



RR/LSI-01-23-R

Biblioteca Rector Gabriel Ferraté
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

1400528300

**La modularidad de la mente: origen y transformación de
una metáfora**

Manel de Gracia
Marc Vigo

LSI-01-23-R

La modularidad de la mente: origen y transformación de una metáfora

Manuel de Gracia

Departament de Psicologia. Àrea de Psicologia
Bàsica. Universitat de Girona
manuel.gracia@udg.es

Marc Vigo

Departament de Llenguatges i Sistemes
Informàtics. Universitat Politècnica de Catalunya.
marc@lsi.upc.es

Resumen:

Este trabajo pretende poner en evidencia el referente real de la hipótesis modular de la mente, la pertinencia epistemológica y ontológica de la metáfora, así como realizar una valoración crítica de sus aportaciones a diferentes campos de la psicología cognitiva. Se analiza la metáfora modular comparándola con las técnicas de programación modular, y se contrasta su pretendido valor epistémico con las investigaciones provenientes del campo de la neuropsicología cognitiva. Se concluye que el problema radica en que no se ha constituido un núcleo de equivalencias básico entre las analogías utilizadas, por lo que no es más que un desplazamiento de lenguajes de las disciplinas técnicas hacia la psicología con un escaso valor epistémico.

The modularity of the mind: origin and transformation of a metaphor

Abstract:

In this work we try to make clear the actual reference of the modular hypothesis of the mind, and the epistemological and ontological relevance of the metaphor. We also make a critical evaluation of the contribution of this reference to several fields of the cognitive psychology. The modular metaphor is analyzed comparing it with the modular programming techniques, and its supposed epistemological value is contrasted with the research of the cognitive psychology. We conclude that the problem lies in the fact that a basic core of equivalences between the analogies used has not been established, therefore the result is a shift of the languages of technical disciplines into the psychology, which has a scarce epistemological value.



9

Introducción

La psicología cognitiva se constituye alrededor de la denominada “metáfora computacional de la mente”, que postula una equivalencia funcional entre los estados mentales y los computacionales. Es lo que, en el plano filosófico, se ha denominado funcionalismo computacional, y que se presenta como una respuesta que pretende aportar una solución al problema del dualismo mente-cuerpo, que se atribuye originalmente a la filosofía cartesiana (Fodor, 1968). Desde este punto de vista filosófico, constituye una teoría sobre los conceptos mentales inicialmente elaborada por Putnam (1975) durante los años 60 y desarrollada posteriormente de forma extensa por Fodor (1968, 1980, 1981, 1984) y Pylyshyn (1986).

La propuesta básica del funcionalismo computacional consiste en considerar exclusivamente lo que denominan *procesos cognitivos*, donde el software o programa informático proporciona la metáfora crucial que permite postular un nivel de descripción funcional de la mente. Por descripción funcional se entiende aquí la descripción de un proceso causal; es decir la descripción de una serie de *inputs* convenientemente identificados que dan lugar a una serie de *outputs* a través de un cierto tipo de proceso; en otros términos: un programa informático. Por tanto, un programa de ordenador es la descripción funcional de un proceso que consiste en muchos casos en el desarrollo de tareas que pueden considerarse, según Fodor, como características de lo mental (García-Carpintero, 1995).

