

---

## Artigo Científico

---

# Empleo del mundo como memoria externa

*Emprego do mundo como memória externa*

*The world as external memory*

**Mauricio Iza Mikeleiz<sup>✉</sup> e Alexandra Konstenius**

Facultad de Psicología, Campus de Teatinos, Universidad de Malaga, Malaga, España;  
Universidad de Helsinki, Helsinki, Finland

### Resumen

El paradigma de procesamiento de información simbólico en Ciencia Cognitiva ha sido un reto creciente para los modelos conexionistas. Pero, éstos aún tratan de modelar la inteligencia como la producción de soluciones codificadas simbólicamente a problemas expresados mediante símbolos. Aquí, discutimos la falta de atención a los modos en que el agente y el contexto forman parte de los bucles de procesamiento que ocasionan la acción inteligente. © Cien. Cogn. 2011; Vol. 16 (3): 116-131.

**Palabras-clave:** ciencia cognitiva; conexionismo; representación; composicionalidad.

### Resumo

*O paradigma do processamento de informação simbólica em Ciência Cognitiva tem sido um desafio crescente para os modelos conexionistas. Mas eles ainda tentam modelar a inteligência como produto de soluções codificadas simbolicamente a problemas expressos por meio de símbolos. Aqui, discutimos a falta de atenção para com as formas em que o agente e o contexto fazem parte do loops de processamento que causam a ação inteligente. © Cien. Cogn. 2011; Vol. 16 (3): 116-131.*

**Palavras-chave:** ciência cognitiva; conexionismo; representação; composicionalidade.

### Abstract

*The symbolic information-processing paradigm in Cognitive Science has been a growing challenge for neural networks models. But, it still tries to model intelligence as the product of symbolically coded products to problems expressed through symbols. Here, it is discussed the absence of attention to the ways in which agent and context take part of the processing cycles that result in the intelligent action. © Cien. Cogn. 2011; Vol. 16 (3): 116-131.*

**Keywords:** cognitive science; connectionism; representation; compositionality.

### Introducción

En los últimos treinta años, la Ciencia Cognitiva ha sufrido un reto creciente desde los modelos de redes neuronales ante el enfoque teórico previo representado por el paradigma de

---

<sup>✉</sup> - M.I. Mikeleiz - E-mail para correspondência: [iza@uma.es](mailto:iza@uma.es).

procesamiento de información simbólico. La mayoría de este crecimiento procede del campo empírico desarrollado por los neuropsicólogos, quienes han obtenido imágenes detalladas de los patrones deficitarios de los sistemas cognitivos como resultado del daño cerebral, y quienes pedían que los modelos y teorías propuestos para el funcionamiento normal sean capaces de comprender tales hallazgos (Cummins, 1989; von Eckardt, 1993; Jeannerod, 2006). Los modelos de redes neuronales han realizado su aportación ya que están contruidos a partir de un “sustrato computacional” que se puede perturbar de forma transparente, lo que permite ir fallando en la ejecución de un modo gradual. En general, este mismo terreno ha sido la piedra angular para el enfoque simbólico tradicional, ya que tales modelos no pueden ser obviamente modificados de manera gradual (Clark, 1989, 1993; Franklin, 1995; McClelland & Rumelhart, 1986; Smolensky, 1988).

Además, si pedimos al investigador que ayude a explicar la codificación y uso del lenguaje por el organismo físico, esto es, realizar una correlación entre función y anatomía, los límites de las disciplinas previas no se ven tan claros (Johnson-Laird, 1994; van Gelder, 1990; Moorhouse & Barry, 2004). En este nuevo marco, la computación puede jugar un papel crucial (Ajjanagadde & Shastri, 1991; Clark, 1997; Dennett, 1996). Anteriormente, los modelos de ordenador de los procesos del lenguaje normal han tratado desde descripciones cognitivas el problema de la modularidad y los subprocesos implicados en el lenguaje (Fodor, 1975, 1983; Fodor & Pylyshyn, 1988; Pylyshyn, 1984). Más recientemente, estos métodos han sido utilizados dentro de las restricciones impuestas por la cognición y la neurociencia, particularmente con respecto a los trastornos del lenguaje. Una determinada descripción computacional de una tarea de procesamiento del lenguaje debe ahora dar cuenta tanto de las restricciones cognitivas (*e.g.*, espacio de memoria y límites de tiempo) como de las neuroanatómicas (*e.g.*, déficit en la denominación de animales pero no en la denominación de herramientas como sucede en algunos daños cerebrales por encefalitis).

En este trabajo, vamos a tratar con detalle algunos datos neuropsicológicos y su relevancia para la teoría psicológica. Por ejemplo, los modelos conexionistas de dos subcomponentes del proceso de deletreo tratan de explicar, más que describir, la evidencia neuropsicológica relevante. Pero, estos modelos operan de forma serial, y así caen dentro del dominio que ha sido una virtud del modelamiento simbólico. Por tanto, el fuerte apoyo neuropsicológico que emerge de tales modelos es de un particular interés: si la promesa que muestra la investigación conexionista en comprender la cognición deficitaria puede ser ampliada al problema de la conducta serial en un contexto.

Un caso interesante puede ser el descubrimiento de la existencia de neuronas espejo que responden al emitir y observar el mismo acto motor (Rizzolatti & Craighero, 2004), donde se ha propuesto que las representaciones codificadas por estas neuronas pueden relacionarse con inferencias jerárquicas Bayesianas sobre estados del mundo que generan señales sensoriales (véase, Grafton & Hamilton, 2007; Tani, Ito & Sugita, 2004). En estos marcos, las neuronas espejo representan intenciones motoras (objetivos) y generan predicciones sobre las consecuencias propioceptivas y exteroceptivas (*e.g.*, visuales) de la acción, sin ser respectivamente del agente (uno mismo u otro). Este papel representacional de las neuronas espejo puede explicar por qué parecen poseer las propiedades de unidades motoras y sensoriales en diferentes contextos. Ello se debe a que el contenido de la representación (acción) es el mismo en diferentes contextos (‘agency’). Así, la idea de que las neuronas representan las causas del input sensorial también subyace a la codificación predictiva (las representaciones neuronales son utilizadas para realizar predicciones, que son optimizadas durante la percepción al minimizar el error de esta predicción) y la inferencia activa (la acción intenta satisfacer estas predicciones al minimizar el error de predicción).

sensorial, por ejemplo, propioceptivo). Este enfoque de la acción sugiere que las neuronas espejo emergen naturalmente en un agente que actúa en su medio para evitar eventos sorpresa

### **El enfoque neurocomputacional**

Antes de 1970, la neuropsicología era un tema que esencialmente interesaba sólo a los clínicos. En ese tiempo, la neuropsicología cognitiva empezaba a desarrollarse de modo bastante diferente desde el dominio de la práctica. Las diferencias hacían referencia a la intención general de la investigación, su paradigma teórico y su práctica empírica. El paradigma teórico empleado principalmente en la neuropsicología cognitiva era el enfoque de procesamiento de la información, que se había desarrollado en la psicología cognitiva durante la década anterior. De forma idealizada, las rutas de transmisión que no llevaban a cabo el procesamiento verbalmente especificado entre subsistemas conectados o la producción de representaciones.

