated to the object modulates the facilitation of congruent responses (Bach, Peatfield, & Tipper, 2007; Chong, Cunnington, Williams, & Mattingley, 2009). Behavioural studies have demonstrated that the extent to which an object's features are attended gives rise to different visuomotor effects. For instance, when the object's colour is the only attribute required in a stimulus-response task, only basic level effects arise (e.g. *Simon effect*, Simon & Rudell, 1967; Simon & Small, 1969). Indeed, Symes, Ellis and Tucker (2005) found that responses to objects' colour were favoured when a target stimulus appeared on the side of the screen that was congruent with participant's hand of response. However, in these conditions a positive association between the orientation of objects' handles and response hand could not be found.

Two proposals have been offered to explain the affects of attention on affordance effects: the spatial account and the object based account (see Vainio, Ellis, & Tucker, 2007). The spatial account –also called “the attentional shift account” - states that the saliency of an object's manipulative part will direct spatial attention to a specific

location leading to a *Simon*-like compatible response (Anderson, Yamagishi, & Karavia, 2002). In contrast, the object based account advocates a more abstract view in which object knowledge plays the main role in response facilitation (Symes et al., 2005).

### Exploring the role of object knowledge in social affordance

Symes and colleagues (2005) showed that crucial for the occurrence of affordance effects was the categorisation of the object (e.g. it's function or meaning). However, what remains unknown is whether this will also be true when the object is the target of a concurrent action? Or will the integration of the object in an interactive scenario instead foster the emergence of visuomotor effects, even when the object's category is unattended?

In the present study we carried out an experiment involving two separate blocks in which the level of object-based attention was manipulated. The experiment involved the presentation of a series of videos showing grasp gestures toward objects. In Block 1 participants were required to respond to the objects' colour, whereas in Block 2 responses involved the categorization of objects as tools or kitchen implements.

Objects were presented with its handle oriented either to the right or left and responses were required with different hands over lateralized keys. Thus, affordance effects were explored through an orientation effect (Tucker & Ellis, 1998).

The spatial saliency of objects graspable ends is highlighted, in half of the clips, by the inclusion of a grasp action directed to each of the object's sides. If the spatial account is correct and spatial attention is the key factor explaining affordance effects, then effects should be stronger when the hand approaches the object's graspable end, regardless of if participants task is to attend to the category or colour. Conversely, if affordance effects are driven by higher level aspects relating to an object's function then effects should be stronger when attention is dedicated to an object's category compared to when attention is directed to the colour of the object.

Importantly, the vision of hand actions should facilitate the elicitation of an object's motor related information, which allow us to explore how the addition of an observed action influences the effect. One aspect of interest here is time. Previous research has shown that affordance effects benefit from longer responses times (Symes et al. 2005). Thus suggesting that the amount of time in which attention is focused on the object facilitates the emergence of affordance effects. We expect that the colour discrimination task will facilitate quicker responses (e.g. shorter RT's) than the object categorization task. This is because semantic information takes longer to access and is therefore likely to require longer processing time. Due to this we expect to find stronger affordance and mirror effects in the categorization block than in the colour block.

## **Experiment 1**

### **Method**

#### **Participants**

Forty-three participants (22 females) were recruited at the University of the Republic (Uruguay), aged between 18 and 36, ( $M=23$ ,  $SD=3.4$ ). All were right-handed and had normal or corrected to normal vision. Participation was voluntary, with no rewards given.

#### **Apparatus and materials.**

The stimuli consisted of 64 videos of different grasp gestures involving a range of different objects (2.5 seconds each) each presented twice. They were programmed by Psycho Py 2.0 and presented on a computer screen approximately 50cm distant from the participant. Responses were collected on a standard keyboard.

The videos showed the movement of a hand across a table tracked by the camera from above (see Fig. 1). Half of the clips were performed by a right hand and the other half with a left hand. At 1667 milliseconds in each video the object became visible on screen at the time the hand approached it. Half of the objects were tools (e.g. hammer, screwdriver etc) (8) and the other half were kitchen implements (e.g. spatula, can opener etc) (8). In turn, half of all objects (8) were black (or turned to black through digital edition) and the other half were of different colours (8, e.g. white, blue, orange or brown). So there were 4 coloured objects and 4 black objects for each category (tool or kitchen). In half of the clips the grasp was directed to the typical handling side of the object (handle of a hammer) in the other half it has grasped at the opposite end (head of a hammer). In order to achieve this, every object was presented with both a right and left orientation. This resulted in 128 trials (16 objects \* 2 hand sides \* 2 object orientations = 64 video clips \* 2 presentations) across each block.

### **Procedure**

The same stimuli were presented in two consecutive blocks in which different tasks were assigned to participants. Each block started with 10 practice trials after which 128 experimental trials were presented, video presentation was randomised across trials. Inter-trial intervals were included lasting 500ms. The order of the blocks was counterbalanced across participants.

#### ***Block 1, colour task***

Participants were instructed to respond to the colour of the object. They have to decide whether the objects were black or not (e.g. white, blue, orange or brown) by pressing lateralized response keys (*z* and */*) which were assigned to object colours according to two different response mappings.

## ***Block 2, category task***

Using the same keys, participants were now instructed to categorize the objects as tools or kitchen implements by pressing one of the two response keys, which were again counterbalanced across participants.