La metáfora computacional es de carácter simbólico, y se identifica de forma ontológica con la *actividad mental*. Como indica Fodor, la opción funcionalista permite que la psicología no dependa de la materia de que está hecha la mente, sino de como está estructurada y organizada esa materia. La misma relación causal que hay entre los estados eléctricos de activación/desactivación, que identifican una codificación binaria en el hardware de un ordenador, y los programas o el software que se implementa sobre éste, permiten establecer una causalidad análoga entre el cerebro (hardware) y la mente (software). Por consiguiente, propone el funcionalismo, las teorías cognitivas deberán despreocuparse de los detalles de la realización física y atender exclusivamente a los procesos que se dan en el plano mental. Esta metáfora supone que, al igual que en los procesos informáticos que constituyen el software de la computadora, los procesos mentales están constituidos por símbolos, reglas sintácticas y algoritmos. En definitiva es un paralelismo entre procesos físicos regidos por leyes y procesos mecánicos que realizan operaciones de cálculo, sintácticas o inferenciales que se representan en la metáfora del ordenador o máquina de Turing. La mente, o más concretamente, cada una de sus facultades (p.e. la capacidad de formar conceptos generales y de adecuar conceptos particulares en formas más genéricas), se concibe como una máquina de Turing que opera bajo fórmulas de un lenguaje interno, privado, análogo a un lenguaje formal de la lógica.

Desde este punto de vista, los símbolos, representados por las marcas en la cinta de la máquina de Turing, concretan tres modos de existencia: son materiales (o neurofisiológicos) y, por lo tanto sometidos a leyes físicas (lo que implica un reduccionismo), son formales y, en tanto tales, están regidos por reglas sintácticas análogas a las reglas de inferencia de un sistema formal en la lógica y, por último estos símbolos tienen un valor semántico. Todo esto permite salvar la infranqueable distancia existente entre el mundo físico y el mundo de las representaciones y de las significaciones, a través de un nivel intermedio constituido por la sintaxis, es decir, el mundo de los procesos algorítmicos de los que la máquina de Turing constituye la abstracción general. Estos procesos algorítmicos que realizan las reglas sintácticas mantienen una coherencia lógica con las representaciones simbólicas así como su adecuación a lo que ellas representan.

Sin embargo, como concluía Searle (1980) a partir del conocido experimento mental de la habitación china, del mantenimiento de esta coherencia no se sigue en modo alguno que dicha adecuación se cree. Este hecho constituye uno de los problemas irresolubles del modelo computacional, ya que no aporta una explicación plausible sobre *cómo los símbolos adquieren significado*, y ha llevado a profundas críticas y disensiones dentro del propio núcleo funcionalista. Incluso Putnam (1995), ha vertido serias críticas acerca de algunas pretensiones exageradas de dicho modelo, concluyendo que los estados mentales no “*pueden ser estados computacionales o estados computacionales cum físicos (estados definidos mediante un vocabulario mixto que hace referencia a parámetros tanto físicos como computacionales)*” (págs. 15-16).

En definitiva, para los autores partidarios del funcionalismo, los problemas filosóficos planteados por la cuestión mente-cuerpo se suprimen por vía de abstracción. Para ellos, cualquiera que sea “*la importancia que pueda tener para algún objetivo la distinción entre estados del organismo y estados del sistema nervioso, no hay ninguna razón particular para suponer que es relevante para los objetivos de la psicología cognitiva*” (Fodor, 1984: pág. 71).

La metáfora computacional basada en la máquina ideal de Turing fue el primer paso teórico hacia la propuesta representacional del cognitivismo. Sin embargo, como modelo teórico, el carácter universal de la máquina de Turing es más un inconveniente que una ventaja. En efecto, cuando cualquier sistema (natural o formal) se considera simplemente como una máquina universal de Turing, todos los sistemas así caracterizados se vuelven equivalentes y se desvanecen sus distinciones, por lo tanto, los resultados generales que se obtienen con dicha caracterización carecen de interés para resolver problemas reales. De este modo, se hace necesario que la metáfora genérica de la máquina de Turing tenga un referente real, que se realice en una arquitectura de computación determinada. La metáfora computacional de la mente deja de tener el referente abstracto de la máquina genérica de Turing, para concretarse en la denominada arquitectura von Neumann. Ahora bien, la parte que corresponde al software no tiene una arquitectura preferente, ya que ha estado y

