

Sobre la modularidad de la mente y su vigencia

Josep M. Sopena
Pedro Ramos
Elizabeth Gilboy
Universidad de Barcelona

Aunque la idea de organización modular de la mente se remonta a la propuesta de facultades mentales innatas ya presente en la filosofía de la escuela escocesa y en la de Kant, y probablemente podemos encontrar antecedentes en épocas anteriores, la concepción moderna de la modularidad se desarrolla de forma independiente a esta tradición filosófica y también a la idea de organización modular del cerebro central en la frenología de Gall. La concepción moderna sobre la modularidad se inicia en los años cincuenta con la aparición de los primeros ordenadores y los primeros trabajos en el área de la inteligencia artificial (IA) y la psicología cognitiva. En esta forma de entender la modularidad el concepto de módulo va ligado claramente a la concepción computacional de la inteligencia y posee un estatus científico que no posea la concepción modular de tradición filosófica o frenológica.

La modularidad aparece en estos primeros trabajos como una necesidad para hacer viable la computación. Hay que tener en cuenta que en IA, y para una aplicación concreta, el proponer una determinada estructura modular no es algo a lo que se llega de manera gratuita o por principios establecidos a priori. Para un problema dado, después de haber examinado varias alternativas, se ve en general la *necesidad* de descomponer en partes independientes la tarea a implementar. Estas diferentes partes se ejecutan por separado, algunas veces en paralelo y otras serialmente y pueden interactuar entre sí en grados diferentes. Cada una de estas partes acaba constituyendo un módulo. *El diseño modular en algunos casos se hace necesario o imprescindible para poder llevar a cabo la tarea propuesta*. En otros optimiza la realización de esta tarea.

Después de cientos de programas de IA realizados desde los años 50 el concepto de módulo estaba bastante claro a finales de los 70. Podemos decir que la mayoría de los modelos interesantes que se desarrollaron en los años 50, 60 y 70 en el campo de la IA tenían una estructura modular más o menos justificada. Por citar tan sólo algunos, los modelos de Quillian (1969), Winograd (1972), Newell y Simon (1972), Winston (1975), Schank y sus colaboradores (1975) o Marr (1982) tenían una clara estructura modular. Explícitamente o implícitamente quedaba claro en estos modelos que la estructura modular se hacía necesaria por motivos de eficacia computacional o mejor aún de viabilidad computacional.

Conviene recordar estos hechos ya que en la actualidad, leyendo algunos textos, parece que la noción de módulo es más bien una aportación de Fodor y

Correspondencia: Departamento de Psicología Básica. Facultad de Psicología. Pg. de la Vall d'Hebron, 171. 08035 Barcelona. Correo electrónico: jsopena@psi.ub.es

no algo surgido de los trabajos en el campo de la IA y la psicología cognitiva como fruto de un proceso de reflexión sobre cómo debe concebirse un proceso computacional determinado. También podría deducirse de lo que se ha escrito sobre la modularidad, si uno no lee con mucha atención y está prevenido, que el principal argumento en favor de una estructura modular (la eficacia computacional) es también una aportación de Fodor (ver Carruthers, 2002, por ejemplo).

Teniendo en cuenta lo que David Marr y otros autores, entre ellos los anteriormente citados, habían implementado en sus programas y lo que habían escrito hasta este momento sobre computación y modularidad, y sabiendo que Marr es uno de los referentes claros de Fodor cuando escribe *La modularidad de la mente* (MM) en 1983, nos podríamos plantear, creo que razonablemente, cuál es la aportación original de Fodor a la noción de módulo que hasta ese momento se había venido utilizando. Es decir, qué nos queda una vez hemos filtrado todo lo que no es original.

Lo que nos quede podemos considerarlo su aportación original y nos podemos plantear a continuación si esta aportación ha sido fructífera y si gracias a ella al menos algunos fenómenos hasta el momento intratables o mal modelados han recibido una luz nueva, o bien se ha dispuesto de una forma nueva de contemplarlos que ha permitido conocerlos mejor y crear sobre ellos modelos más adecuados. ¿Su influjo ha permitido desarrollar modelos más comprensivos, adecuados o generales? ¿Ha permitido descubrir fenómenos o aspectos de la cognición que hasta el momento estaban ocultos?

Tratar de determinar estas cuestiones en las diferentes áreas de la psicología o la ciencia cognitiva actuales es una tarea muy difícil de llevar a cabo dado la enorme influencia que ha llegado a tener la propuesta de Fodor. Hacerlo desde un punto de vista crítico, evaluando la importancia real y lo fructífero de los puntos de vista de Fodor en el desarrollo de los modelos y teorías planteadas desde 1983 sobre los diferentes fenómenos estudiados en cada una de estas disciplinas que constituyen la ciencia cognitiva, lo es aún más.

Para poder hacer un análisis más en profundidad y por problemas de extensión nos vamos a centrar solamente en el procesamiento del lenguaje y principalmente en un fenómeno: el acceso léxico, y nos referiremos brevemente a los fenómenos del priming semántico y a la resolución de la ambigüedad en el caso del procesamiento sintáctico. Intentaremos en su discusión mantener el grado de abstracción suficiente para poder extraer conclusiones lo más generales posibles sobre la validez y vigencia de la propuesta de Fodor. El estudio de estos fenómenos ha dado lugar a una amplia y larga polémica en la psicología cognitiva de los últimos 20 años que todavía no ha finalizado, y en su momento los resultados obtenidos en el estudio de estos fenómenos fueron el origen de importantes argumentos utilizados por Fodor para articular su propuesta sobre la modularidad de la mente.

De acuerdo con la MM, la mente humana estaría dividida claramente en dos partes. Por una parte, existirían un conjunto de módulos de input y output y por otra un núcleo central de cognición. Entre los módulos de input se incluyen ciertos aspectos de la visión, audición, gusto, olor y el lenguaje. Los módulos de salida llevarían a cabo diferentes aspectos de la actividad motora y el lenguaje.

Las características de estos módulos serían:

(a) *Encapsulamiento*: los módulos tienen una interacción mínima o nula con otros módulos y con los procesos cognitivos centrales que no pueden influir ni tener acceso a las operaciones internas del módulo, solamente a sus outputs.

(b) *Especificidad de dominio*: cada módulo opera sólo con cierta clase de inputs, aquellos que son relevantes para la tarea en la que está especializado el módulo.

(c) *Obligatoriedad*: los procesos ejecutados por un módulo no están sujetos al control voluntario. Siempre que el módulo recibe un input relevante automáticamente se dispara su funcionamiento.