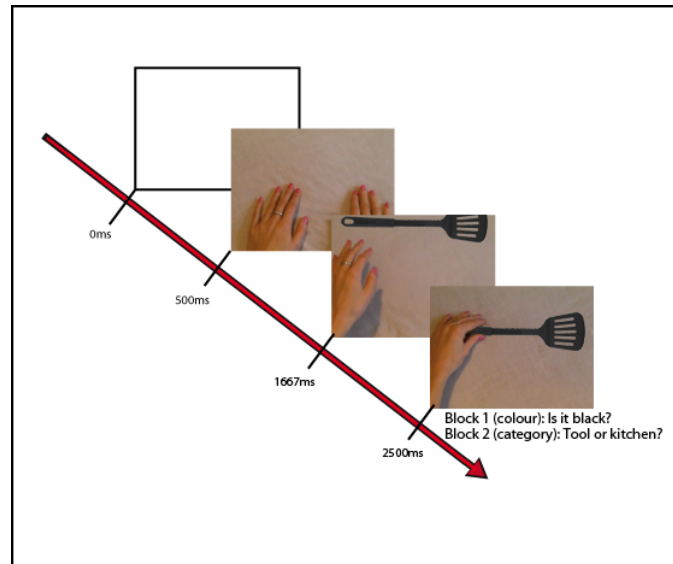


Fig. 1. Example of a trial in experiment 1. Following a blank screen (500ms), the video shows both hands from above. One of the hands starts to move toward the object while the camera tracks the movement. The object enters the scene at 1667 ms. At Block 1 participants were asked to respond to object's colour whereas at Block 2 the task was categorize the object as tools or kitchen implements. The last image remained on screen until participants respond.

## **Results.**

Three participants data were excluded from the final analysis as their error rates were above 15%. Response times below and above two standard deviations from the mean (5.1% of the data set) were excluded for both latency and accuracy analyses.

### **Response times**

Incorrect responses (11.5%) were not considered in RT analyses. The remaining data were analysed in a repeated measure analysis of variance (ANOVA), Actor hand (Left/Right), Response hand (Left/Right), Object Orientation (Left/Right) and Block type (Colour/Category) as within-participants factors and Block order (Colour-Category/Category-Colour) as between subjects factor.

Results revealed three significant main effects. Firstly, there was a main effect of block type with responses in the Colour block significantly faster than those in the Category block,  $F(1, 38) = 6.059$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .139$ . Secondly, there was a main effect of Response Hand with right hands consistently producing faster left hand responses,  $F(1, 38) = 4.560$ ,  $p = .039$ ,  $\eta^2 = .107$ . Thirdly, there was a main effect of Actor hand, with observed reaches using a right hand eliciting faster responses than those using a left hand,  $F(1, 38) = 4.447$ ,  $p = .042$ ,  $\eta^2 = .105$ .

The interaction of Block x Order was also significant,  $F(1, 38) = 11.841$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .238$ , with the speed of responses far slower when the Category block was presented first (See Figure 2).

Additionally, responses were also affected by Actor hand depending upon Block type,  $F(1, 38) = 6.413$ ,  $p = .016$ ,  $\eta^2 = .144$ . Left handed reaches produced faster responses in Block 2 (Category) whereas this was not the case in Block 1 (Colour). This interaction was affected by the order in which the blocks were presented,  $F(1, 38) = 4.115$ ,  $p = .05$ ,  $\eta^2 = .098$ . Observing reaches with a right hand resulted in faster responses in both blocks when the Colour block was presented first, whereas when the order of the blocks was reversed (e.g. Category-Colour), observing right handed reaches was faster only in Block 2.

Moreover the three way interaction between Actor hand, Response hand and Block type, which account for mirror effects across blocks, was close to significance,  $F(1, 38) = 3.792$ ,  $p = .059$ ,  $\eta^2 = .091$ . A negative compatibility trend was reflected for Block 1 (Colour) but not for Block 2 (Category). These trends seemed to be more noticeable when the blocks were the first to be performed, however the interaction between Actor hand x Response hand x Block type x Order of the blocks was far from being significant (with a low observed power = .052).



The theoretically important interaction between Response hand and Object Orientation (*affordance*) was significant,  $F(1, 38) = 5.388$ ,  $p = .026$ ,  $\eta^2 = .124$ . Incongruent cases were slightly faster compared to congruent cases. This interaction was modulated by the task implied by each block, as reflected by the second order interaction of Block type, Object Orientation and Response hand,  $F(1, 35) = 9.084$ ,  $p = .005$ ,  $\eta^2 = .206$ . While Block 1 (Colour) resulted in a negative compatibility effect (NCE), Block 2 (Category) did not. Moreover, the order of the blocks' presentation affected the latter interaction (Block order x Block type x Object Orientation x Response hand,  $F(1, 38) = 5.067$ ,  $p = .030$ ,  $\eta^2 = .118$ ; see figure 2). In order to explore whether orientation effects across blocks occurred differently depending upon which of the blocks was presented first, we carried out additional analyses. Two separated ANOVAS were conducted for each Block order presentation (Colour-Category and Category-Colour) including the factors of Block type, Object orientation, Actor hand and Response hand. Results showed a significant interaction between Object orientation and Response hand only when the category Block was first,  $F(1, 19) = 8.119$ ,  $p = .010$ ,  $\eta^2 = .299$ , but not when the first block was the colour discrimination task ( $p > .05$ ). We then carried out posthoc analyses to assess whether orientation effects were present in both blocks under the category-first order of presentation (two different ANOVAs for each block: Object Orientation x Response hand x Actor hand). Results approached significance for the category block with differences favouring affordance effects,  $F(1, 19) = 4.106$ ,  $p = .057$ ,  $\eta^2 = .178$ , whereas a significant NCE was found for the colour block,  $F(1, 19) = 4.948$ ,  $p = .038$ ,  $\eta^2 = .207$ . Additionally, the effect differences of the affordance effect in the category block when presented first was different depending upon the hand used by the actor (right gesture: 17ms, left gesture: 9ms), however the interaction of Object orientation x Actor hand x Response hand was not significant ( $p = .59$ ) probably due to lack of statistical power (observed power = .080).