Como complemento de este nuevo enfoque teórico hubo un viraje en el enfoque empírico. Los hallazgos experimentales considerados óptimos u obligatorios no fueron más la ejecución media de un gran grupo de pacientes mayoritariamente similares, sino los resultados de estudios de caso detallados en pacientes individuales. Esto difería de su precursor previo al estar basado en paradigmas experimentales cuantitativos de la psicología cognitiva. Se asumía que el enfoque iba a proporcionar información privilegiada sobre la estructura del sistema cognitivo a través del análisis de déficits altamente selectivos en pacientes que exhiben determinadas características, en particular la denominada disociación “clásica” o “fuerte” (Ellis & Young, 1992; Shallice, McLeod & Lewis, 1985).

La cuestión del análisis empírico se acopla perfectamente con el del procesamiento de la información. En teoría, existen muchos modos diferentes en los que la disociación, o mejor dicho una doble disociación, deberían ser explicadas. En la práctica, el supuesto de que surgen a partir de un daño selectivo en un conjunto de subsistemas dentro de un sistema de procesamiento de información, funcionaba bien. Aparentemente, la razón de que este enfoque funcionaba era porque el sistema cognitivo, o al menos parte de él, es en un amplio sentido modular. En este caso, la disociación (clásica) proporcionaba una visión privilegiada de la estructura modular.

Actualmente, como veremos posteriormente, la modularidad como un supuesto básico de explicación está siendo cuestionado, para algunos aspectos de la conducta, por los modelos conexionista que no son obviamente fáciles de manejar en la descomposición modular, al menos en algunos niveles de explicación (Parker, Dennington & Backmore, 2003). A priori, el rango de tipos de conducta que ocurren cuando un determinado modelo conexionista es dañado sería enorme. En este caso, la observación de un paciente cuya conducta estuviera dentro del rango no proporcionaría un apoyo fuerte para el modelo. Es más, la relación entre la naturaleza del modelo y su ejecución cuando se lesionaba podría ser bastante opaca, de tal modo que la disociación neuropsicológica perdería su cualidad heurística. Existen problemas adicionales a aquellos que frecuentemente se postulan contra el modelamiento conexionista, tales como que el número de variables que necesitan ser “codificadas a mano” hacen que una confrontación del modelo con los datos empíricos sea más parecida a un ajuste de curva que a una comprobación de la teoría (véase, Zielasek & Gaebel, 2009).

Sin embargo, esto sugiere que los dos niveles de apoyo de un modelo conexionista serían proporcionados por evidencia neuropsicológica. El primero ocurriría cuando el rango de distintas conductas posibles que pueden resultar teóricamente de una “lesión” es grande. Entonces, la existencia de un paciente cuya ejecución encaje con uno de los teóricamente estados “lesionados” posibles no sería de interés a menos que existan otras clases de modelos que no predicen la existencia de la conducta. El segundo es donde las variaciones en el tipo y

tamaño de la lesión producen pocas diferencias cuantitativas en la conducta esperada del modelo. Aquí, la observación de la conducta proporciona un apoyo fuerte para el modelo si lesionando otras clases de modelo no tiene el mismo conjunto restringido de conductas esperadas.

El supuesto implícito del argumento anterior es que el conjunto de conductas dañadas que un modelo conexionista puede producir cuando se lesiona es mayor que su conjunto de conductas ilesas. Y la observación de la ejecución dañada después de una lesión es menos útil para la comprobación del modelo que la observación de la conducta normal. Este supuesto puede llegar a ser incorrecto. Teóricamente, una red conexionista, al menos una red multi-capas no-recurrente, puede ser considerada como un mecanismo para imitar una particular transformación input-output. Así, la observación que la conducta de una red multi-capas no-recurrente proporciona un buen ejemplo de la conducta humana observada es poco más que la realización concreta de la perspectiva que acabamos de presentar. La situación con respecto a la conducta dañada es bastante diferente. No hay razón para asumir que un estimador estadístico ideal de un dominio output, dado un dominio input, podría, cuando se daña, producir un patrón particular de ejecución. De este modo, la observación del patrón es el apoyo directo para la estructura interna del modelo.

Un apoyo empírico para este argumento es el procesamiento de deletreo-a-sonido en la lectura (Colheart, 2005). Aquí, los modelos tanto de variedad conexionista como simbólica dan una buena cuenta de los datos existentes (Plaut, 2005). Así, la evidencia en la lectura normal de no-palabras, que se mostraban muy problemáticas para la primera generación de modelos conexionistas en este dominio, es fácilmente asumido por los modelos actuales (Lupker, 2005). Sin embargo, la evidencia neuropsicológica ha probado ser mucho más contradictoria. Actualmente, se argumenta que el lector normal no es capaz de leer todas las no-palabras pronunciables a través de únicamente los procesos de operación ortográfico-a-fonológico. La semántica parcial y la mediación pragmática es también un requisito fundamental. Este hecho sugiere que la inferencia neuropsicológica puede ser más útil para distinguir entre diferentes modelos. De hecho, su utilidad puede incluso rivalizar con lo que existía de la generación anterior de los modelos de procesamiento de información clásicos.

Existen muchos ejemplos de activación interactiva o modelos conexionistas que cuando “se lesionan” proporcionan un intento razonable para los síndromes neuropsicológicos encontrados. En otros dominios, donde se conoce poco sobre el espacio de posibles conductas que el modelo conexionista lesionado puede producir, excepto esta parte del espacio que se corresponde con las conductas observadas en pacientes, existen modelos simbólicos alternativos. De este modo, las formas de anomia y disfasia profunda pueden ser modelados en términos de daño en modelos conexionistas que reproducen desde la representación semántica a la fonológica de palabras. En este aspecto existe un modelo simbólico alternativo. Sin embargo, existe un dominio donde los conjuntos de conductas posibles que siguen a las “lesiones” son pocos y bien descritos empíricamente y no existe un modelo simbólico alternativo posible. Este es el dominio de las representaciones ortográficas-a-semánticas, donde las lesiones en un rango de modelos conexionistas de tipo “atractor” dan lugar a un conjunto de conductas que se corresponden con el síndrome de “dislexia profunda”.

Así, un caso razonable puede ser respecto a la utilidad de los datos neuropsicológicos en dominios donde el procesamiento es considerado como el emparejamiento desde un único patrón input a un único output. Es decir, encajaría de forma precisa con la concepción fodoriana modular de la mente. Sin embargo, el problema surge si este tipo de módulos tienen que tratar con diferentes tipos de input y output, o, incluso, con diferentes tipos de procesamiento interno.