(d) *Rapidez*. La rapidez del procesamiento es un resultado del encapsulamiento y de la obligatoriedad. Un determinado módulo necesita considerar solamente la información que le es propia sin tener que considerar la información que proviene de otros módulos. Una vez recibido un input relevante el módulo se pone en funcionamiento sin perder tiempo en decidir si procesarlo o no.

(e) Los módulos están *pre-cableados (hard-wired)*: según Fodor los módulos estarían localizados en un área cerebral fija y la arquitectura neuronal de cada módulo estaría especificada genéticamente sin que la experiencia la pueda modelar.

(f) *Procesamiento de abajo-arriba*: los procesos de un módulo están guiados por los inputs (*stimulus-driven*) y debido al encapsulamiento se evita la influencia de los procesos cognitivos centrales.

En el apartado *Modularidad y acceso léxico* examinaremos estas características, su originalidad y su vigencia en la psicología actual, pero antes haremos una serie de consideraciones previas sobre el concepto de computación en IA y en psicología que nos permitirán evaluar mejor estas cuestiones.

Tipos de modelos computacionales

Podemos distinguir diferentes formas de entender el concepto de computación y cómo este concepto ha de guiarnos en la construcción de modelos y teorías sobre la actividad mental o cerebral. A grandes rasgos y en una primera consideración podemos distinguir dos primeras formas que quedarían definidas en función de los objetivos que se persiguen cuando se diseña un modelo computacional sobre un fenómeno cognitivo concreto.

– Modelos computacionales dirigidos por objetivos: Los modelos no tratan tanto de ajustarse a unos datos empíricos como de plantearse cómo un sistema (natural o artificial) puede llevar a cabo una tarea cognitiva determinada. Aunque ha sido David Marr quien mejor ha plasmado este concepto de computación podemos considerar que de mejor o peor manera ha sido la forma en que se han desarrollado los modelos en IA. La interacción con información experimental es importante y se puede considerar como correctora de los modelos pero es la «teoría del cómputo» la que guía el diseño del modelo.

– Modelos computacionales dirigidos por los datos (*data driven*): el obje-

tivo principal es modelar datos experimentales. Lo que podíamos considerar «teoría del cómputo» o no ocupa ningún lugar o es marginal. La razón básica de este hecho se debe a que no hay tarea computacional que modelar o se trabaja con lo que se ha denominado «toy problems». En esta categoría entrarían por ejemplo los modelos de Plaut (1995), McRae, de Sa y Seidenberg (1997), Coltheart y colaboradores (2001), Levelt, Roelofs y Meyer (1999), y Masson (1995). Son modelos en los que la «teoría del cómputo» juega un papel muy secundario. Este segundo tipo de modelos es mayoritario en psicología.

Newell señaló en diversas ocasiones (Newell y Simon, 1972; Newell, 1980; 1990) la necesidad de disponer de modelos computacionales del primer tipo por imperfectos que éstos sean. El elaborar modelos guiándose principalmente por los datos sin tener en cuenta las cuestiones computacionales de manera suficiente (teoría del cómputo) es en general inadecuado y sería algo parecido a dar palos de ciego¹. La analogía que vamos a establecer para comprender mejor lo que queremos decir con «palos de ciego» puede parecer en principio un poco exagerada pero como se verá más adelante es razonable. Supongamos que se quiere construir un ordenador y se nos dan una serie de piezas, pongamos unas 1000. Supongamos que para la construcción del ordenador disponemos de dos grupos de «constructores». En el primer grupo las personas que lo forman no poseen ningún conocimiento sobre el funcionamiento de un ordenador ni conocimiento sobre la tarea o cálculos que realiza cada una de sus partes, aunque sí de una gran experiencia en realizar test a los ordenadores ya montados para determinar si su funcionamiento es adecuado. El segundo grupo está formado por científicos expertos en computación y en el diseño de ordenadores. Parece claro que si el primer grupo se siente obligado a construir el ordenador no le quedará más remedio que ir probando por ensayo y error, dando palos de ciego, qué pieza debe encajarse con qué pieza. Si suponemos que cada pieza va unida a otras tres y que la probabilidad de unión es en principio la misma entre todas las piezas el número de combinaciones posibles es de aproximadamente 10^{32} . La probabilidad de que terminen construyendo el ordenador correctamente es prácticamente cero. Probablemente el cerebro tenga una complejidad parecida y la posibilidad de entender qué hace sin una perspectiva de teoría del cómputo es aún más improbable si nos guiamos únicamente por los datos, por muy sofisticados que éstos puedan ser, por ejemplo, los datos de los que disponemos en la actualidad gracias a las modernas técnicas de neuroimagen.

En los siguientes apartados examinaremos esta cuestión con algo más de detalle y examinaremos también cómo la concepción modularista y computacional de Fodor no ha conseguido que la investigación llevada a cabo en estos últimos años se planteara la cuestión computacional en serio (en la línea propuesta por Marr). Más bien la propuesta de Fodor parece haber llevado la investigación en la dirección opuesta donde de nuevo los datos, a partir de un planteamiento computacional muy simple (el derivado de la propuesta de Fodor), tienen un papel preponderante.

1. La expresión «dar palos de ciego» la utilizó Gustavo Deco en una conferencia y nos ha parecido adecuada para lo que se quiere decir en este contexto.

Modularidad y acceso léxico

El acceso léxico se refiere al proceso mediante el cual se accede a la información almacenada en memoria que está asociada a las palabras. Esta información incluye el código fonológico y ortográfico de una palabra, sus características sintácticas y su significado. En este proceso generalmente se distinguen varios estadios. Cotrell (1989) diferencia tres: (1) descodificación del input y establecimiento de una correspondencia con una entrada léxica; (2) acceso a la información de esa entrada; y (3) integración de la información con el contexto previo. A estas tres etapas se las denomina pre-léxica, léxica y post-léxica respectivamente.

En la psicología cognitiva de los años setenta existía una creencia generalizada en el hecho de que, en el proceso de comprensión de un texto, el contexto previo ejercía una función de control muy importante en la predicción de qué tipo de inputs podrían aparecer o no y por tanto jugaba un papel decisivo en el proceso de desambiguación de las palabras con varios sentidos.

Pondremos un ejemplo. La palabra inglesa «*lock*» es ambigua. Uno de sus sentidos tendría la traducción al castellano de «cerradura» y otro de sus sentidos tendría la traducción de «esclusa». En la frase en (1) el contexto claramente desambigua hacia el sentido de «esclusa», de forma que un hablante nativo que leyera esta frase se imaginaría una esclusa y no una cerradura cuando leyera la palabra «*lock*».