sigue estando sujeta a continuas mejoras técnicas (la capacidad de almacenamiento y velocidad de proceso del hardware que le da soporte y que la determinan en gran manera). Por lo tanto, si lo que trata de hacer la psicología cognitiva funcionalista es hallar el programa (software) de la mente, y hacer caso omiso de la estructura que lo realiza, deberá tomar como referente metafórico una de las muchas realizaciones posibles de software que pueden existir. Como intentaremos argumentar a lo largo de este trabajo, la hipótesis modular de la mente, al presentarse como una propuesta de arquitectura cognitiva, se sustenta en una de las posibles arquitecturas de programación que crean los ingenieros de software, concretamente en una de las primeras metodologías de programación que permitió liberar en gran medida el software de las constricciones físicas del hardware, algo que fue visto tanto desde la psicología cognitiva como desde la filosofía de la mente, como un argumento a favor de la hipótesis funcionalista de la mente basada en la metáfora computacional. De ahí que, por ejemplo, se hagan afirmaciones como la siguiente: *“un programa de ordenador es la descripción funcional de un proceso que, en muchos casos, consiste en el desarrollo de tareas como aquellas que se consideran características de lo mental”* (García-Carpintero, 1995; pág. 57). Unas suposiciones que pretendidamente justifican la analogía funcionalista entre la mente y el computador, y que se ilustran con ejemplos como este: *“un programa de ordenador, Word Perfect 5.1 es, característicamente, una descripción funcional muy compleja”* (García-Carpintero, 1995; pág. 55).

La contemporaneidad entre el desarrollo de estas técnicas de programación con la formulación de las hipótesis modulares de Fodor y el desarrollo de los lenguajes informáticos delimitan, a nuestro entender, el contexto de influencias en el que se sitúa la denominada hipótesis modular de Fodor. A esto hay que añadir que la radical aceptación por parte del autor de la metáfora computacional, le lleva a hacer propuestas concretas sobre el funcionamiento mental para poder ofrecer según él, un programa de investigación propio a la psicología cognitiva (Fodor, 1968).

A partir de este marco de referencia, el objetivo de este trabajo pretende desentrañar el referente real de la hipótesis modular de la mente, su pertinencia epistemológica, y acaso ontológica de la metáfora, así como realizar una valoración crítica de sus aportaciones a diferentes campos de la psicología cognitiva.

El referente literal de la metáfora modular de la mente: la programación modular

La tesis sostenida por Fodor (1975) en el *Lenguaje del Pensamiento* – que se presenta en parte como una extensión de las teorías chomskyanas del lenguaje expuestas junto a J. Katz en *Structure of a Semantic Theory* (1964)- anticipa en cierto modo aspectos de su posterior hipótesis sobre arquitectura modular de la mente. En este libro, Fodor expresa con un lenguaje pseudo-técnico inspirado en el inmediato entorno tecnológico, la hipótesis de que existe un lenguaje privado, que se sabe pero que no se aprende. Una hipótesis acerca del lenguaje del pensamiento que algunos autores