## Multi-módulos

Según Fodor, algunas funciones del cerebro son modulares (*e.g.*, percepción, adquisición del lenguaje, procesamiento del lenguaje). Otras funciones no son modulares pero están controladas por un sistema de procesamiento central. Los módulos mentales están caracterizados como específicos de dominio, rápidos, automáticos, innatos, inaccesibles, cerrados informativamente y ejecutados en una arquitectura neuronal específica.

Aunque la modularidad de la mente es una teoría muy popular entre los científicos cognitivos, no es aceptado por todos ellos. Se acepta que el cerebro tiene sistemas especializados, como el córtex visual. Pero queda la cuestión de si son módulos y, en su caso, se acomodan a los criterios de Fodor (*e.g.*, inaccesibles, encapsulados, etc.).

Una alternativa a la modularidad es que las áreas del cerebro poseen especializaciones, algunas innatas y algunas adquiridas, pero muchas áreas pueden contribuir en más de un proceso funcional y puede darse una comunicación importante entre diferentes sistemas funcionales. Algunas evidencias contrarias a la modularidad son: (i) la plasticidad del cerebro: cuando una región del cerebro está dañada, otra región puede a menudo reemplazar su función (especialmente en un cerebro muy joven); (ii) la aparente comunicación entre módulos: algunas veces conocer algo afecta a la percepción; leer los labios mientras hablan puede ayudar a oír las palabras con mayor claridad<sup>2</sup>; o el conocimiento o esfuerzo consciente puede alterar la percepción visual.

En consecuencia se han planteado tres posibilidades: (i) la mente no es modular; (ii) los sistemas de bajo nivel son modulares (*e.g.*, sistemas perceptivos), pero los sistemas de alto nivel no son modulares (opinión de Fodor); (iii) la mente es masivamente modular.

La modularidad masiva, defendida por autores como Stephen Pinker, considera que la mente está completamente compuesta de módulos y el ‘sistema de procesamiento central también es modular’. Muchos científicos cognitivos están de acuerdo con que la mente es modular pero el debate se centra en cuántos módulos existen y cuál es su grado de especialización.

Se han propuesto módulos tan dispares como aritmética aproximada, lógica, ‘lectura de mente’ (*Mind Reading*), cheater detection, historia natural, juicio probabilístico, etc. Aún y todo, una cuestión controvertida sería si existe un módulo para la adquisición del lenguaje (LAD – *language acquisition device*, propuesto por Noam Chomsky) o incluso algún diferente lenguaje del pensamiento (LOT – *language of thought*, propuesto por Jerry Fodor).

Utilizamos representaciones lingüísticas de conceptos cuando hablamos o escribimos. Tanto en lenguaje como en imágenes los símbolos representan información. Los ordenadores también utilizan símbolos (*e.g.*, 10010) para representar información. Nos podemos plantear si nuestros cerebros también utilizan representaciones y, si es así, de qué tipo, lingüísticas, pictóricas o en forma de mapas (véase, *e.g.*, Churchland, 1981).

Incluso se han planteado diferentes tipos de representación para diferentes usos: (i) el sistema visual interpreta el input como representaciones parecidas a imágenes; (ii) el sistema somatosensorial genera mapas del cuerpo. Pero, ¿qué hay del contenido intencional? ¿cómo está representado en el cerebro?

El contenido mental intencional es contenido mental sobre algo (“Creo que esto es una pluma”; ‘esto’ y ‘pluma’ y su relación como referencia denotativa). Sólo las representaciones tienen intencionalidad (la palabra ‘pluma’, o una imagen de una pluma es sobre algo). La teoría representacional de la mente mantiene que todos los estados mentales son intencionales (son sobre algo). Las creencias, deseos, miedos, percepciones, imaginaciones, memoria, incluso alucinaciones, son todos sobre algo (la imaginación y las alucinaciones pueden ser

sobre algo que no existe; así pueden ser sobre conceptos o ideas más que sobre objetos). Son estados mentales intencionales.

Pero, ¿cómo son los estados mentales intencionales representados en el cerebro? (a) pensamientos representados como imágenes; (b) no existe representación, pensamientos como estados cerebrales; (c) pensamientos como representaciones quasi-lingüísticas.

Algo semejante ocurre si nos planteamos de dónde surge la semántica: (a) el significado es uso (Wittgenstein); (b) una teoría causal del significado (un símbolo es significativo porque ha sido causado por el objeto que representa); (c) la teoría inferencial del significado (una símbolo es significativo por virtud del papel que juega en el pensamiento).

Incluso algunos autores mantienen una teoría híbrida donde comenzamos con un sistema básico parecido al lenguaje con pocos conceptos simples. Al aprender un lenguaje natural, desarrollamos mayores habilidades lingüísticas y desarrollamos la gran mayoría de conceptos. Con lo que se concluye que las personas piensan en su lenguaje natural. Planteamientos de este tipo parecen sugerir que todo depende del nivel de análisis explicativo adoptado.

## Niveles de análisis

El término ‘análisis funcional’ refiere a teorías abstractas como ‘enfoques globales’, y mantienen que las únicas ciencias que están actualmente proporcionando explicaciones funcionales globales de las células del cerebro son ciencias tales como la psicología. Precisamente, las afirmaciones sobre la localización del lenguaje en el cerebro son conceptualmente dependientes de, y no tienen sentido en la ausencia de, la teoría abstracta de –por ejemplo, un modelo de procesamiento de la información de– cómo el procesamiento del lenguaje es llevado a cabo.

El análisis psicolingüista de los trastornos de lectura tiene prioridad sobre los enfoques neuroanatómicos porque, antes de que uno pueda empezar a estudiar la diferencia entre un trastorno de lectura y otro en términos de zonas lesionadas, uno debe definir los trastornos; esto sólo puede ser realizado en términos psicolingüistas.

Existe otro modo en el que el nivel abstracto tiene prioridad sobre el nivel de instanciación física: puede ser muy difícil entender lo que un sistema está realmente haciendo si la única información que tenemos es una descripción al nivel de instanciación física. Una descripción al nivel de teoría abstracta será mucho más esclarecedora. Por el contrario, si uno desea estudiar el nivel de instanciación física, es necesaria una descripción primordial a nivel abstracto; de otro modo, uno no sabrá qué buscar al nivel de instanciación física (como puede argumentarse en relación con los estudios de neuroimagen del lenguaje).

Los argumentos de este tipo son razonables para rechazar la tesis de la neurociencia biológica, que mantiene: (i) la ciencia de la mente es (parte de) la ciencia de las células que constituyen el cerebro. En cambio, podemos abogar por una tesis diferente, que es: (ii) la ciencia de las células que constituyen el cerebro es parte de la ciencia de la mente. Por supuesto, la otra parte de la ciencia de la mente es a nivel (funcional) de la teoría abstracta.