- (1) To enable cargo ships to ascend the 20 foot differential height between the two lakes a single mammoth *lock* has been built. (Para hacer posible que los barcos de carga pudieran superar los 20 pies de desnivel entre los dos lagos se ha construido una gigantesca esclusa.)

Como hemos dicho, existía la creencia en estos años 70 de que el contexto determinaba a qué sentido se debía acceder no permitiendo el acceso al sentido inadecuado. Algunos modelos desarrollados en IA como el de Schank (1975) podrían explicar el mecanismo por el cual se accede solamente al sentido adecuado al contexto. La preponderancia de estos modelos en los años 70 hizo que no se tuviera en consideración que los modelos de desambiguación basados en redes semánticas, como el de Quillian (1969), proponían un acceso inicial a todos los sentidos.

Sin embargo experimentos como los de Swinney (Swinney, 1979; Onnifer y Swinney, 1981) parecían mostrar que inicialmente se accede a todos los significados de una palabra ambigua independientemente del contexto en el que se halla. Sólo posteriormente, al cabo de unos pocos cientos de milisegundos, se descartan los sentidos inadecuados. Esto parecía y sigue pareciendo a algunos investigadores contra intuitivo ya que ¿Para qué se habría de acceder a todos los sentidos de una palabra para a los pocos milisegundos tener que descartarlos a todos a excepción del sentido adecuado? A nuestro parecer, Fodor se inspiró de una manera importante en estos resultados obtenidos por Swinney unos cuatro años antes de la publicación de la MM para su concepción de la modularidad.

Desde la publicación de la MM la polémica sobre cómo el contexto previo afecta al acceso léxico no ha cesado. Numerosos artículos se han publicado con resultados contradictorios: en unos se obtiene claramente un acceso múltiple y en otros un acceso selectivo. Por acceso múltiple se entiende que se accede a todos los sentidos de una palabra una vez ésta se ha procesado y que este acceso múltiple se produce tanto si la palabra se halla aislada como si se halla en un contexto oracional en el que el sentido correcto queda claramente desambiguado. Por acceso selectivo se entiende que solamente se accede al sentido correcto de la palabra ambigua. Si los resultados empíricos muestran que se obtiene un acceso múltiple se apoya la concepción modularista de Fodor.

Si por el contrario, se observa que el contexto influye en el acceso al significado de una palabra de forma que sólo se accede al significado congruente con él, entonces uno de los principios de la modularidad como es el encapsulamiento, y consecuentemente, la especificidad de dominio y el procesamiento de abajo-arriba (o *stimulus-driven*) se muestra falso. Si se observan estos resultados se invalida la propuesta de modularidad de Fodor y no, como a veces equivocadamente se cree, la idea de modularidad que puede seguir perfectamente vigente.

Como hemos dicho, los resultados obtenidos hasta ahora son contradictorios. En un principio se buscó la razón de esta contradicción en aspectos metodológicos. Por ejemplo, discutiendo sobre qué tipo de tarea permitía un estudio más adecuado del acceso léxico (tarea de nombrar vs. tarea de decisión léxica²) o si mediante el registro de los movimientos oculares o con potenciales evocados se obtenía una información más fidedigna que con la metodología tradicional de medir los tiempos en tareas de pronunciar (*naming*) o de decisión léxica. Pero después de unos 20 años de polémica parece claro que el motivo de la obtención de resultados contradictorios no se debe a cuestiones metodológicas. En un excelente artículo de Simpson (1994) se hace un balance de los resultados hasta entonces obtenidos y después de pasar revista a la investigación realizada en los 20 años anteriores concluye que los resultados contradictorios de la investigación llevada a cabo durante todo este tiempo no pueden explicarse atendiendo solamente a criterios metodológicos. Con diferentes tareas (detección de ambigüedades, métodos basados en el efecto de facilitación semántica, decisión léxica o pronunciación) y con diferentes técnicas (potenciales evocados, movimientos oculares) se han obtenido resultados contradictorios, es decir, con toda esta variedad de técnicas y tareas se han obtenido tanto resultados que apoyan el acceso selectivo o el acceso múltiple. Cuando Simpson repasa estos estudios con detalle encuentra que ningún aspecto metodológico es relevante para poder explicar los resultados contradictorios. Ni la forma de presentación de la frase, ni la localización de la palabra ambigua en la frase, ni el tipo de tarea que se lleva a cabo sobre la palabra diana permiten aclarar el panorama. El motivo es que independientemente de los factores anteriormente mencionados hay estudios que muestran acceso selectivo y otros que muestran acceso múltiple sin que las variables anteriores permitan clasificar dichos estudios con claridad. Igual ocurre con las

2. En la tarea de decisión léxica se presentan secuencias de letras a los sujetos y éstos han de decidir lo más rápidamente posible, normalmente apretando algún botón, si esas secuencias forman una palabra o no.

técnicas empleadas. Simpson concluye que es hora de plantearse las cosas de forma distinta. Introduce la idea de que hasta ahora los investigadores de este área se han centrado exclusivamente en el *proceso* de acceso al léxico. Centrarse en el proceso, dice, se entiende porque es central respecto al debate modularidad/interacción, sin embargo, vistos los resultados, parece una tarea estéril. Diez años después de la publicación del artículo de Simpson la polémica sigue en pie: se han publicado nuevos artículos de nuevo con datos contradictorios (Vu, Kellas y Paul, 1998; Vu, Kellas y Metcalf, 2000; Binder, 2003). Seguimos sin esclarecer qué ocurre, lo cual es bastante deprimente si uno confía en que la psicología ha de convertirse alguna vez en una ciencia como la física.

Un planteamiento computacional de la tarea de acceso léxico no ha sido propuesto ni defendido por nadie, ni por el mismo Fodor. Sin embargo puede llegar a ser esclarecedor, como intentaremos mostrar, aunque sea brevemente y sin entrar en muchos detalles, en lo que sigue. En IA se han propuesto diferentes métodos de desambiguación del sentido. A grandes rasgos podemos hacer una primera distinción entre los métodos denominados de contexto local y los métodos de contexto global. Dentro de los de contexto global algunos utilizan el denominado 'topic' o tema al que se refiere la frase o el texto en el que se halla la palabra ambigua. Dentro de los de contexto local podríamos distinguir aquellos métodos de desambiguación que hacen uso de las restricciones que se dan entre un predicado y argumentos.