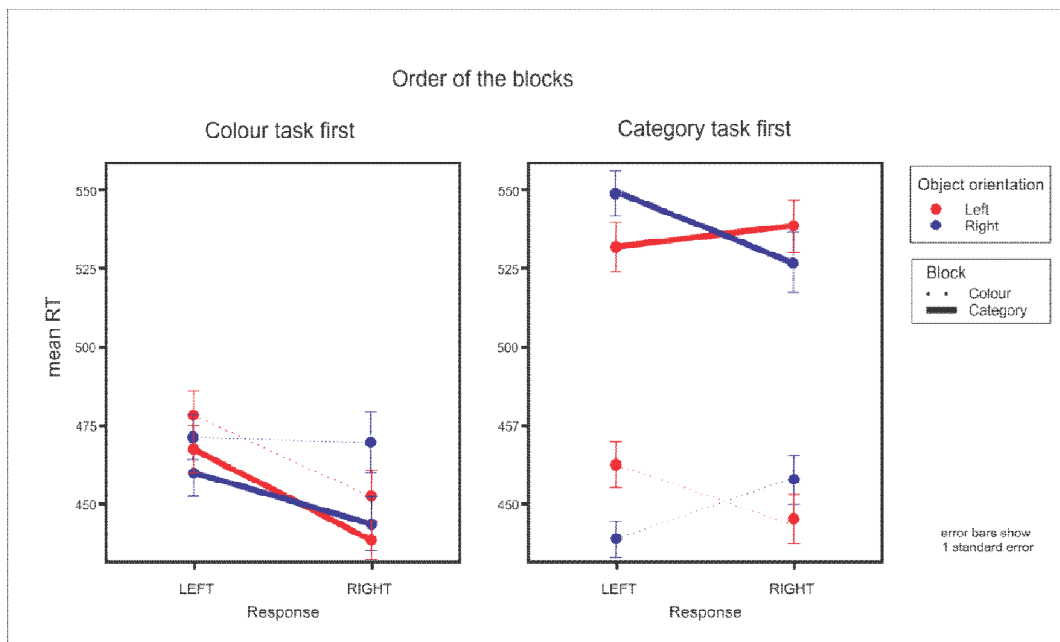


Figure 2. Mean reaction time for lateralized responses as a function of object orientation (right vs. left), the block (colour, category) and the order of the block's execution.

None of the rest of the effects and interactions were significant (all  $p$ 's > .0.7).

### Distributional analyses

Affordance trends were observed in the block that received slower responses (Category block accomplished after Colour block) and the opposite was true for the fastest blocks. This suggests a possible relationship between response latencies and affordance orientation effects across blocks. In order to explore this interaction we carried out distributional analyses. That is, we analyzed separately different quartiles of the RT data set. We took into account that it has been previously reported that affordance effects, contrary to *Simon* effects, develop over time becoming stronger as RTs increase (Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Symes et al., 2005).

Thus, for each of the two blocks and two orders of blocks (four conditions), each participant's RTs (with no outliers and incorrect responses) were divided into affordance orientation compatible and incompatible trials and then divided into four equal bins. We

then calculated the difference between compatible and incompatible bin averages in order to assess the size of the compatibility effect for each RT quartile. Results showed that affordance effects developed over time at the category block (regardless of the order of execution) being negative at the first quartile and becoming positive at the last one (see fig. 3). Significant linear regressions were revealed for the orientation effect in Block 2 (category) when the analyses were performed discarding the order of execution and when Block 2 was executed second but not when accomplished first. Intriguingly, also a significant linear regression was found for the Colour Block when performed after the category Block (see table 1), reflecting a rise from a NCE to no effect.

TABLE 1

Summary linear regression statistics for each experimental block and order of presentation from the distributional analyses (effect size by quartile RT) of the affordance-orientation effect

Order of presentation	Block 1 (color)	Block 2 (category)
<b>Colour-Category</b>		
Adj. R <sup>2</sup>	-.012	.085
β	-.020	.311**
<b>Category-Colour</b>		
Adj. R <sup>2</sup>	.066	.035
β	.278*	.218
<b>Overall (regardless order)</b>		
Adj. R <sup>2</sup>	.014	.054
β	.143	.244**

\*p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001.

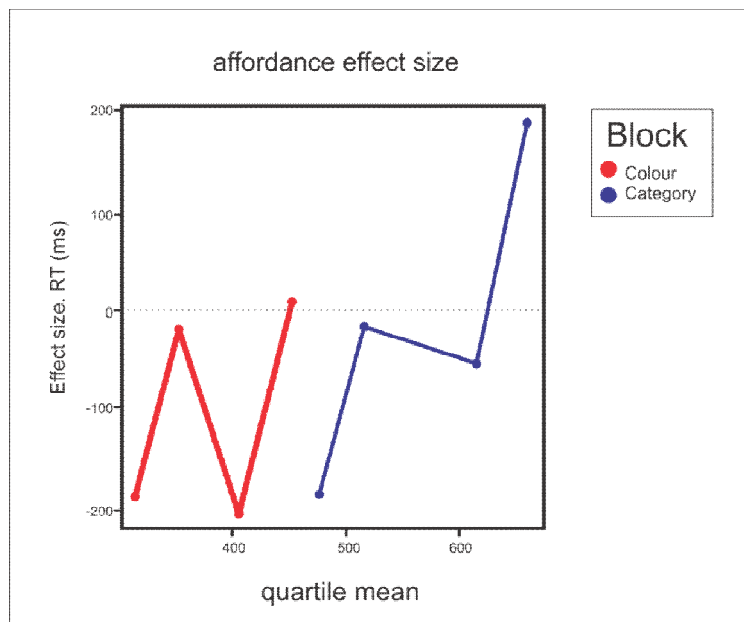


Figure 3. Size of the *affordance-orientation effect* (mean differences between object orientation and participant hand of response compatible and incompatible trials; RT) across blocks and RT quartiles.

### Error rates

Mean percentages of accuracy was subject to an analysis similar to RT's.

The main effect of Response hand was significant,  $F(1,38) = 12.571, = .001, \eta^2 = .249$ .

Left handed responses were more accurate than right handed ones. This effect was different across blocks being greater for Block 2 (Category),  $F(1,38) = 8.916, = .05, \eta^2 = .190$ .

The interaction of Block x Order of the blocks x Actor hand was significant,  $F(1,38) = 4.690 = .037, \eta^2 = .110$ , as the interaction of Block x Order of the blocks x Object orientations,  $F(1,38) = 7.318 = .010, \eta^2 = .161$ . Right hand actor's reaches elicited more accurate responses in both blocks when the Colour block was presented first, while the opposite was true when the Category block was presented first. The interaction of Object orientation and Block Order was different across block type as reflected by the significant interaction of Object Orientation x Block type x Block order. When the Colour block was presented first left object orientations received more

accurate responses in Block 1 compared to Block 2. When the category block was presented first, responses to right object orientations were more accurate for Block 1 whereas left responses were more accurate for Block 2,  $F(1,38) = 4.579$ ,  $p = .039$ ,  $\eta^2 = .108$ .