Por ejemplo, en el caso de las teorías de la percepción normalmente vienen a distinguirse dos componentes básicos: los objetos de la percepción y los mecanismos por los que se lleva a cabo dicha percepción. Como discutiremos posteriormente, vamos a centrarnos en el primer componente: el objeto de la percepción. Atendiendo a las teorías de la visión (cfr., Goldstein, 2006; Zeki, 1995), el objeto de la percepción es aquello que se percibe. Si se adopta una perspectiva de realismo directo, el objeto de la percepción inmediata es la existencia independiente del propio objeto físico. Si, en cambio, se adopta una perspectiva de realismo representativo, el objeto inmediato de la percepción sería su contraparte mental del

objeto que existe de forma independiente, que sería el objeto indirecto de la percepción. En cualquier caso, ambas perspectivas pueden considerarse como opiniones realistas. Es decir, la percepción sería la percepción de un objeto que existe de forma independiente. La percepción de un objeto (un libro) en frente de mí es verídico en tanto exista en realidad un libro dentro de mi campo visual. A continuación lo discutiremos con respecto al procesamiento del habla.

## El procesamiento del habla

En el caso de la percepción del habla, se puede asumir de forma intuitiva que una teoría plausible habría de poseer como componente central la identificación de objetos de percepción en términos realistas. Pero, sea intuitivo o no, esto es lo que viene a asumirse. Es decir, muchas de las teorías de la percepción del habla se pueden distinguir por lo que consideran cuales son sus objetos de percepción.

Desde un punto de vista psicológico, existirían además otras dimensiones de comparación entre las diferentes teorías. Por ejemplo, los mecanismos o procesos (modulares) de las percepciones, específicos para el habla o generales para la audición (música).

En cualquier caso, antes de entrar en detalle con teorías particulares, parece relevante señalar un factor general sobre la percepción del habla que viene a constituir una de las principales cuestiones teóricas en este campo. De forma intuitiva, la elección obvia como el objeto de la percepción del habla es la señal acústica del habla. Sin embargo, hay una amplia aceptación que los tipos particulares de sonidos del habla (por ejemplo, los fonemas) no pueden ser especificados en términos acústicos, no al menos de forma sencilla. Según Liberman, Cooper, Shankweiler e Studdert-Kennedy (1967), existe una ausencia marcada de correspondencia entre el sonido y el fonema que se percibe. Este es un hecho crucial de la percepción del habla.

Por consiguiente, no existen unas mínimas propiedades acústicas que se den en todas las percepciones de un fonema (*e.g.*, /s/). Los fonemas se materializan de múltiples formas y son dependientes del contexto con respecto a la señal acústica. Desde el punto de vista psicológico, se dan ciertas propiedades acústicas características que se asocian con sonidos de habla particulares. Sin embargo, estas propiedades pueden minimizarse en el contexto y no podemos llegar a evaluar de forma verídica los resultados perceptivos del habla simplemente atendiendo a las propiedades de la señal acústica.

La solución a la variabilidad acústica de sonidos del habla ha sido identificar los objetos de percepción del habla con algún otro estadio de los procesos de percepción-producción del habla. Por ejemplo, algunas teorías tales como la ‘teoría motora de percepción del habla’ (Liberman & Mattingly, 1985) y la ‘teoría ecológica de percepción del habla’ (Fowler, 1986), argumentan que los objetos de la percepción del habla son los gestos y movimientos articulatorios utilizados para producir sonidos del habla particulares. De acuerdo con esta perspectiva, existiría una única configuración del tracto vocal asociada con cada sonido del habla, y sería este tipo de entidad el que conformaría el objeto inmediato de percepción del habla. Sin embargo, teorías de este tipo permanecen en la especulación. No se ha identificado empíricamente ningún sencillo gesto articulatorio que sirva como condición necesaria o suficiente para percibir fonemas específicos. Así, no es posible evaluar estados perceptivos del habla apelando a la existencia de gestos articulatorios únicos ya que, hasta la fecha, no hay una evidencia empírica directa de que existan.

Otro tipo de teoría de la percepción del habla, la teoría de la invarianza acústica (Stevens & Blumstein, 1978), afirma que los objetos de percepción de habla son después de todo acústico, pero con una propiedad acústica algo más abstracta. Esta teoría ha identificado una propiedad acústica candidata que considera ser el objeto de percepción del habla. Sin

embargo, esta propiedad candidata sólo se da para un único grupo de sonidos del habla (determinadas consonantes) y no está presente todo el tiempo. En particular, solo se ha visto que está presente un 80% de las veces.

La razón de estos abrumadores fallos para identificar empíricamente los objetos de la percepción de habla, después de más de ochenta años de esfuerzos, reside en que el habla es fundamentalmente diferente de la visión: no existen de forma totalmente independiente /s/ en el mundo que percibimos cuando percibimos correctamente una /s/. Más bien, los estados perceptuales del habla parecen poseer cierta esencia fenomenológica. La experiencia perceptiva del habla no puede refutarse apelando a propiedades articulatorias o acústicas ya que los sonidos del habla, como tales, carecen de una existencia independiente en el mundo.

Además, se puede resaltar el hecho de que los estados perceptivos del habla son susceptibles a la influencia de muchos tipos de factores cognitivos de alto nivel. Se ha mostrado que el conocimiento sintáctico y léxico puede influir en la percepción de fonemas particulares. Asimismo, se ha mostrado que también son influyentes otros factores cognitivos no-lingüísticos como las demandas y recursos atencionales. Lo que es importante señalar en todos estos casos es que estos factores cognitivos no influyen solo en nuestra inferencia de que un sonido de habla particular debe haber sido entendido o captado, sino en nuestra experiencia real del sonido. Es esta experiencia, más que los objetos (acústicos o articulatorios) que existen de forma independiente, lo que determina en el contexto experimental qué sonido ha sido emitido. El problema es cómo reconocer a nivel teórico este aspecto del habla. Una aproximación interesante que se ha propuesto últimamente es la inferencia activa.

### **Inferencia activa**

Los seres humanos pueden inferir las intenciones de otros a través de la observación de sus acciones (Frith & Frith, 1999; Grafton & Hamilton, 2007), donde la acción comprende una secuencia de actos o movimientos con un objetivo específico. Se conoce poco sobre este mecanismo que subyace a la ‘lectura mental’ pero un probable candidato es el sistema de neurona-espejo (Rizzolati & Craighero, 2004). Su participación tanto en ejecución de la acción como en observación sugiere que estas neuronas son un posible sustrato para el entendimiento de la acción (Fogassi *et al.*, 2005).

Según Friston (2009), los agentes adaptativos mantienen un equilibrio de baja entropía con su medio. Considerando la entropía como la sorpresa media de determinadas señales sensoriales, bajo el modelo del agente de cómo estas señales fueron generadas. Con lo que el agente intenta hacer es maximizar la evidencia de su modelo del mundo al minimizar la sorpresa. Simplificando sus supuestos, la sorpresa se reduce a la diferencia entre las predicciones del modelo y la sensación recibida (esto es, el error de predicción). Aquí, la acción se corresponde con seleccionar ejemplos sensoriales que se acomodan a las predicciones, mientras la percepción supone optimizar predicciones al actualizar las creencias (condicionales) posteriores sobre el estado del mundo que genera señales sensoriales. Ambos dan como resultado una reducción del error de predicción denominada inferencia activa (Friston, 2009), que, en ausencia de acción, es formalmente equivalente a la acumulación de evidencia en la codificación predictiva (Rao & Ballard, 1998).