En otros casos la información sintáctica de contexto local es suficiente. Si analizamos cada una de las frases utilizadas en los experimentos realizados sobre la cuestión de desambiguación, intentando determinar qué tipo de contexto de desambiguación permite desambiguar a la palabra ambigua considerada, nos hallaremos con una gran heterogeneidad de contextos.

En (2), (3) y (4) se muestran algunas de las frases utilizadas en algunos de los experimentos más significativos. En las frases en (3) la palabra ambigua en cuestión (en cursiva) se desambigua, en todos los casos, en un contexto local gracias a las restricciones semánticas que impone un predicado (un adjetivo o un verbo) a sus argumentos. La relación entre predicado y argumento en estos casos es tal que la palabra queda claramente desambiguada ya que existe una preferencia clara por parte del predicado en favor de uno de los sentidos de la palabra ambigua. Podríamos decir utilizando la expresión de Simpson que se trata de «contextos fuertes» (*strong contexts*). Estas frases en (3) son frases utilizadas en el experimento realizado por Simpson y Krueger (1991) los cuales obtienen acceso selectivo. En las frases en (2) no tenemos este tipo de contexto local. Para estas frases, algunos autores en IA considerarían que es el contexto global, en concreto el tema («topic») de la frase, el que permite la desambiguación. La desambiguación no se produce en un contexto tan local (unas pocas palabras) y parece que en algunos de los casos sería necesario realizar procesos de inferencia para poder desambiguar la palabra ambigua. Si realizamos una comparación con el tipo de recursos que en los modelos de IA se necesitaría para desambiguar en contextos locales en relación a lo que se necesitaría en contextos globales podríamos llegar a la siguiente conclusión para el caso del ser humano: los contextos globales actuarían de una forma más lenta y necesitarían más recursos de me-

moria. Por el contrario, los contextos locales podrían actuar de forma más rápida y automática.

- (2a) To enable cargo ships to ascend the 20 foot differential height between the two lakes a single mammoth *lock* has been built. (Para hacer posible que los barcos de carga pudieran superar los 20 pies de desnivel entre los dos lagos se ha construido una gigantesca esclusa.)
- (2b) In order to find out what was going on in the secret talks the FBI put a *bug* under the coffee table and monitored the conversation. (Para averiguar qué era lo que se tramaba en las conversaciones secretas, el FBI puso un micrófono bajo la mesa y siguió el desarrollo de la conversación.)
- (2c) Because his team had not been able to advance, the *coach* called a time-out so that he could advise the team on the next strategy. (Debido a que su equipo no había podido avanzar, el entrenador pidió tiempo muerto para poder aconsejar a su equipo sobre la próxima estrategia.)
- (3a) The boy reached up to catch the *ball*. (El muchacho se estiró para recoger la pelota.)
- (3b) I was scared by his very loud *bark*. (Me asusté por su fuerte ladrido.)

En las frases en (4) la desambiguación se produce por la interacción de factores más sintácticos. En inglés el sentido de *toast* cuya traducción es tostada es un nombre que pertenece a la categoría «mass nouns» y que no acostumbra a llevar determinante (decir «a toast» cuando uno se refiere a una tostada no es correcto en la mayoría de contextos). En este caso, pues, la palabra *toast* no queda desmbiguada por el verbo «offer» (el verbo «offer» seleccionaría tanto el sentido «tostada» como el sentido «brindis») sino por la ausencia o presencia de un determinante como «a». Estas frases son también de Onnifer y Swinney (1981). En el material de estos autores observamos una amplia variedad de contextos de desambiguación. Es razonable suponer, y más a la luz de las investigaciones en IA y en lingüística, que los mecanismos de desambiguación subyacentes a cada caso son de naturaleza distinta (implicarían a diferentes módulos) y de eficacia y rapidez también distinta.

- (4a) This morning for breakfast I had two pieces of toast, scrambled eggs a big glass of juice and a black cup of coffee. (Esta mañana para desayunar he tomado dos tostadas, huevos revueltos, un gran vaso de zumo y una taza de café negro.)
- (4b) The father of the bride stood to offer a toast to the newly married couple, wishing them luck and success in their life together. (El padre de la novia se puso en pie para ofrecer un brindis a la pareja de recién casados deseándoles suerte y éxito en su vida en común.)

Una posible hipótesis para poder explicar los resultados contradictorios obtenidos hasta ahora sería la siguiente. En contextos locales y «fuertes» se puede

producir un acceso selectivo. En contextos globales la actuación del contexto es más lenta y habría el suficiente lapso de tiempo para que la palabra ambigua en cuestión pudiera acceder a todos los sentidos de forma similar a cuando se presenta aislada. La hipótesis se ha de complementar con la idea de 'fuerza' del contexto. Aunque en algunos casos en un contexto local se podría llegar a producir una desambiguación, la relación entre predicado y argumento es demasiado débil como para que produzca de forma muy rápida la desambiguación.

Una forma de comprobar la validez de esta hipótesis sería repasar todos los experimentos realizados hasta el momento y en función del análisis de sus materiales poder predecir si en el experimento se iba a obtener acceso selectivo o múltiple (utilizando una especie de doble ciego con los jueces que juzgan el material).

Pero el modelo sobre el que basar las hipótesis se puede detallar aún más. Con ello podemos hacer predicciones más finas. En general, si el proceso que se quiere modelar es lo suficientemente complejo, si la construcción del modelo ha sido guiada por una «teoría del cómputo» y si se ha conseguido cierto nivel de eficiencia el modelo resultante seguramente tendrá una complejidad considerable.

Algunos modelos de desambiguación del sentido (López-Moliner 1998; Alegre, Sopena, Lloberas, 1999; Alegre, en preparación) permiten hacer predicciones aún más finas.

Estos modelos proponen, siguiendo criterios computacionales, que el contexto local se ha de reducir a la proposición a la que pertenece la palabra ambigua, es decir, que los únicos elementos que pueden interactuar en un primer momento con la palabra ambigua son los elementos de la proposición a la que pertenece esta palabra ambigua.

En las frases como las mostradas en (5) y (6) se produciría una desambiguación en el seno de la proposición a la que pertenece la palabra ambigua, es decir, según estos modelos será rápida y automática. En las frases (5) y (6) la proposición que permite la desambiguación está en negrita.

(5a) **El carpintero** observó la *sierra*.

(5b) **El alpinista** observó la *sierra*.

(5c) **El hombre** ascendió a la *sierra*.

(5d) El hombre observó **la escarpada** *sierra*.