### **Discussion.**

The present experiment addressed the question regarding the role that attention dedicated to an object, which is the goal of a concurrent action, plays when considering the emergence of visuomotor effects. In this vein participants completed two blocks in which object directed attention was manipulated, one block requiring colour detection (1) and another block demanding object categorization (2).

Results followed the general trend reported by Symes and colleagues (2005) despite objects being presented as part of a goal directed action. Object categorization, favoured positive visuomotor effects and the opposite was observed when the task involved colour discrimination. Importantly, the more time dedicated to process object's properties favoured the emergence of affordance and mirror effects. This finding argues for a major role of object related information in the representation of a goal directed action (Bach et al., 2014).

Accuracy on the task seems to reflect a trade off between speed and efficiency regarding the hand of response of the participant. Left hand responses were more accurate but slower than right ones. However, this effect was dependent on the Block in both RT and accuracy analyses, with left hand responses being more accurate and faster at the Category block. The theoretically important interactions including the factors of object orientation, actor's reach and response were not significant in the accuracy analyses.

When considering reaction times, the order in which the blocks were presented to participants greatly affected response latencies in Block 2 (categorization task). When participants performed the colour discrimination task first, NCE for affordance and mirror effects were found for both blocks but when the experimental sessions begun with the categorization task results were inverted for this task but not for colour discrimination. In other words, the colour discrimination task influenced response strategies in the categorization block but not the other way around. This result is in line with studies reporting the influence of a prior incompatible spatial S-R practice effects on affordance effects (Ambrosecchia, Marino, Gawryszewski, & Riggio, 2015; Ottoboni, Iani, Tessari, & Rubichi, 2013). This suggests that affordances are permeated by the transference of incompatible prior task response strategies. Importantly, this was true even at the sight of an object-directed action that could have potentially highlighted the objects interactive properties, which are responsible for the affordance effect. This finding argues in favour of a certain interdependency between affordance and the observed actions effects that we noted elsewhere (Girardi, Lindemann, & Bekkering, 2010; González-Perilli & Ellis, 2015). Nevertheless, it is worth noting that both imitation and affordance effects showed an NCE for the colour task and an opposite trend for the categorization task which suggests some degree of interrelation between the effects, in which object-based attention probably plays a major role.

Focusing on the results of both blocks when presented first it is clear that the assigned task led to very different outcomes. When attentional demands on objects were reduced in Block 1 the interaction between object orientation and participant's response (affordance) took the form of negative compatibility. Whereas when the task demanded access to object type, in Block 2 (Category), affordance effects arose. In the Category block, analysis did not show significant interaction for object orientation by response by observed reach.

Interestingly, a lack of a requirement for object knowledge in the colour discrimination block not only overrode the affordance effect, but led to a negative compatibility effect. This finding can be explained as the result of a *Simon* effect (Simon & Rudell, 1967; Simon & Small, 1969). That is, in our study almost all the objects' untypically graspable parts are slightly bigger than the handle section (as in a hammer). Therefore, when responding to an objects colour, more information was available in the non handle side. This can explain why faster responses in Block 1 (Colour) were associated with lateralized responses to the untypically graspable part of the object (negative affordance), and also why orientation NCE diminished at longer RTs in the colour discrimination block when preformed second, given that *Simon* effects tend to decay as latencies increase (Eimer, Hommel, & Prinz, 1995; Symes et al., 2005); however we don't know why this trend was not present when this block was the first executed.

The interaction of observed action and object orientation could not be found. In prior studies, which employed a similar experimental design (Gonzalez-Perilli & Ellis, 2015), the effects of observed action were only observed through its interaction with affordance effects. Probably because the motor resonance evocated by the observed action overlapped with the preparation of the actual lateralized response, which in turn was affected by the object orientation. In the present case, observed actions seemed to affect the strength of the affordance effect with the effect being stronger when the observed grasp involved a dominant right handed reach, for the Category block. This observation (despite the differences not being significant) was in line with the possibility of a lateralization of this influence as reported in previous studies (Ellis et al., 2013; Gonzalez-Perilli & Ellis, 2015).

Moreover, despite the observed reach being directed to one of the object's sides, this attentional bias did not favour congruent hand-handle responses when the task was colour discrimination in any of the conditions (as would be predicted by the spatial

account for affordances). However, orientation effects were modulated by the access to semantic information. This outcome suggests that access to object knowledge mediates the formation of qualitative distinct motor representations responsible for the affordance effect. Interestingly, this view is in line with recent findings reporting that the cortical semantic representation of objects is modulated by attention dedicated to categories (Çukur, Nishimoto, Huth, & Gallant, 2013). In this fMRI study, the authors postulate that attention would help to optimize the processing of behaviourally relevant objects during natural vision by modulating its cortical semantic representation.

Importantly, distributional analyses showed that not only the quality of the process demanded by the task but also its latency can explain the occurrence of different outcomes. It has been reported that affordance effects are stronger as response times increase (Derbyshire, Ellis, & Tucker, 2006; Fischer & Dahl, 2007; Phillips & Ward, 2002; Symes et al., 2005). Indeed, in our study affordance trends were observed when the slowest RT's were registered (categorization block first). In all other blocks, which had mean RT's around 100ms shorter, NCE trends were observed. Distributional analysis showed that orientation effects evolved over time, being positive only at the last quartile at the category block. Intriguingly, the first quartile showed a clear NCE, and the two middle quartiles reflected a no effect trend. This result is not easy to interpret, however, when taken together they reflect the fact that visuomotor effects develop over time. Further work would be needed to clarify the causes of this effect.

Additionally, NCE were more noticeable in Block 1 (colour block) at the fastest quartile and almost null at the slowest one. This outcome suggests that the positive association between object motor properties and participant response depends on the time of processing; a hypothesis originally proposed by Symes et al. (2005) for single affordance effects.