Si lo comparamos con los enfoques convencionales del sistema motor, este tipo de inferencia proporciona una perspectiva diferente del cerebro y sus representaciones neuronales. Bajo ella, no existen representaciones distintas sensoriales o motoras, ya que las predicciones propioceptivas son suficientes para alimentar las señales de control motoras. Lo cual obvia la necesidad de representaciones motoras *per se*: las representaciones de alto nivel



codifican creencias sobre el estado del mundo que genera predicciones tanto propioceptivas como exteroceptivas. El control motor y la acción emergen sólo en los niveles más bajos de la jerarquía, al suprimir los errores de predicción propioceptiva; por ejemplo, por los clásicos arcos de reflejo motor.

Siguiendo este esquema, las secuencias complejas de conducta pueden ser prescritas por predicciones propioceptivas, que los sistemas motores periféricos intentan completar. Es decir, el sistema nervioso central trata sólo con inferencia perceptiva sobre los estados ocultos del mundo que causan datos sensoriales. El córtex motor primario no es más ni menos área cortical motora que el córtex (visual) estriado. La única diferencia entre ambos es que uno predice el input retinotópico, mientras que el otro predice el input propioceptivo a partir del plan motor. Bajo esta perspectiva, las neuronas representan tanto causa como consecuencia. Es decir, la inferencia activa induce una causalidad circular que destruye las distinciones convencionales entre representaciones sensoriales (consecuencia) y motoras (causa). Esto significa que al optimizar las representaciones, se da una correspondencia entre percepción o intención, i.e., formar perceptores o intentos.

Durante la acción, esta dinámica itinerante se utiliza para generar y reconocer sucesos, esto es, predecir sensaciones actuales dadas sus causas. Algunos ejemplos obvios son aquellos que codifican el movimiento, la percepción del habla, la lectura o la escritura. Aquí un concepto útil es la noción de un canal heteroclínico estable, que significa, un camino a través del espacio-tiempo que visita una sucesión de puntos fijados (inestables). Estos canales y sus dinámicas itinerantes asociadas son fáciles de especificar en modelos generativos y han sido utilizados para modelar el reconocimiento del habla y canciones (Rabinovich, Huerta & Laurent, 2008). Conceptualmente, pueden ser considerados como codificación de ‘primitivos’ de movimiento dinámicos (Schal, Mohajerian & Ijspeert, 2007; Namikawa & Tani, 2010) o ‘esquemas’ motores y perceptivos (Jeannerod, Arbib, Rizzolatti & Sakata, 1995; Jeannerod, 2006; Arbib, 2005).

Este tipo de modelos son tan complicados como uno pueda llegar a imaginar: comprenden causas y estados ocultos, cuyas dinámicas pueden ser emparejadas con funciones no-lineales (analíticas) arbitrarias. Además, estos estados pueden verse sometidos a fluctuaciones al azar con cambios dependientes del estado en amplitud y funciones de autocorrelación (analíticas) arbitrarias. Un aspecto crucial es su forma jerárquica, que induce claves empíricas en las causas.

Las dinámicas itinerantes pueden ser consideradas como un principio formal sobre causas abstractas en el mundo. Por ejemplo, puede traducirse en movimientos físicos a través de la mecánica clásica de Newton, que se corresponde con estados físicos del modelo. Estas trayectorias son causadas por representaciones neuronales de estados (*attractors*) abstractos y causan estos estados en el sentido que son expectativas condicionales. De este modo, cerrando el círculo, se asegura una sincronía entre expectativas internas y resultados externos. En suma, la inferencia activa sugiere una implementación biológica del control motor que: (i) realiza predicciones comprobables sobre respuestas conductuales y neurofisiológicas; (ii) proporciona soluciones sencillas a problemas de control motor complejo, esclavizando la acción a la percepción; y (iii) es consistente con lo que se conoce sobre la organización del sistema de neuronas-espejo: las mismas respuestas serían observadas en las mismas poblaciones neuronales responsables de generar predicciones y que conducen dicha conducta durante la acción.

## Inferencia activa y control motor

Bajo el enfoque de inferencia activa, el cerebro no representa de forma separada actos motores intencionados o las consecuencias perceptivas de esos actos; los constructos representados en el cerebro son tanto intencionales como perceptivos. Son inferencias amodales sobre los estados del mundo que generan datos sensoriales que tienen tanto correlatos motores como sensoriales, dependiendo del contexto en que se realizan. Las predicciones generadas por estas representaciones son específicas de modalidad, prescribiendo tanto predicciones exteroceptivas (e.g., visuales) como interoceptivas (e.g., propiocepción), que completan la acción. La segregación funcional de córtex motor y sensorial podría ser considerada como una descomposición jerárquica, en el modelo del cerebro de su mundo, que proporciona predicciones que son principalmente sensoriales (e.g., córtex visual) o propioceptivas (córtex motor y premotor). Si lo consideramos como cierto, las representaciones de alto nivel pueden ser utilizadas para proporcionar predicciones en modalidad visual o propioceptiva, dependiendo del contexto en el que se realizan.

Estas ideas pueden ser vistas como una perspectiva Bayesiana genérica (energía-libre) en un esquema conexionista. Por ejemplo, utilizando experimentos en robótica, Tani *et al.* (2004) muestra que múltiples esquemas conductuales pueden ser aprendidos por redes neuronales recurrentes de un modo jerárquico y distribuido. Los sesgos (paramétricos) jerárquicos en la red juegan un papel esencial tanto al generar como al reconocer patrones de conducta: actúan como un sistema espejo por medio de auto-organizar estructuras de memoria adecuadas.

En la bibliografía sobre control motor, también se han propuesto varios enfoques de modelos hacia-adelante (*forward*) e inversos en la observación de la acción (Wolpert, Doya & Kawato, 2003; Flanagan, Vetter, Johansson & Wolpert, 2003; Miall, 2003; Keyser & Perrett, 2004). Aquí, la habilidad motora reside en que el cerebro aprende a controlar el cuerpo y a predecir las consecuencias de este control. La predicción convierte los comandos motores en consecuencias sensoriales esperadas, mientras que el control convierte las consecuencias deseadas en comandos motores. Para capturar esta simetría, los procesos neuronales que subyacen a la predicción y al control son replicados respectivamente por modelos internos hacia-adelante e inversos (Flanagan *et al.*, 2003). Asimismo, Wolpert *et al.* (2003) discuten estos modelos en relación a la imitación: aquí la lógica es que el modelo inverso (que empalma desde consecuencias sensoriales a comandos motores) puede ser utilizado como un modelo de reconocimiento para inferir la causa de una acción observada. Una vez la causa es inferida la acción puede ser imitada.