(6a) **María se comió un** *mango*.

(6b) **María arrojó el** *mango* de la sartén.

(6c) María compró **un jugoso** *mango*.

Se predice que en el caso de (5a) y (5b) se va a producir una desambiguación rápida de «sierra» ya que la palabra que la puede desambiguar, «carpintero» o «alpinista» respectivamente, está en la misma proposición. Para los casos en (5a) y (5b) Seidenberg, Tanenhaus, Leiman y Bienkowski (1982), y Sopena, Gilboy y Salillas (1999) han mostrado empíricamente que se produce una desambiguación rápida y automática. El sujeto de la oración parece desambiguar al objeto. Se predice también que en el caso de (7a) la palabra *sierra* quedará desambiguada por la palabra *carpintero*. No así en el caso de (7b). La razón es que en el caso de

(7a) *carpintero* y *sierra* se hallan en la misma proposición, igual que en el caso de (5a). En (7b) las dos palabras, o mejor conceptos, se hallan en proposiciones diferentes y de aquí que no pueda producirse la interacción que permitiría la desambiguación.

(7a) **El carpintero** que hablaba con la mujer **observó la sierra.**

(7b) **La mujer** que hablaba con el carpintero **observó la sierra.**

En (8a) a diferencia de (6a) el verbo *comer* no puede desambiguar a la palabra *mango* ya que se halla en una proposición distinta.

(8a) Juan se fue a comer y **los mangos quedaron sin arreglar.**

(8b) **Juan observó con la escarpada mochila la sierra.**

En (8b) el adjetivo que podría desambiguar a *sierra* no se halla en la misma proposición. Finalmente en (9) la palabra *sierra* no puede desambiguarse ya que «carpintero» y «sierra» no se hallan en su posición canónica.

(9) **El carpintero fue observado por la sierra.**

Independientemente de que los modelos sean correctos hemos querido ilustrar con estos ejemplos que las predicciones de un modelo computacionalmente eficaz son complejas y que difícilmente se podría llegar a ellas guiados exclusivamente por los datos y aunque se diera el caso de que se pudiera llegar careceríamos de una explicación adecuada que nos diera una razón de por qué las cosas son como son.

Como demuestra una simple mirada a las frases empleadas en los experimentos antes citados la mezcla de tipos de contextos de desambiguación es muy grande y esta mezcla se produce en todos los casos. Simpson ha utilizado en sus experimentos frases simples en las que la palabra ambigua se desambigua, en general, en contextos proposicionales en los que la relación entre el predicado y la palabra ambigua es «fuerte». Algunos ejemplos de sus frases los hemos mostrado en (2). Este tipo de frases constituyen alrededor de un 75% de su material. En el resto de sus frases la desambiguación se produciría gracias al contexto global. Por el contrario, en el caso Swinney (al menos en más de un 50% de sus frases) la desambiguación no se produce en un contexto proposicional. Se necesitaría el contexto global y seguramente la realización de inferencias para producir la desambiguación. Las frases en (3) son algunos ejemplos de su material. En las frases en las que la desambiguación se produce en un contexto proposicional la relación entre argumento y predicado parece no ser tan fuerte como en el caso de Simpson. La predicción sería que a pesar de lo confuso de su material los resultados de Simpson serían compatibles con un acceso selectivo y a pesar de lo confuso de su material los resultados de Swinney serían compatibles con un acceso múltiple.

En estas condiciones es lógico que aparezcan resultados contradictorios y es lógico ya que falta una teoría que permita una clasificación correcta de los di-

ferentes contextos de desambiguación. Se están dando «palos de ciego». Si la tarea a modelar es compleja el modelo seguramente será complejo y sus características difícilmente serán descubiertas si nos guiamos exclusivamente por los resultados empíricos aunque sea con las sofisticadas técnicas de la neuroimagen.

La propuesta de Fodor no ha permitido resolver la polémica desatada en torno al acceso léxico y como veremos tampoco las polémicas sobre el priming semántico o la resolución de las ambigüedades sintácticas. Las razones de su fracaso residen en que su propuesta es demasiado generalista y se halla muy lejos de lo que Marr proponía: un estudio detallado de la teoría del cómputo para cada fenómeno en particular. Podríamos decir que su propuesta es tan generalista que se sitúa más cerca del tipo de propuestas filosóficas del siglo XIX o de las psicológicas del tipo de Gail que de las actuales teorías computacionales.

Un panorama parecido lo encontraríamos en el fenómeno del priming. Sobre este fenómeno existen diferentes explicaciones, además de la de Fodor. Hasta finales de los años 80 los modelos de redes semánticas basados en la propuesta original de Quillian (1967), también conocidos como modelos de propagación de la activación (Anderson, 1976, 1983; Collins y Loftus, 1975; McNamara, 1992), constituían la explicación más sólida del efecto de priming. Sin embargo, estos modelos no pueden dar cuenta, sin dejar de sufrir modificaciones importantes, de los hallazgos empíricos obtenidos con algunas variaciones del paradigma estándar de priming semántico como es el caso del priming mediado, el priming con estímulo interpuesto o el priming con pares asociados asimétricamente (*backward priming*). Este hecho ha propiciado la aparición de explicaciones alternativas como la teoría de la pista compuesta (McKoon y Ratcliff, 1992; Ratcliff y McKoon, 1988, 1994) o más recientemente la explicación del priming basada en los modelos conexionistas de atractores (Cree, McRae y McNorgan, 1999; Hinton y Shallice, 1991; Kawamoto, 1988; Masson, 1995; McRae, de Sa, y Seidenberg, 1997; Plaut, 1995; Plaut y Shallice, 1993; Plaut y Booth, 2000; Sharkey y Sharkey, 1992).

Para poder mantener la propuesta modularista, Fodor ha de modificar considerablemente la explicación dada hasta el momento sobre el priming semántico. Según la propuesta modularista (Fodor, 1983) el efecto de facilitación en una tarea de priming tendría lugar a nivel léxico, en una red de nodos que sólo contiene información de tipo ortográfico y fonológico. El priming se explica a través de las conexiones establecidas entre palabras que co-ocurren a menudo (vg., *aguja-hilo*) pero que compartirían pocos o ningún rasgo semántico. Este efecto de priming intraléxico se produce de forma automática y debido al encapsulamiento de los módulos y al procesamiento de abajo-arriba no se vería afectado por la información de tipo semántico. Dentro de la red semántica también existe priming entre nodos coordinados de una misma categoría (vg., PERA y MANZANA) pero esta facilitación no alcanzaría, no hay feedback, a los nodos de la red léxica (vg., *pera*). La facilitación que surge de la red semántica sólo tendría influencia en etapas posteriores (post-léxicas) del procesamiento. La propuesta de Fodor no explicaría la mayor parte de los resultados obtenidos con los diferentes paradigmas de priming antes mencionados (priming mediado, priming asimétrico, priming interpuesto, etc.) y en general su propuesta no es tenida en cuenta en el debate sobre el priming.