We believe that both temporal and semantic-access explanations are interrelated. That is, semantic access demands more processing time than colour discrimination, allegedly allowing the emergence of affordance (Symes et al. 2005). But also semantic identification gives place to a qualitative distinct process which implies the extraction of different attributes of the object, including motor related properties. Thus, the question would be if any other object related task, demanding more time to be accomplished would lead to affordance effects irrespective of the quality of the extracted information (i.e.: counting object's vertices); an important issue regarding the affordance automaticity question. In respect of this concern, it is worth noting that several studies have reported that processing time *per se* cannot explain affordance effects, but the quality of the ongoing process (i.e.: accessing semantic information) is crucial for the emergence of this phenomenon (Gonzalez-Perilli & Ellis, 2015; Riggio et al., 2008). Gonzalez-Perilli and Ellis (2015) found positive visuomotor effects in the experiment in which the shorter RTs were collected and NCE in the experiment which produced slower response latencies. Moreover, Riggio and colleagues (2008) found affordance effects irrespective of object's attentional capturing properties, whereas this was not the case for *Simon* effects which were modulated by attentional cues.

This view supports the argument that automatic processing of object's affordances is highly dynamic and dependent on context and task requirement (Borghi & Riggio, 2015; Randerath, Martin, & Frey, 2013).

Following several proposals (see Bach et al., 2010), we also argue that when a higher level of attention is dedicated to object identity the binding of observed action and object motor processing enhanced the perception of an intended movement (Liepelt et al., 2008; Longo & Bertenthal, 2009); which in turn favours the emergence of visuomotor congruent responses in line with the goal of the action (Liepelt et al., 2008; Longo & Bertenthal, 2009; van Elk et al., 2008; Wild et al., 2010). Moreover, this

higher order intention representation builds up as a function of the time subjects spend processing the relevant stimuli; which highlights the importance of temporal dynamics in goal directed actions comprehension.

Our view is in line with the seminal account of mirror neurons which reported that the presence of an object greatly enhances mirror activity (Rizzolatti & Craighero, 2004; Wohlschläger & Bekkering, 2002). Moreover, recently the existence of a class of cells with both mirror and canonical neurons properties has been reported in the macaque brain, the *canonical-mirror neurons* (Bonini, Maranesi, Livi, Fogassi, & Rizzolatti, 2014)). This physiological evidence reconciles several proposals highlighting the role of objects on the comprehension of interactive scenarios (i.e.: Bach, Nicholson & Hudson, 2014) and a general trend favouring new insights on Mirror Neurons (see Arévalo, Baldo, González-Perilli, & Ibáñez, 2015).

## **Conclusions**

We propose that an observed human action becomes an *affordance* -which we can reach, grasp, avoid or simply observe and can be considered “social” (Valenti & Gold, 1991)- when intentionality is attributed. The presence of a concurrent object that is integrated into the action greatly contributes to achieve the status of goal directed movement, given that object’s representation is partially formed by action related information. The interrelation of actions and objects will be dependent on how much attention is dedicated to the object, and the time spent attending it. This means that object representation when evocated is time sensitive and context dependent. In turn, this would predict that more socially rewarding stimuli would elicit stronger effects based on the increase in attention which they produce based on their interpretation. Subtle variations on the timing and form in which an action takes place, but also the attitude of the observer, will be critical for the understanding of social scenarios. The present article contributes to a better comprehension of this phenomenon.

## References

- Ambrosecchia, M., Marino, B. F. M., Gawryszewski, L. G., & Riggio, L. (2015). Spatial stimulus-response compatibility and affordance effects are not ruled by the same mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*(283), 1–11. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00283>
- Anderson, S. J., Yamagishi, N., & Karavia, V. (2002). Attentional processes link perception and action. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, *269*(1497), 1225–32. <http://doi.org/10.1098/rspb.2002.1998>
- Arévalo, A., Baldo, J., González-Perilli, F., & Ibáñez, A. (2015). Editorial: What can we make of theories of embodiment and the role of the human mirror neuron system? *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*(September), 1–3. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00500>
- Bach, P., Nicholson, T., & Hudson, M. (2014). The affordance-matching hypothesis: how objects guide action understanding and prediction. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(May), 254. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00254>
- Bach, P., Peatfield, N. a., & Tipper, S. P. (2007). Focusing on body sites: The role of spatial attention in action perception. *Experimental Brain Research*, *178*(4), 509–517. <http://doi.org/10.1007/s00221-006-0756-4>
- Bach, P., Peelen, M. V., & Tipper, S. P. (2010). On the role of object information in action observation: an fMRI study. *Cereb Cortex*. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhq026>
- Bonini, L., Maranesi, M., Livi, A., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (2014). Space-dependent representation of objects and other's action in monkey ventral premotor grasping neurons. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *34*(11), 4108–19. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4187-13.2014>
- Borghi, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? *Neuroscience Letters*, *411*, 17–21.
- Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 351. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- Chong, T. T. J., Cunnington, R., Williams, M. a., & Mattingley, J. B. (2009). The role of selective attention in matching observed and executed actions. *Neuropsychologia*, *47*(3), 786–795. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.12.008>
- Çukur, T., Nishimoto, S., Huth, A. G., & Gallant, J. L. (2013). Attention during natural vision warps semantic representation across the human brain. *Nature Neuroscience*, *16*(6), 763–70. <http://doi.org/10.1038/nn.3381>