Sin embargo, estas propuestas para los modelos hacia-adelante e inversos en imitación e interacciones sociales (Wolpert *et al.*, 2003) son formalmente muy diferentes de la inferencia activa y los esquemas conexionistas relacionados (Tani *et al.*, 2004). En el caso de la inferencia activa (y la codificación predictiva), no existen modelos inversos o controladores; un modelo generativo que mapea desde la intención (causa) a la sensación (consecuencia) es invertido al suprimir el error de predicción. Si esta supresión llama a la acción, entonces la intención es la acción generada. Si no, la intención (de otra) es reconocida. La inversión implícita depende de la auto-organización, intercambio recíproco de señales entre niveles jerárquicos del modelo generativo del cerebro (Tani *et al.*, 2004). Donde la inferencia activa no invoca alguna ‘consecuencia deseada’, sino que permanece en la inferencia y el aprendizaje dependiente de la experiencia (experiencia que induce expectativas prioritarias, que guían la inferencia perceptual y la acción).

Este tipo de esquema es una extensión formal de la hipótesis de punto de equilibrio que sugiere que la acción y percepción son acomodadas en un marco espacial común de referencia

(Feldman, 2009). Se generalizan los ‘puntos de equilibrio’ para cubrir ‘trayectorias’ a través del uso de movimiento generalizado (codificación predictiva generalizada). Desde la perspectiva de inferir las intenciones motoras de otros, la codificación predictiva generalizada tiene una implicación interesante y curiosa a la vez. Sugiere que un agente sólo será capaz de predecir (en el sentido generalizado o anticipatorio) las trayectorias o intenciones de otro, si el agente observado tiene el mismo tipo de aparato motor. Es decir, uno será mejor al inferir la conducta pretendida de los co-específicos o coetáneos, ya que las predicciones exteroceptivas están basadas en un modelo verídico del aparato motor del otro. Lo cual no quiere decir que no podamos predecir la conducta de otras criaturas; sin embargo, es improbable que las neuronas implicadas muestren neuronas espejo como propiedades, ya que no pueden predecir nuestros propios *inputs* propioceptivos. Lo que puede proporcionar una predicción empírica bastante interesante: uno esperaría menores respuestas erróneas al observar el mismo movimiento biológico en agentes que son como nosotros y/o, quizás también, en agentes diferentes a nosotros (véase, Miura *et al.*, 2010).

## Discusión

Casi todas las discusiones sobre el problema de la percepción en Ciencia Cognitiva giran en torno a la percepción visual, lo cual trae como consecuencia que la visión ha sido normalmente considerada como el modelo ideal de todos los tipos de percepción. Un caso paradigmático de esta perspectiva puede observarse en los trabajos que intentan argumentar el surgimiento y operaciones de la conciencia a partir del ligamiento (*binding*) de percepciones visuales con representaciones icónicas almacenadas en nuestra memoria a largo plazo (Jacob & Jeannerod, 2003; Jeannerod, 2006).

Sin embargo, este énfasis en la percepción visual provoca cierta influencia negativa en el estudio de otros tipos de percepciones (auditivas, táctiles,...). Por ejemplo, no se ha avanzado mucho en la explicación de la relación que puede establecerse entre lenguaje y conciencia. Esto es, la interacción que puede darse entre ambos en el proceso de adquisición de una o más lenguas (*e.g.*, conciencia fonológica). A este respecto, parece bastante problemático asumir que el marco teórico adoptado en el caso de la percepción visual pueda ser aplicado sin más al caso de la percepción del habla. Aparte de algunas analogías extravagantes no parecen existir muchas similitudes entre ambos tipos de percepción.

El problema, en este sentido, atañe a si se puede determinar de forma independiente la existencia de un ‘objeto’. Es decir, si podemos llegar a distinguir casos reales de casos irreales o alucinaciones. Esta distinción puede llegar a matizarse, de cierta manera en casos presenciales, para los procesos de percepción visual pero, no parece estar muy claro para el caso del procesamiento del habla. Así, en la percepción del habla no se postula una entidad objetiva, independiente, que nos pueda servir para confirmar o refutar nuestra propia experiencia perceptiva.

En el caso del habla, la explicación en general no recurre al problema de la experiencia<sup>1</sup>, más que como último reducto de conocimiento. Lo cual da lugar a resultados y explicaciones un tanto sorprendentes; con sus propias implicaciones para las teorías filosóficas y psicológicas que han surgido actualmente en torno a la percepción.

Finalmente, los límites previos entre las diferentes disciplinas van difuminándose a la hora de explicar la codificación y uso del lenguaje por parte del agente, por ejemplo, cuando al investigador se le pide que realice una correlación entre función y anatomía. En este marco, la noción de computación puede jugar un papel crucial. Como vimos antes, los modelos de cómputo de los procesos de lenguaje han tratado los temas de modularidad y subprocesos implicados en el lenguaje a un nivel de descripción cognitivo. Recientemente, estos métodos

han sido utilizados dentro de las restricciones tanto a nivel cognitivo como de neurociencia, en particular con respecto a los trastornos del lenguaje. A este respecto, una descripción computacional de una tarea de procesamiento del lenguaje debe dar cuenta de las restricciones cognitivas (*e.g.*, espacio de memoria y limitaciones de tiempo) y de las neuroanatómicas (*e.g.*, datos neuropsicológicos del trastorno en denominación de animales) que se suceden a lo largo de determinados contextos.

Como vimos en las simulaciones sobre inferencia activa, las dinámicas itinerantes (atravesadas, ‘atractor’) como codificación de intenciones motoras (trayectorias motoras anticipadas o esperadas), consideran su papel durante la observación de la acción como consecuencia de su papel al especificar la conducta. Sin embargo, desde una perspectiva del desarrollo neuronal puede ser verdad justo lo contrario. Es decir, la forma y estructura de estas redes neuronales ‘atravesadas’ pueden ser optimizadas durante el aprendizaje dependiente de la experiencia al observar a otros (Lee, Foeley, Rodney, Cherney & Small, 2010; Del Giudice, Manera & Keysers, 2009). Atendiendo a los inputs propioceptivos uno puede ver cómo el aprendizaje para actuar a través de la imitación podría explotar el papel amodal de las representaciones de alto nivel (intencionales). Está claro que esto depende de las representaciones que predicen las consecuencias visuales del movimiento (de otros). Las neuronas en el surco temporal superior responden selectivamente a movimientos biológicos (Grossman *et al.*, 2000), tanto en monos como en humanos. Estas neuronas no son neuronas espejo porque no descargan durante la ejecución de la acción. En cualquier caso, a menudo son consideradas como parte del sistema de neuronas-espejo.