Tras largos años de debate donde de nuevo la mayor parte de las discusiones se centran en aspectos metodológicos se llega a una situación de enquistamiento donde nadie parece renunciar a su postura y donde los aspectos computacionales brillan por su ausencia. En el modelo original de Quillian el priming semántico iba ligado a los procesos de comprensión del lenguaje, de organización de la memoria o de desambiguación del sentido. En la actualidad, en parte debido a Fodor y a su pesar, el priming parece ser un objeto de estudio en sí mismo.

Encapsulamiento, cómputo de funciones y autoorganización

Lo que lleva a cabo un módulo es el cómputo de una función. En otras palabras, un módulo, como sistema de cómputo, puede ser concebido como algo cuyos inputs y outputs pueden ser interpretados como los pares ordenados de algún tipo de función. En el caso de que el sistema, al que el módulo pertenece, aprenda a partir de ejemplos, lo que hace un módulo es aproximar la función que ha de computar utilizando los ejemplos. Podemos suponer que los ejemplos han sido generados por una función f y lo que hace el módulo es crear una función F que se aproxima a f lo más que puede. Lo que vamos a explicar a continuación es independiente de si la función se computa mediante reglas simbólicas, mediante redes neuronales, mediante series de Fourier o mediante *wavelets*.

Desde antiguo se conoce que este proceso de aproximación se ve gravemente deteriorado por la presencia de ruido en el input. El ruido se puede presentar en diferentes formas pero el que nos interesa resaltar aquí es la presencia de *variables no relevantes* para el problema (por ejemplo, el color de los ojos podría no ser relevante para determinar la probabilidad de padecer un infarto). Muchos problemas prácticos en ingeniería o medicina son en general problemas complejos a los que subyacen funciones muy complejas y en los que se desconoce con certeza cuáles son las variables relevantes o de interés. Debido a este hecho, en la mayor parte de los conjuntos de ejemplos con los que se entrena a estos sistemas seguramente hay una buena dosis de al menos este tipo de ruido: contienen una proporción importante de *variables no relevantes*.

Los métodos de aproximación son en general sensibles a la existencia de variables irrelevantes pero parece que las redes neuronales lo son especialmente como hemos mostrado recientemente en un amplio conjunto de problemas. La capacidad de aproximación universal de las redes neuronales les permite, en general, aprenderse completamente el conjunto de datos, incluido este tipo de ruido. La red utiliza entonces información irrelevante en sus decisiones sobre casos nuevos, por ejemplo, teniendo en cuenta el color de los ojos para diagnosticar un infarto. Eliminando estas variables de la base de datos, siguiendo un determinado método de selección de variables (Romero *et al.*, 2003; Sopena y Romero, 2003) hemos observado que el rendimiento de las redes neuronales mejora considerablemente en la mayoría de los problemas tratados.

Este método lo aplicamos a una serie amplia de problemas de ingeniería y diagnóstico médico. La mayoría de estos problemas se pueden encontrar en el

UCI Repository of Machine Learning Databases: enfermedades de corazón (Cleveland), enfermedades de corazón (Statlog), enfermedades de hígado (Bupa), muerte en enfermos de hepatitis, cáncer de pulmón y cáncer en enfermos de miopatía inflamatoria idiopática (MII).

La mejora en el rendimiento fue considerable en la mayoría de problemas. Por ejemplo, en el caso de predicción de cáncer en enfermos de miopatía inflamatoria idiopática, obtuvimos un 74,5% de acierto con las 25 variables iniciales. Después del proceso de eliminación de las variables irrelevantes y con las 9 variables finalmente seleccionadas se obtuvo un 94,2%. En el problema de hepatitis con todas las variables iniciales se obtuvo un 76%. Una vez eliminadas las variables irrelevantes y con las 6 variables seleccionadas se obtuvo un 95,0%. En el caso del problema de cáncer de pulmón la reducción en el número de variables es especialmente importante (de las 56 iniciales se pasa a 9) y con la reducción el rendimiento experimenta una considerable mejora: de un 36,3% se pasa a un 87,5% de acierto. Se puede apreciar que el número de variables eliminadas (todas ellas en principio variables irrelevantes o redundantes) es, en general, muy grande. En problemas de ingeniería como la identificación de señales de sonar o de radar, el reconocimiento de voz o de dígitos o letras escritas a mano se observa el mismo fenómeno. El porcentaje de aciertos inicial, sin eliminar variables, es muy pobre. Lo cual no quiere decir que en la base de datos del problema no se contenga la información potencial para obtener resultados excelentes. Lo que ocurre es que la presencia de ruido, en forma de variables irrelevantes, perjudica en gran manera el rendimiento de la red neuronal.

La segunda característica que Fodor propone para los módulos (especificidad de dominio) especifica que cada módulo opera sólo con cierta clase de inputs, aquellos que son relevantes para la tarea en la que está especializado el módulo. Esta característica es una consecuencia de lo que acabamos de explicar y era y es un hecho sobradamente conocido en diferentes áreas de la IA sobre todo en el campo del reconocimiento de patrones (Duda y Hart 1973; Hand, 1981; Fukunaga, 1990). No diremos que es una obviedad para cualquier persona familiarizada con el cómputo de funciones, pero sí algo que ha estado siempre muy presente.