- Derbyshire, N., Ellis, R., & Tucker, M. (2006a). The potentiation of two components of the reach-to-grasp action during object categorisation in visual memory. *Acta Psychologica*, *122*(1), 74–98.
- Derbyshire, N., Ellis, R., & Tucker, M. (2006b). The potentiation of two components of the reach-to-grasp action during object categorisation in visual memory. *Acta Psychologica*, *122*(1), 74–98. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.10.004>
- Eimer, M., Hommel, B., & Prinz, W. (1995). S-R compatibility and response selection. *Acta Psychologica*, *90*, 301–313. [http://doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)00022-M](http://doi.org/10.1016/0001-6918(95)00022-M)
- Ellis, R., Swabey, D., Bridgeman, J., May, B., Tucker, M., & Hyne, A. (2013). Bodies and other visual objects: The dialectics of reaching toward objects. *Psychological Research*, *77*, 31–39. <http://doi.org/10.1007/s00426-011-0391-y>
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, *91*(4), 451–471. <http://doi.org/10.1348/000712600161934>
- Fischer, M. H., & Dahl, C. D. (2007). The time course of visuo-motor affordances. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, *176*(3), 519–24. <http://doi.org/10.1007/s00221-006-0781-3>
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception. Book* (Vol. 24). Houghton Mifflin.
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *36*(2), 330–340. <http://doi.org/10.1037/a0017180>
- González Perilli, F., Ramón Barrada, J., & Maiche, A. (2013). Temporal dynamics of action contribution to object categorization . *Psicologica*, *34*(2), 145–162.
- González-Perilli, F., & Ellis, R. (2015). I don't get you. Action observation effects inverted by kinematic variation. *ACTPSY*, *157*, 114–121. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.02.010>
- Liepelt, R., Cramon, D. Y. Von, & Brass, M. (2008). What is matched in direct matching? Intention attribution modulates motor priming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *34*(3), 578–591. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.34.3.578>
- Longo, M. R., & Bertenthal, B. I. (2009). Attention modulates the specificity of automatic imitation to human actors. *Experimental Brain Research*, *192*(4), 739–744. <http://doi.org/10.1007/s00221-008-1649-5>
- Ottoboni, G., Iani, C., Tessari, A., & Rubichi, S. (2013). Modulation of the affordance effect through transfer of learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *66*(12), 2295–302. <http://doi.org/10.1080/17470218.2013.863370>
- Phillips, J. C., & Ward, R. (2002). S-R correspondence effects of irrelevant visual affordance: Time course and specificity of response activation. *Visual Cognition*,

9(4-5 ), 540–558. <http://doi.org/10.1080/13506280143000575>

- Randerath, J., Martin, K. R., & Frey, S. H. (2013). Are tool properties always processed automatically? The role of tool use context and task complexity. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *49*(6), 1679–93. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.08.016>
- Riggio, L., Iani, C., Gherri, E., Benatti, F., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2008). The role of attention in the occurrence of the affordance effect. *Acta Psychologica*, *127*(2), 449–458. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.08.008>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 169–192. <http://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Research Cognitive Brain Research*, *3*(2), 131–141.
- Simon, J. R., & Rudell, a P. (1967). Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing. *The Journal of Applied Psychology*, *51*(3), 300–304. <http://doi.org/10.1037/h0020586>
- Simon, J. R., & Small, A. M. (1969). Processing auditory information: interference from an irrelevant cue. *The Journal of Applied Psychology*, *53*(5), 433–435. <http://doi.org/10.1037/h0028034>
- Symes, E., Ellis, R., & Tucker, M. (2005). Dissociating object-based and space-based affordances. *Visual Cognition*, *12*(7), 1337–1361. <http://doi.org/10.1080/13506280444000445>
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, *24*(3), 830–846.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, *8*(6), 769–800. <http://doi.org/10.1080/13506280042000144>
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, *116*(2), 185–203.
- Vainio, L., Ellis, R., & Tucker, M. (2007). The role of visual attention in action priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *60*(2), 241–261. <http://doi.org/10.1080/17470210600625149>
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008a). On the relations between action planning , object identification , and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, *108*, 444–465. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.03.007>
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008b). On the relations

between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, **108**(2), 444–465.

Valenti, S. S., & Gold, J. M. M. (1991). Social Affordances and Interaction I: Introduction. *Ecological Psychology*, **3**(March 2015), 77–98. [http://doi.org/10.1207/s15326969eco0302\\_2](http://doi.org/10.1207/s15326969eco0302_2)

van Elk, M., van Schie, H. T., & Bekkering, H. (2008). Semantics in action: An electrophysiological study on the use of semantic knowledge for action. *Journal of Physiology-Paris*, **102**(1), 95–100. <http://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.03.011>

Wild, K. S., Poliakoff, E., Jerrison, A., & Gowen, E. (2010). The influence of goals on movement kinematics during imitation. *Experimental Brain Research*, **204**(3), 353–360. <http://doi.org/10.1007/s00221-009-2034-8>

Wohlschläger, A., & Bekkering, H. (2002). Is human imitation based on a mirror-neurone system? Some behavioural evidence. *Experimental Brain Research*, **143**, 335–341. <http://doi.org/10.1007/s00221-001-0993-5>

## Appendix.

### Objects used in experiment 1:

#### Block 1 (colour):

<u>Black</u>	<u>Other colour</u>
Potato peeler	Wooden spoon
Knife	Wooden spatula
Axe	Can opener
Spoon	Pizza slicer
Hammer	Chisel
Clamp	Paintbrush
Spatula	Screwdriver
Big pliers	Cutter

#### Block 2 (category)

<u>Kitchen implement</u>	<u>Tool</u>
Wooden spoon	Axe
Wooden spatula	Cutter
Knife	Big pliers
Can opener	Chisel
Pizza slicer	Hammer
Spatula	Paintbrush
Potato peeler	Screwdriver
Spoon	Clamp

#### **5.4. Artículo editorial (parte no fundamental)**

Arévalo, A., Baldo, J., González-Perilli, F., & Ibáñez, A. (2015). Editorial: What can we make of theories of embodiment and the role of the human mirror neuron system? *Frontiers in Human Neuroscience*, 9 (September), 1–3.