Hemos intentado describir tales simulaciones de forma un tanto simplista para resaltar las ideas subyacentes. Hay muchas cosas que se podrían plantear para hacer estas simulaciones más realistas; por ejemplo, utilizando una jerarquía de canales heteroclínicos estables (véase Tani *et al.*, 2004; Kiebel, Daunizeau & Friston, 2009) y proporcionando pistas contextuales o atencionales explícitas sobre si uno está observando su propio cuerpo o el de otro. Sin embargo, los resultados pueden no cambiar mucho e, incluso bajo esta perspectiva, existe un emparejamiento bastante fácil con lo que se conoce sobre neurobiología. Por ejemplo, se podría asociar las dinámicas que codifican secuencias motoras itinerantes con neuronas prefrontales (*e.g.*, el área de Broca).

En el caso del papel exacto del área de Broca en la red de representación de acciones no está nada claro. Las investigaciones neuropsicológicas señalan que los déficits en afásicos de Broca no están limitados a producción y comprensión del lenguaje. Estos pacientes también reconocen con dificultad gestos y pantomimas. Por ejemplo, Saygin, Wilson, Dronkers y Bates (2005) mostraron que los afásicos tenían dificultades en una tarea de emparejamiento imagen-acción, y que este déficit en comprensión de la acción no-lingüística estaba asociado con lesiones en el giro frontal inferior, en el giro precentral y postcentral y en el núcleo caudado. Este resultado encaja con la contribución del área de Broca, en asociación con la red motora, para las representaciones de acciones, tanto si son construidas a partir de claves internas o externas.

En este sentido, varios investigadores ya han resaltado que la misma forma de trayectorias itinerantes utilizadas para predecir secuencias motoras complejas, podría también estar implicadas en la predicción del habla y la visión (Jeannerod, 2006). En este último caso, los estados ocultos del movimiento biológico pueden corresponderse con poblaciones neuronales en el complejo V5 y el surco temporal superior (Takahashi *et al.*, 2008).

Por el contrario, Pulvermüller (2005) proponía una interpretación diferente de la activación motora que estaba inducida por palabras de acción. Esta activación no es una consecuencia de las relaciones de las palabras con una acción potencial. Más bien, está intrínsecamente enlazado con el procesamiento de su significado (Pulvermüller, 2005). Un

argumento importante era que la activación del sistema motor sucedía rápidamente durante la presentación de las palabras. Los estudios que utilizan potenciales relacionados con eventos (ERP, técnica con una alta resolución temporal) muestran que los procesos léxico-semánticos (*e.g.*, que reflejan la diferencia entre categorías de palabras) ocurren dentro de los 100-200 ms., después de la presentación de las palabras (*e.g.*, Sereno, Rayner & Posner, 1998). Tal rapidez indica que el procesamiento ‘motor’ de palabras de acción tenga la probabilidad de ser completamente automático, lo que es compatible con el rasgo típico del procesamiento psicolingüístico que no requiere esfuerzo (*e.g.*, la activación de inferencias elaborativas durante la lectura de palabras de acción (barrer) o de sustantivos (escoba)). Esta perspectiva introduce a la semántica en la red motora de una forma distinta a la que mantiene la simulación motora como una fuente de entendimiento del lenguaje. De acuerdo con este autor, la activación motora somatotópica ocurre durante el procesamiento de la acción debido a los enlaces entre una acción y las palabras correspondientes que son activamente creados durante el periodo de aprendizaje del lenguaje. En el córtex, el programa motor y la representación neuronal de la palabra son por tanto activados casi simultáneamente, de tal modo que las conexiones sinápticas entre las neuronas en áreas específicas premotoras y motoras y aquellas en las áreas del lenguaje se fortalecen (Pulvermüller, Shtyrov & Ilmoniemi, 2005). Esta hipótesis supone un cambio de perspectiva entre la mutua influencia del lenguaje y la acción, donde la comprensión del lenguaje se considera el resultado de un proceso de aprendizaje que asocia una palabra y una acción dentro de una red específica, y no como un proceso que simula la acción que se ve u oye.

Esta misma idea podría ser extendida a otras categorías lingüísticas. Por ejemplo, las palabras que designan rasgos visuales de objetos se asociarían con una activación específica de aquellas áreas visuales donde estos rasgos son procesados. Si este fuera el caso, las palabras de acción sólo serían una categoría más entre otras y no un caso especial. De algún modo, la noción de conocimiento específico de categoría es actualmente utilizada en neuropsicología para dar cuenta de los déficits al reconocer y denominar objetos de una determinada categoría, a partir de lesiones localizadas del sistema visual (*e.g.*, Shallice, 1988; Shallice, Burgess, Schon & Baxter, 1989). En el caso de sujetos normales, Martin, Wiggs, Ungerleider & Haxby (1996) encontraron que la denominación de objetos de diferentes tipos presentados visualmente activaba áreas cerebrales diferentes. En el caso de objetos vivos (animales) se activaba un área en la región occipital media, mientras que en el caso de herramientas se activaba el córtex premotor y un área en el giro temporal medial. En consecuencia, la percepción de una palabra activaría automáticamente el mecanismo para reconocer e identificar su correspondiente realidad (motora, visual, emocional, etc.). Queda por ver si estas consideraciones representan una posible base para una teoría generalizada de la simulación sobre la comprensión del lenguaje y el almacenamiento de conocimiento. Y por último, si darían lugar a un tipo de representaciones ‘dinámicas’ que no serían en realidad más que meras inferencias activas enfocadas por su contexto.