Otra de las características que propone Fodor es que los módulos están pre-cableados (*hard-wired*). Como ya se dijo en la introducción cada módulo estaría localizado en un área cerebral fija y su arquitectura neuronal estaría especificada genéticamente sin que la experiencia la pueda modelar. Siguiendo con el planteamiento inicial que hemos realizado, este hecho significaría que cada módulo ya tiene predeterminado genéticamente qué tipo de variables va a tener como input. Pero hay una propiedad de los sistemas que aproximan funciones que convendría tener en cuenta para examinar si esta característica propuesta por Fodor es o no concluyente. Cuando el número de ejemplos de entrenamiento es suficientemente grande, los métodos de selección de variables que permiten eliminar las variables irrelevantes parece que ya no surgen efecto. Lo que ocurre en estos casos es que en el mismo proceso de ajuste de parámetros que permite aproximar la función se deja de considerar a las variables irrelevantes. En el caso de una red neuronal, la neurona input que representa una variable irrelevante

queda desconectada del resto de la red: los pesos de sus conexiones al resto de la red acaban valiendo cero, es decir desaparecen las conexiones. Puede considerarse este hecho como un proceso de autoorganización que está moldeado por los ejemplos de entrenamiento, por el input. Este es un hecho repetidamente observado en el caso de que se cumpla que el número de ejemplos es suficientemente grande. Podemos considerar ahora qué importancia tiene este hecho para valorar el precableamiento genético propuesto por Fodor. ¿Hasta qué punto es necesaria la especificación genética para lograr la organización modular? En el caso del córtex visual y si es cierto que para computar, por ejemplo, los bordes de un objeto y su perfil no sería necesaria la información sobre el color o el movimiento del mismo objeto, sería lógico, por el mismo mecanismo autoorganizativo, y moldeado por el input que acabamos de describir, que el córtex visual llegara a organizarse en módulos que computaran la forma de un objeto de forma separada al cómputo de su color o movimiento. El color o el movimiento serían variables irrelevantes para computar el perfil y viceversa.

Por plasticidad neuronal se entiende la propiedad que tiene todo circuito neuronal para computar prácticamente cualquier función siempre que se le entrene con el adecuado conjunto de ejemplos (O'Leary, Schlaggar y Tuttle, 1994). Existen numerosos ejemplos de esta plasticidad. De algunos estudios recientes parecería deducirse que cualquier zona del cerebro, por ejemplo, el córtex somatosensorial, podría adquirir cualquier «habilidad» o capacidad de cómputo, por ejemplo podría llegar a «ver», si se dirigen hacia él los estímulos adecuados. En personas ciegas el córtex visual primario no procesa estímulos visuales sino que ha aprendido a computar funciones relacionadas con el procesamiento auditivo, es decir, procesa estímulos auditivos y también la lectura en braille (Cohen, Ceilnik, Pascual-Leone *et al.*, 1997). El caso más sorprendente es el relatado por Sur y colaboradores que han encontrado que cuando a los hurones se les «re-cablea» el cerebro y mediante cirugía se dirigen las conexiones procedentes de la retina hacia las zonas corticales auditivas, dichas zonas acaban procesando estímulos visuales (Roe, Pallas, Kwon y Sur, 1992; von Melchner, Pallas y Sur, 2000; Skoyles y Sagan, 2002). Esto invita a pensar, en contra de la especificidad genética propuesta por Fodor, que la función que acaba desempeñando una determinada área cerebral o un módulo puede verse influida o moldeada de forma importante por la naturaleza de los inputs que se le presentan a dicha área durante su desarrollo.

En las simulaciones de los modelos de desambiguación citados anteriormente (López-Moliner 1998; Alegre, Sopena y Lloberas, 1999; Alegre, en preparación) se observó que sin entrenar a la red específicamente para ello aparecía, por un puro proceso de autoorganización, un determinado tipo de cableado entre conceptos que optimizaba el proceso de desambiguación y se observó también que en general se producía un proceso de acceso múltiple a todos los sentidos. Esta organización, al igual que en el caso de los hurones recableados, estaba guiada por los estímulos.

Para comprender la razón del acceso múltiple y de por qué el sistema se autoorganiza en este sentido, hay que tener en cuenta que los verbos y en general los predicados son mucho más ambiguos que los nombres y que el proceso de

desambiguación es mutuo. Los verbos se desambiguan gracias a los nombres (sus argumentos) y viceversa.

En (10) se muestran algunos casos.

(10a) John put a lot of time into his work. (John dedicó (invirtió) mucho tiempo a (en) su trabajo.)

(10b) Mary put John in a bad mood. (Mary puso a John de mal humor.)

(10c) Mary put money on John's horse. (Mary apostó por el caballo de John.)

(10d) The driver put the money in the company. (El conductor invirtió en la compañía.)

(10e) John put the driver on the table. (John puso el palo de golf en la mesa.)

(10f) John put the driver in a bad mood. (John puso al conductor de mal humor.)

El verbo *put* es de los más ambiguos (tiene 32 sentidos según WordNet³) y en general, como la mayor parte de los verbos, puede desambiguarse gracias a sus argumentos: En bastantes ocasiones, como se muestra en algunas de las oraciones en (5), tanto el verbo como sus argumentos son ambiguos.

Para que este proceso de desambiguación mutua se lleve a cabo parece que es óptimo que se acceda primero a todos los sentidos de cada una de las palabras y posteriormente, gracias a la interacción entre todos los sentidos de estas palabras, se determine qué sentidos son compatibles con cuáles. Los sentidos compatibles se activan mutuamente y los incompatibles se inhiben mutuamente. Al final del proceso tan sólo los sentidos mutuamente compatibles permanecen activos. El resto de los sentidos queda inhibido. En estos modelos neuronales a los que nos referimos se accede primero a todos los sentidos ya que en caso contrario la desambiguación sería un proceso prácticamente intratable. Es un proceso puramente autoorganizativo dirigido por los estímulos. En este contexto, si se produce un acceso selectivo o múltiple es mucho menos relevante y es mejor emplear las energías investigando otras cuestiones más relevantes.

Conclusiones

Por problemas de espacio no hemos podido argumentar en contra de las otras características que Fodor propone para los módulos pero al igual que hemos hecho sobre las que sí hemos discutido, las críticas a estas otras características irían en el mismo sentido. La propuesta de Fodor carece de un planteamiento computacional serio y sus afirmaciones son demasiado generales y vagas

³ WordNet es una base de datos léxica electrónica que contiene información semántica, fue construida en 1985 manualmente por un equipo de lingüistas y psicólogos dirigidos por George Miller. En la actualidad está formada por unas 122.000 palabras.

en este aspecto. En el caso de la característica *b* (especificidad de dominio) por ejemplo se dice que el input a un módulo ha de consistir en todo aquello que sea relevante para la realización de la tarea pero las características *a* (encapsulamiento) y *f* (procesamiento de abajo-arriba) prohíben que determinadas variables puedan ser inputs a un módulo (información proveniente de otros módulos o información *top-down*). En visión artificial y en lingüística computacional se ha observado, en numerosas ocasiones, que este tipo de interacción entre módulos (o señales *top-down*), aunque en general muy simples, simplifican considerablemente el cómputo que un módulo realiza, es decir, son información relevante para llevar a cabo la tarea que el módulo realiza (característica *b*: el input a un módulo consiste en todo aquello que es relevante). Sin esta información el cómputo del módulo en cuestión puede ser NP completo (intratable) o demasiado complicado para que sea psicológicamente plausible. La característica *b* (especificidad de dominio: el input ha de consistir en aquello que sea relevante) se contradice con la *a* (encapsulamiento) y la *f* (procesamiento *bottom-up*). Qué es relevante o no requeriría un estudio computacional detallado para cada caso y las características demasiado generales de Fodor no se pueden aplicar siempre.