# Editorial: What can we make of theories of embodiment and the role of the human mirror neuron system?

Analia Arévalo<sup>1\*</sup>, Juliana Baldo<sup>1</sup>, Fernando González-Perilli<sup>2,3</sup> and Agustín Ibáñez<sup>4,5,6,7,8</sup>

<sup>1</sup> Center for Aphasia and Related Disorders, East Bay Institute for Research and Education, Martinez, CA, USA, <sup>2</sup> Center for Basic Research in Psychology and Faculty of Information and Communication, University of the Republic, Montevideo, Uruguay, <sup>3</sup> Department of Basic, Evolutionary and Educational Psychology, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain, <sup>4</sup> Laboratory of Experimental Psychology and Neuroscience, Institute of Cognitive Neurology (INECO), Favaloro University, Buenos Aires, Argentina, <sup>5</sup> National Scientific and Technical Research Council (CONICET), Buenos Aires, Argentina, <sup>6</sup> UDP-INECO Foundation Core on Neuroscience, Diego Portales University, Santiago, Chile, <sup>7</sup> Department of Psychology, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, <sup>8</sup> Centre of Excellence in Cognition and its Disorders, Sydney, NSW, Australia

**Keywords:** human mirror system, embodiment, grounded cognition, mirror neurons, language processing

Over the last 20 years, work surrounding theories of embodiment and the role of the putative mirror neuron system (MNS) in humans has been hotly debated. In 2000, Ramachandran (2000, p. 1) suggested that mirror neurons would do for psychology what DNA did for biology, providing “a unifying framework” that would help explain a host of mental abilities.” In fact, the strong evidence for action/perception coupling observed in macaque mirror neurons led several authors to implicate this system in higher order functions in humans, such as empathy, language and theory of mind (Rizzolatti and Arbib, 1998; Gallese et al., 2004; but see Hickok, 2009). Thus, embodiment is a broad area of study that suggests that motor resonance participates in several of these higher order processes. However, the exact role played by specific brain structures and/or actual mirror neurons in these processes varies greatly across theories and authors. This special issue brought together 12 studies conducted with healthy as well as brain-injured populations, behavioral as well as imaging techniques (functional and structural), and opinion pieces and responses. Through this broad landscape, we offer a fresh and frugal approach to the challenges and controversies of the translational neuroscience of embodiment and the MNS.

Two of the articles in this collection addressed how the human MNS might underlie the physiological mechanisms that give rise to human emotions. In “Motor empathy is a consequence of misattribution of sensory information in observers,” Mahayana et al. (2014) used TMS to measure participants’ reactions while they observed videos of painful stimuli being inflicted on another person. Their results suggest that empathy may be partially caused by a misattribution of perceptual information: pain experienced in someone else is perceived as occurring in oneself. This finding raises an interesting and novel view on embodiment that suggests that the empathy experienced through our mirror system is in fact selfish, as it mostly reflects empathy toward ourselves. In “Washing the guilt away: effects of personal versus vicarious cleansing on guilty feelings and prosociality,” Xu et al. (2014) asked participants to write about a guilt-inducing past wrong and were then asked to wash their hands, watch a video of someone washing their hands, or a video of someone typing. They were then asked whether they would help a Ph.D. student with her thesis by answering some questions. Participants who felt the least guilty were those who washed their hands, followed by those who watched the hands-washing video, and then by those who watched the typing video. Also, participants who felt most guilty were more likely to help the student with her project. The authors conclude that washing one’s hands or watching someone else washing their

## OPEN ACCESS

### Edited and reviewed by:

Srikantan S. Nagarajan,  
University of California, San Francisco,  
USA

### \*Correspondence:

Analia Arévalo,  
analia@ebire.org

**Received:** 20 March 2015

**Accepted:** 28 August 2015

**Published:** 11 September 2015

### Citation:

Arévalo A, Baldo J, González-Perilli F and Ibáñez A (2015) Editorial: What can we make of theories of embodiment and the role of the human mirror neuron system? *Front. Hum. Neurosci.* 9:500. doi: 10.3389/fnhum.2015.00500

hands can be good for feelings of guilt, but not compassion. Both studies offer new evidence for the connection between inner ‘motor resonance’ and emotion (i.e., Wicker et al., 2003). Also, the study by Xu et al. and that of Kacinik (see below) are classic examples of embodied language, where even the enactment of metaphorical expressions can strongly activate the mirror neuron system.

In “Language comprehension warps the mirror neuron system,” Zarr et al. (2013) asked participants to read sentences describing the transfer of objects away or toward the reader. The adapting sentences disrupted prediction of actions in the same direction, but (a) only for videos of biological motion, and (b) only when the effector implied by the language (e.g., the hand) matched the videos. Similarly, Kacinik (2014) asked participants to read a story and act out the idioms presented (e.g., literally sitting on the fence, on the edge of one’s seat) in “Sticking your neck out and burying the hatchet: what idioms reveal about embodied simulation.” They found that the process of embodying idioms simply by engaging in the corresponding actions activated their meaning enough to significantly influence subsequent processing and judgments. Finally, in “Action relevance in linguistic context drives word-induced motor activity,” Aravena et al. (2014) analyzed online modulations of grip force while subjects listened to target words embedded in different linguistic contexts. They conclude that motor structure activation is part of a dynamic process that integrates the lexical meaning potential of a term and the context in the online construction of a situation model, which is a crucial process for fluent and efficient online language comprehension. Similarly to Xu et al. (see above), these three articles support the notion that the motor resonance of language strongly influences its comprehension. The strict version of this view, which argues that semiotic coding would mostly rely on the human MNS (see Pulvermüller et al., 2014), continues to be controversial and is challenged by other articles in this topic (see below).

Two articles used neuroimaging to identify the neural correlates of embodiment. In an fMRI study entitled “Hand specific representations in language comprehension,” Moody-Triantis et al. (2014) asked participants to perform right or left hand actions and then read sentences describing these same actions. They found that language-induced activity overlapped with pre-motor and parietal regions associated with action planning rather than those observed in action execution, endorsing a less strict interpretation of the MNS in humans, in which association (and not primary motor cortices) are activated. In “Neuroanatomical substrates of action perception and understanding: an anatomic likelihood estimation meta-analysis of lesion-symptom mapping studies in brain injured patients” (2014), Urgesi et al. (2014) conducted a meta-analysis of 11 studies and 361 patients and reported that non-linguistic action perception and understanding are associated with the inferior frontal cortex, the inferior parietal cortex and the

middle/superior temporal cortex. Again, rather than primary motor cortex, they found that surrounding regions in frontal, parietal, and temporal cortex were associated with action perception.