## Referencias

- Ajjanagadde, V.; Shastri, L. (1991). Rules and variables in neural nets, *Neural Computation* 3, 121-134.
- Arbib, M.A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: an evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, 28, 105-167.
- Churchland, P. (1981) “Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes”. *The Journal of Philosophy*, 78 (2), 67-90,
- Clark, A. (1989). *Microcognition*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Clark, A. (1993). *Associative engines*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Clark, A. (1997). *Being there*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Colheart, M. (2005). Modelling reading: the dual-route approach. Em: Snowling, M.J.; Hulme (eds), *The science of reading*, (pp. 6-23). Oxford: Blackwell.
- Cummins, R. (1989). *Meaning and mental representation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Del Giudice, M.; Manera, V.; Keyesers, C. (2009). Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons. *Developmental Science*, 12 (2) 350-363.
- Dennett, D.C. (1996). *Kinds of minds*. NY: Basic Books.
- Ellis, A.W.; Young, A.W. (1992). *Human cognitive neuropsychology*. London: LEA.
- Feldman, A.G. (2009). New insights into action-perception coupling. *Experimental Brain Research*, 194 (1), 39-58.
- Flanagan, J.R.; Vetter, P.; Johansson, R.S.; Wolpert, D.T. (2003). Prediction precedes control in motor learning. *Current Biology*, 13 (2), 146-150.
- Fodor, J.A. (1975). *The language of thought*. NY: Crowell.
- Fodor, J.A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fodor, J.A.; Pylyshyn, Z. (1988). Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*, 28, 3-71.
- Fogassi, L.; Ferrari, P.F.; Gesierich, B.; Rozzi, S.; Chersi, F.; Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 308, 662-667.
- Fowler, C.A. (1986). An event approach to the study of speech perception from a direct-realist perspective. *Journal of Phonetics*, 14, 3-28.
- Franklin, S. (1995). *Artificial minds*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Friston, K. (2009). The free-energy principle: a rough guide to the brain. *Trends in Cognitive Science*, 13 (7), 293-301.
- Frith, C.D.; Frith, U. (1999). Interacting minds – a biological basis. *Science*, 286, 1692-1695.
- Goldstein, E.B. (2006). *Sensation and perception*. Sixth edition. Madrid: Thomson
- Grafton, S.T.; Hamilton, A.F. (2007). Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human Movement Science*, 26 (4), 590-616.
- Grossman, E.; Donnelly, M.; Price, R.; Pickens, D.; Morgan, V.; Neighbor, G.; Blake, R. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 711-720.
- Hofstadter, D; Fluid Analogies research Group (1995). *Fluid concepts and creative analogies*. NY: Basic Books.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Jeannerod, M.; Arbib, M.A.; Rizzolatti, G.; Sakata, H. (1995). Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neuroscience*, 18 (7), 314-320.
- Jacob, P.; Jeannerod, M. (2003). *Ways of seeing*. Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P.N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50, 189-209.
- Keyesers, C.; Perrett, D. (2004). Demystifying social cognition: a Hebbian perspective. *Trends in Cognitive Science*, 8, 501-507.
- Kiebel, S.J.; Daunizeau, J.; Friston, K.J. (2009). Perception and hierarchical dynamics. *Front Neuroinformatics*, 3, 20.
- Lee, J.; Fowler, R.; Rodney, D.; Cherney, L.; Small, S.L. (2010). IMITATE: an intensive computer-based treatment for aphasia based on action observation and imitation. *Aphasiology*, 24 (4), 449-465.
- Lieberman, A.M.; Cooper, F.S.; Shankweiler, D.P.; Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74 (6), 431-461.

- Liberman, A.M.; Mattingly, I.G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1-36.
- Lupker, S.J. (2005). Visual word recognition: theories and findings. Em: Snowling, M.J.; Hulme, C.H. (eds), *The science of reading*, (p.p 39-60). Oxford: Blackwell.
- Martin, A.; Wiggs, C.L.; Ungerleider, L.G.; Haxby, J.V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379, 649-652.
- McClelland, J.L.; Rumelhart, D.E. (eds.) (1986). *Parallel distributed processing*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Miall, R.C. (2003). Connecting mirror neurons and forward models. *Neuroreport*, 14 (17), 2135-2137.
- Miura, N.; Sugiura, M.; Takahashi, M.; Sassa, Y.; Miyamoto, A; Sato, S.; Horie, K.; Nakamura, K.; Kawashima, R. (2010). Effect of motion smoothness on brain activity while observing a dance: An fMRI study using humanoid robots. *Soci Neuroscience*, 5 (1), 40-58.
- Moorhouse, M.; Barry, P. (2004). *Bioinformatics, biocomputing and Perl*. Chichester, Sussex: Wiley.
- Namikawa, J.; Tani, J. (2010). Learning to imitate stochastic time series in a compositional way by chaos. *Neural Network*, 23 (5), 625-638.
- Parker, A.; Dennington, A.; Backmore, C. (2003). *The physiology of cognitive processes*. Oxford: Oxford University Press.
- Plaut, D.C. (2005). Connectionist approaches to reading. In M.J. Snowling & Ch. Hulme (eds), *The science of reading*, (pp. 24-38). Oxford: Blackwell.
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 576-582.
- Pulvermüller, F.; Shtyrov, Y.; Ilmoniemi, R.J. (2005). Brain signatures of meaning Access in action Word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 884-892.
- Pylyshyn, Z. (1984). *Computation and cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rabinovich, M.; Huerta, R.; Laurent, G. (2008). Neuroscience. Transient dynamics for neural processing. *Science*, 321 (5885), 48-50.
- Rao, R.P.; Ballard, D.H. (1998). Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive fields effects. *Natural Neuroscience*, 61 (2), 79-87.
- Rizzolatti, G.; Craighero, L. (2004). The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Saygin, A.P.; Wilson, S.M.; Dronkers, N.F.; Bates, E. (2005). Action comprehension in aphasia: linguistic and non-linguistic deficits and their lesion correlates. *Neuropsychologia*, 42, 1788-2004.
- Schal, S.; Mohajerian, P.; Ijspeert, A. (2007). Dynamic systems vs. Optimal control: a unifying view. *Program Brain research*, 165, 425-445.
- Sereno, S.C.; Rayner, K.; Posner, M.I. (1998). Establishing a time line for Word recognition: evidence from eye movements and event related potentials. *Neuroreport*, 13, 2195-2200.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shallice, T.; Burgess, P.W.; Schon, F.; Baxter, D.M. (1989). The origins of utilization behaviour. *Brain*, 112, 1587-1598.
- Shallice, T.; McLeod, P.; Lewis, K. (1985). Isolating cognitive modules with the dual-task paradigm: Are speech perception and production separate processes? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 507-532.
- Stevens, K.N.; Blumstein, S.E. (1978). Invariance cues for place of articulation in stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1358-1368.

- Smolensky, P. (1988). On the proper treatment of connectionism. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 1-23.
- Takahashi, H.; Shibuya, T.; Kato, M.; sassa, T.; Koeda, M.; Yahata, N.; Suhara, T.; Okubo, Y. (2008). Enhanced activation in the extrastriate body área by goal-directed actions. *Psychiatric Clinical Neuroscience*, 62 (2), 214-219.
- Tani, J.; Ito, M.; Sugita, Y. (2004). Self-organization of distributedly represented multiple behavior schemata in a mirror system: reviews of robot experiments using RNNPB. *Neural Networks*, 17 (8-9), 1273-1289.
- van Gelder, T. (1990). Compositionality: a connectionist variation on a classical theme. *Cognitive Science*, 14, 355-384.
- Von Eckardt, B. (1993). *What is cognitive science?* Cambridge, MA: MIT Press.
- Wolpert, D.M.; Doya, K.; Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Proceedings of the Royal Society Lond B: Biological Sciences* 358: 593-602.
- Zeki, S. (1995). *A vision of brain*. Oxford: Blackwell.
- Zielasek, J.; Gaebel, W. (2009). Modularity in philosophy, the neurosciences , and psychiatry. *Poiesis Prax*, 6, 93-108.

## Nota

- (1) Un qualia sería una propiedad cualitativa monádica introspectiva de un hecho aparentemente fenoménico: un sonido oído o una región coloreada del campo visual de uno. Este sentido de los qualia plantea un problema para las teorías materialistas de la mente. ¿De donde, metafísicamente hablando, están localizadas? (no en el cerebro).
- (2) De hecho, si se mira a los labios de alguien pronunciando diferentes palabras que las que se oyen, el input auditivo se ve sistemáticamente afectado. El módulo auditivo parece recibir input del módulo visual