Examinado el estado actual de las polémicas sobre fenómenos como el acceso léxico, el priming o el parsing no parece que Fodor haya contribuido a «desatascarlas», más bien al contrario, como bien señala Simpson (1994), al hacer que el énfasis en los estudios llevados a cabo se pusiera en determinar si la característica *a* de su propuesta (el encapsulamiento) es cierta o no. De esta forma se dejaba de lado la posibilidad de realizar otros estudios más detallados y muy convenientes sobre qué información es necesaria o relevante para llevar las tareas a cabo y otras cuestiones de tipo computacional.

REFERENCIAS

- Alegre, M. A. (en preparación). *A neural network approach to language processing*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Alegre, M. A., Sopena, J. M. & Lloberas, A. (1999). A Committee Machine Approach. In *ACL-99: Joint SIGDAT Conference on EMNLP/VLP-99*.
- Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Binder, K. (2003). Sentential and discourse topic effects on lexical ambiguity processing: An eye movement examination. *Memory and Cognition*, 31, 690-702.
- Carruthers, P. (2002). The cognitive functions of language. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 6.
- Cohen, L. G., Ceilnik, P., Pascual-Leone, A., Corwell, L., Dambrosia, J., Honda, M., Sadato, N., Gerloff, C., Catal, M. D. & Hallett, M. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*, 389, 180-183.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). DRC: A Dual Route Cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204-256.
- Collins, A. M. & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.
- Collins, A. M. & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Cotrell, G. W. (1989). *A connectionist approach to word sense disambiguation*. London: Morgan Kaufmann Publishers.
- Cree, G. S., McRae, K. & McNorgan, C. (1999). An attractor model of lexical conceptual processing: Simulating semantic priming. *Cognitive Science*, 23, 371-414.

- Duda, R. O. & Hart, P. E. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: John Wiley.
- Fodor, J. A. (1983). Methodological solipsism considered as a research strategy in cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 3, 63-109.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind: An essay on faculty psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Forster, K. L. (1979). Levels of processing and the structures of the language processor. En W. E. Cooper & E. C. T. Walker (Eds.), *Sentence Processing: Psycholinguistic studies presented to Merrill Garret* (pp. 257-287). Cambridge, MA: MIT Press.
- Fukunaga, K. (1990). *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. San Diego: Academic Press.
- Hand, D. J. (1981). *Discrimination and Classification*. New York: John Wiley.
- Hinton, G. E. & Shallice, T. (1991). Lesioning an attractor network: Investigations of acquired dyslexia. *Psychological Review*, 98, 74-95.
- Kawamoto, A. (1988). Distributed representations of ambiguous words and their resolution in a connectionist network. En S. L. Small, G. W. Cottrell & M. K. Tanenhaus (Eds.), *Lexical ambiguity resolution: Perspectives from psycholinguistics, neuropsychology and artificial intelligence*. San Mateo, CA: Morgan-Kaufmann.
- Levelt, W. J. M., Roelofs, A. & Meyer, A.S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1-75.
- López-Moliner, J. (1998). *Un enfoque neuronal para la desambiguación del significado*. Tesis doctoral no publicada. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- Masson, M. E. (1995). A distributed memory model of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21, 3-23.
- McKoon, G. & Ratcliff, R. (1992). Spreading activation versus compound cue accounts of priming: Mediated priming revisited. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 1155-1172.
- McRae, K., Seidenberg, M. & de Sa, V. R. (1997). On the nature and scope of featural representations of word meaning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126, 99-130.
- Newell, A. (1980). Physical symbol systems. *Cognitive Science* 4, 135-183
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press.
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- O'Leary, D. D., Schlaggar, B. L. & Tuttle, R. (1994). Specification of neocortical areas and thalamocortical connections. *Annual Review of Neuroscience*, 17, 419-439.
- Onnifer, W. & Swinney, D. A. (1981). Accessing lexical ambiguities during sentence comprehension: Effects of frequency of meaning and contextual bias. *Memory & Cognition*, 9, 225-236.
- Plaut, D. C. (1995). Semantic and associative priming in a distributed attractor network. *Proceedings of the Seventeenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 17, 37-42.
- Plaut, D. C. & Booth, J. R. (2000). Individual and developmental differences in semantic priming: Empirical and computational support for a single-mechanism account of lexical processing. *Psychological Review*, 107, 786-823.
- Quillian, M. R. (1967). Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behavioral Science*, 12, 410-430.
- Quillian, M. R. (1969). The teachable language comprehender: A simulation program and theory of language. *Communications of the ACM*, 12 (8), 459-476.
- Ratcliff, R. & McKoon, G. (1988). A retrieval theory of priming in memory. *Psychological Review*, 95, 385-408.
- Ratcliff, R. & McKoon, G. (1994). Retrieving information from memory: Spreading activation theories versus compound-cue theories. *Psychological Review*, 101, 177-184.
- Roe, A. W., Pallas, S. L., Kwon, Y. H. & Sur, M. (1992). Visual projections routed to the auditory pathway in ferrets: Receptive fields of visual neurons in the primary auditory cortex. *J. Neurosci.* 12, 3651-3664
- Romero, E., Sopena, J. M., Navarrete, G., Alquézar, R. (2003). Feature selection forcing overtraining may help to improve performance. Paper presented at the International Joint Conference on Neural Networks, 2003.
- Schank, R. & the Yale AI Group. (1975). SAM-A story understander. Yale Computer Science Research Report no. 55.
- Seidenberg, M. S., Tanenhaus, M. K., Leiman, J. M., & Bienkowski, M. (1982). Automatic access of the meanings of ambiguous words in context: Some limitations of knowledge-based processing. *Cognitive Psychology*, 14, 489-537.
- Simpson, G. B. (1994). Context and the processing of ambiguous words. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 359-374). San Diego, CA: Academic.
- Simpson, G. B. & Krueger, M. A. (1991). Selective access of homograph meanings in sentence context. *Journal of Memory and Language*, 30, 627-643.