consideran el primer intento serio de profundizar en las bases teóricas de la psicología, y que Fodor expone del siguiente modo: “los ordenadores suelen utilizar al menos dos lenguajes diferentes: un lenguaje de input/output en el que se comunican con su entorno y un lenguaje de máquina en que hablan consigo mismos (es decir, en el que realizan sus computaciones). Los ‘compiladores’ median entre los dos lenguajes, especificando bicondicionales cuya parte de la izquierda es una fórmula en el código input/output y cuya parte de la derecha es una fórmula en el código de la máquina. Estas bicondicionales son, en todos los sentidos y para todos los objetivos, representaciones de condiciones de verdad para fórmulas del lenguaje de input/output, y la capacidad de la máquina para utilizar ese lenguaje depende de la disponibilidad de esas definiciones (...) Lo que quiero dejar claro es que, aunque la máquina deba tener un compilador para utilizar el lenguaje de input/output, no necesita tener también un compilador para el lenguaje de la máquina. Lo que evita que se produzca un retroceso hasta el infinito en el caso de los compiladores es el hecho de que la máquina está construida para utilizar el lenguaje máquina. Más o menos, el lenguaje de la máquina se distingue del lenguaje de input/output en que sus fórmulas corresponden directamente a estados y operaciones de la máquina de carácter físico y computacionalmente pertinente: la física de la máquina garantiza así que las secuencias de estados y operaciones que realiza a lo largo de sus computaciones respeten las limitaciones semánticas de las fórmulas de su lenguaje interno” (págs. 83-84). Una de las consecuencias que Fodor extrae de forma inmediata de estos planteamientos es que “cuando se encuentre un mecanismo que utilice un lenguaje para el que no estaba intrínsecamente preparado (por ejemplo, un lenguaje que ha aprendido), hay que suponer que lo hace traduciendo las fórmulas de ese lenguaje a las fórmulas que corresponden directamente a sus estados físicos computacionalmente pertinentes”. A continuación, dice Fodor, reafirmando en la metáfora, que ésta es “una teoría sobre lo que ocurre cuando alguien entiende una frase en un lenguaje que ha aprendido [...] una teoría que hace que la comprensión de una frase sea análoga a procesos computacionales fáciles de entender en términos generales” (pág. 85; el subrayado es nuestro). No hay lugar a duda que Fodor mantiene que lo que sucede cuando una persona entiende una frase debe ser un proceso de traducción básicamente idéntico al que realiza una máquina computadora cuando compila una frase de su lenguaje de programación. Llama la atención que a una suposición basada en una metáfora se la denomine ‘teoría’, al menos si se pretende que tenga el mismo sentido que cuando se emplea en expresiones como ‘teoría cuántica’ o ‘teoría de conjuntos’.

De forma genérica el lenguaje del pensamiento se concibe como un código interno gracias al cual se desarrollan los procesos mentales y se codifican las percepciones. Estos procesos o estados mentales son de índole computacional y operan sobre representaciones mentales. En definitiva, las teorías modulares de Fodor pretenden articularse sobre la base de la formalización del lenguaje natural que intenta Chomsky, sobre el desarrollo de los lenguajes artificiales, y sobre las nuevas metodologías de programación, donde la sintaxis tendrá un papel central.

Una definición formal de la sintaxis de un lenguaje de programación se denomina generalmente gramática, en analogía con la terminología común para los lenguajes naturales. Una gramática de este tipo consiste en un conjunto de definiciones (llamadas reglas o producciones) que especifican la secuencia de caracteres (elementos léxicos) que forman programas permitidos en el lenguaje que se está definiendo. Una gramática formal es sólo la que está especificada con una notación estrictamente definida. El tipo mejor conocido de una gramática formal es el de *gramática de libre contexto* presentada por primera vez por Chomsky (1959).

Casi al mismo tiempo que Chomsky desarrolla la gramática de libre contexto en un intento de definición de la sintaxis natural del lenguaje, Backus y Naur desde la ingeniería (Naur, 1963) desarrollaron una forma prácticamente idéntica de gramática pensada para la definición sintáctica del lenguaje de programación ALGOL (*Algorithmic Language*). Este lenguaje marcará un hito fundamental en la definición de los metalenguajes formales (se entiende por metalenguaje el lenguaje que se emplea para describir otro lenguaje) y constituye un avance importante en varios aspectos, en particular en la eliminación de ambigüedades en la descripción de lenguajes y en la preparación de compiladores (Sammet, 1969).

Del mismo modo que la forma no contextual de Chomsky (la denominada *Chomsky Normal Form*, CNF), la forma gramatical ideada por Backus y Naur (*Backus-Naur Form*, BNF) esta asociada a un autómata de pila (*push-down storage automata*), ya que usa una cinta auxiliar (o memoria) para el almacenamiento que sirve como una pila de direccionamiento. En teoría, un autómata de pila puede servir como un modelo para implementar un analizador gramatical para el lenguaje definido por una gramática CNF o BNF porque el autómata lee el programa de entrada de izquierda a derecha y lo analiza gramaticalmente para decidir si es un programa válido (siguiendo el modo de operación de la máquina teórica de Turing).