Two other theoretical/opinion articles also steer away from stricter MNS interpretations and suggest that the motor system influences action perception but is not its sole critical component. In “Homuncular mirrors: misunderstanding causality in embodied cognition,” Mikulan et al. (2015) propose a network view of language processing in which the mirror neuron system plays an important role in priming or facilitating understanding (or even indexing action semantics) but not directly in action understanding. Similarly, Bach et al. (2014) propose an object-based view of action understanding in “The affordance-matching hypothesis: how objects guide action understanding and prediction.” They suggest that object knowledge (what an object is for and how it is used) informs and constrains action interpretation and prediction.

Additionally, we included two response pieces to Bach et al.’s proposal, one by Osiurak (2014) and the other by Uithol and Maranesi (2014). The latter, in turn, received a response from Bach and colleagues (under review), which is also included in this issue. Osiurak proposes the “mechanical knowledge hypothesis,” which diminishes the role of manipulation in action understanding and distances itself from traditional MN theories, while Uithol and Maranesi support an enactivist view, which criticizes the need for integrating the processes of action interpretation and action prediction. On the other hand, Bach et al.’s counter argument suggests that the match is indeed needed to fulfill the requirements of a predictive model of action understanding.

Intriguingly, in “Observation and imitation of actions performed by humans, androids and robots: an EMG study,” Hofree et al. (2015) show that these phenomena are not limited to agents with a biological appearance but also for robotic agents, opening important implications regarding human-robot interaction.

All of these works expand our understanding of the human MNS by extending previous work and delimiting the boundaries of how we should interpret those findings. As a group, contributing authors seem to agree on less strict interpretations of embodiment and the human MNS, suggesting these are strong contributors to various aspects of action and cognition, but do not represent the sole basis of language, learning, or comprehension. Future work should further explore the precise mechanisms underlying the links between action planning, execution, and semantic processing, as well as the relative dependence of distinct cognitive processes on mirror activity.

## Acknowledgments

We thank all the authors and reviewers who contributed to our special topic.

## References

- Aravena, P., Courson, M., Frak, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Deprez, V., et al. (2014). Action relevance in linguistic context drives word-induced motor activity. *Front. Hum. Neurosci.* 8:163. doi: 10.3389/fnhum.2014.00163
- Bach, P., Nicholson, T., and Hudson, M. (2014). The affordance-matching hypothesis: how objects guide action understanding and prediction. *Front. Hum. Neurosci.* 8:254. doi: 10.3389/fnhum.2014.00254
- Gallese, V., Keysers, C., and Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends Cogn. Sci.* 8, 396–403. doi: 10.1016/j.tics.2004.07.002
- Hickok, G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *J. Cogn. Neurosci.* 21, 1229–1243. doi: 10.1162/jocn.2009.21189
- Hofree, G., Urgen, B. A., Winkelman, P., and Saygin, A. P. (2015). Observation and imitation of actions performed by humans, androids and robots: an EMG study. *Front. Hum. Neurosci.* 9:364. doi: 10.3389/fnhum.2015.00364
- Kacirik, N. A. (2014). Sticking your neck out and burying the hatchet: what idioms reveal about embodied simulation. *Front. Hum. Neurosci.* 8:689. doi: 10.3389/fnhum.2014.00689
- Mahayana, I. T., Banissy, M., Chen, C. Y., Walsh, V. C. H., and Muggleton, N. G. (2014). Motor empathy is a consequence of misattribution of sensory information in observers. *Front. Hum. Neurosci.* 8:47. doi: 10.3389/fnhum.2014.00047
- Mikulan, E. P., Reynaldo, L., and Ibáñez, A. (2015). Homuncular mirrors: misunderstanding causality in embodied cognition. *Front. Hum. Neurosci.* 8:299. doi: 10.3389/fnhum.2014.00299
- Moody-Triantis, C., Humphreys, G. F., and Gennari, S. P. (2014). Hand specific representations in language comprehension. *Front. Hum. Neurosci.* 8:360. doi: 10.3389/fnhum.2014.00360
- Osiurak, F. (2014). Mechanical knowledge, but not manipulation knowledge, might support action prediction. *Front. Hum. Neurosci.* 8:737. doi: 10.3389/fnhum.2014.00737
- Pulvermüller, F., Moseley, R. L., Egorova, N., Shebani, Z., and Boulenger, V. (2014). Motor cognition-motor semantics: action perception theory of cognition and communication. *Neuropsychologia* 55, 71–84. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.002
- Ramachandran, V. S. (2000). *Mirror Neurons and Imitation Learning as the Driving Force Behind "The Great Leap Forward" in Human Evolution*. *Edge* 69. Available online at: [www.edge.org/documents/archive/edge69.html](http://www.edge.org/documents/archive/edge69.html)
- Rizzolatti, G., and Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21, 188–194. doi: 10.1016/S0166-2236(98)01260-0
- Uithol, S., and Maranesi, M. (2014). No need to match: a comment on Bach, Nicholson and Hudson's "Affordance-Matching Hypothesis." *Front. Hum. Neurosci.* 8:710. doi: 10.3389/fnhum.2014.00710
- Urgesi, C., Candidi, M., and Avenanti, A. (2014). Neuroanatomical substrates of action perception and understanding: an anatomic likelihood estimation meta-analysis of lesion-symptom mapping studies in brain injured patients. *Front. Hum. Neurosci.* 8:344. doi: 10.3389/fnhum.2014.00344
- Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J. P., Gallese, V., and Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron* 40, 655–664. doi: 10.1016/S0896-6273(03)00679-2
- Xu, H., Bègue, L., and Bushman, B. (2014). Washing the guilt away: effects of personal versus vicarious cleansing on guilty feelings and prosocial behavior. *Front. Hum. Neurosci.* 8:97. doi: 10.3389/fnhum.2014.00097
- Zarr, N., Ferguson, R., and Glenberg, A.M. (2013). Language comprehension warps the mirror neuron system. *Front. Hum. Neurosci.* 7:870. doi: 10.3389/fnhum.2013.00870

**Conflict of Interest Statement:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2015 Arévalo, Baldo, González-Perilli and Ibáñez. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.