Los analizadores gramaticales son, en términos informáticos, los compiladores; es decir un dispositivo que se encarga de traducir al siguiente nivel representacional. Los compiladores generan un código intermedio entre el código fuente y el lenguaje máquina propiamente dicho (Aho y Ullman, 1972). Este código puede considerarse como el lenguaje de una máquina abstracta que el diseñador del compilador define. El código intermedio sólo requiere para ser considerado como tal, que pueda ser traducido fácilmente al código de la máquina real a través de algún programa ensamblador.

Ahora bien, la naturaleza desacostumbrada de los lenguajes de programación como medio de resolución de tareas provocó numerosas dificultades debidas a la complejidad y a su alto grado de abstracción. Los programas son esencialmente homogéneos y, se podría decir que la 'materia' básica que los forma proviene de una colección relativamente corta de declaraciones elementales en el lenguaje de programación utilizado, y que este mismo *material* se emplea en todas las partes del

programa. Así pues, una restricción que provoca **modularidad** en artefactos físicos tales como un automóvil o un avión están ausentes en el desarrollo de programas informáticos. A diferencia de un ingeniero mecánico, el programador era libre para unir cualquier parte del programa con cualquier otra o bien de mezclar las partes del modo que quiera. Tampoco hay ninguna restricción del material de los programas; por ejemplo, no es necesario tener en cuenta la resistencia de las sustancias físicas ni una determinada relación fuerza-peso, en este sentido son altamente **funcionales**. Las ideas de la programación modular surgieron a finales de la década de los 60 para hacer frente a estas dificultades y a la necesidad de crear sistemas operativos que funcionasen sobre diferentes arquitecturas de hardware (Jackson, 1975).

El concepto de la modularidad en informática se desarrolló, pues, como una técnica de estructuración del código mediante la abstracción útil para simplificar el trabajo de los programadores, especialmente en el caso de aplicaciones informáticas de gran envergadura que debían desarrollarse entre un grupo de programadores y que requerían un mantenimiento costoso. Las ventajas que esta metodología de trabajo aportó fueron múltiples: estructuración del código, que implica mayor legibilidad, facilidad de modificar, generalizar y mantener las aplicaciones, repartición de tareas en grupos de programadores, etcétera.

En líneas generales, la metodología de programación propuesta por la estrategia modular era la siguiente: la función de un programa se había de descomponer en subfunciones, las cuales a su vez podían descomponerse de nuevo, y así sucesivamente, en tantos niveles como fuese necesario. Entonces cada subfunción se podría programar como una rutina cerrada, preferentemente compilada por separado, y el programa resultante sería una estructura jerárquica de estas subrutinas. Limitando la extensión del módulo o las subrutinas individuales, se ceñiría la complejidad a un solo control; asegurándose de que cada subfunción estuviera programada en un módulo separado, se localizarían más fácilmente para su mantenimiento, facilitando la reducción de errores en el código; reconociendo en el estadio de diseño subfunciones generalmente útiles, se crearía una biblioteca de módulos que podría reducir la cantidad de trabajo nuevo requerido para cada programa sucesivo.

El término módulo hará referencia, pues, a cada una de las unidades lógicas en las que se tendría que descomponer cualquier tarea de programación mínimamente importante. Un módulo está constituido por una colección de declaraciones y de acciones relacionadas lógicamente y, en principio, ocultas a toda acción o declaración ajena al mismo, es decir, tiene un ámbito de visibilidad cerrado o, como se suele denominar en los manuales de metodología de programación, está **encapsulado**. De forma más precisa, la técnica de encapsulación permite separar los aspectos externos del módulo, a los cuales pueden acceder otros módulos, de los detalles internos de implementación del mismo que quedan ocultos a los demás. La encapsulación evita que el programa llegue a ser tan interdependiente que un pequeño cambio tenga efectos secundarios masivos. Esta

última característica significa también que el módulo constituye un ámbito cerrado cuyas únicas relaciones con el exterior (otros módulos) son las listas de importación y / o exportación, ya que sin ellas, ningún elemento declarado dentro del módulo podrá ser utilizado fuera de él. De la misma manera un módulo no podrá utilizar ningún tipo o procedimiento definido en el exterior que no haya estado incluido en su lista de importaciones.

El desarrollo de esta concepción da lugar a una metodología que permite construir algoritmos mediante un proceso de descomposición en unidades independientes y de resolución separada, con las ventajas que los problemas que plantea cada unidad son también independientes de los de otras unidades (Pratt, 1987).

El fundamento de una correcta arquitectura modular considera los algoritmos a desarrollar como una jerarquía de módulos perfectamente comunicados entre sí, donde cada uno tiene un objetivo diferenciado e independiente, como si fuesen piezas de una máquina para construir otras (Liskov 1980). Esta característica será clave para que los lenguajes de programación modulares permitieran el desarrollo inicial de los sistemas operativos, genéricos en cuanto a sus procesos centrales, pero específicos para los módulos de entrada/salidas que controlan los dispositivos de hardware exclusivos de cada máquina.

En la figura siguiente (Figura 1) se muestra una organización típica modular *topdown* (Maynard, 1972). En la parte superior hay dos módulos diseñados para resolver un determinado tipo de problema, las declaraciones y acciones de nivel superior se encuentran en M_0 , para cuyo funcionamiento son necesarios los módulos M_1 y M_2 , a su vez el módulo M_1 importa procedimientos de M_3 . Pero como es posible que los problemas ya estuviesen resueltos por una actuación anterior, se puede optar por importar sólo las soluciones algorítmicas de los correspondientes módulos, en este caso el M_4 , M_5 , M_6 y M_7 . La flecha que une los módulos significa "A utiliza elementos de B".

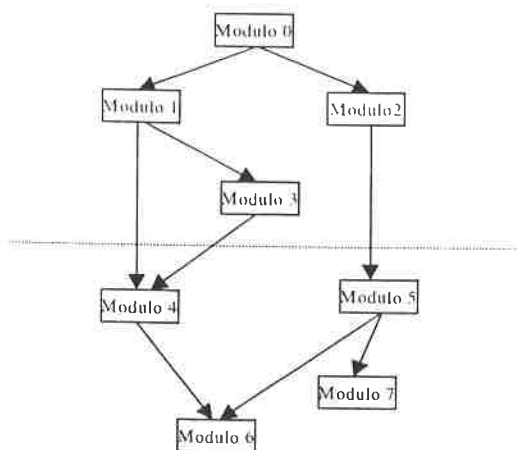


Figura 1

La metodología de diseño modular permite identificar diversos tipos de módulos según su función en el programa¹.

Módulo de control (módulo M0 en la figura anterior) es el encargado de gestionar la secuencia de llamadas a los módulos situados en niveles inferiores.

Módulos de procesos: son aquellos que realizan un procedimiento básico dentro del programa, generalmente una sola función lógica o bien una serie de pequeñas funciones lógicas relacionadas. Durante un procedimiento, los módulos de proceso pueden llamar a otros módulos o pueden ser llamados a su vez por módulos de entrada o salida.

Módulos de entrada-salida: gestionan las operaciones de entrada/salida de datos, generalmente gestión de archivos u otros dispositivos, y están específicamente diseñados para el hardware que controlan. Una de las características de los módulos de E/S es que debían realizar las llamadas a los distintos periféricos o dispositivos con la rapidez suficiente para no ralentizar las operaciones del procesador central. (véase Figura 2)

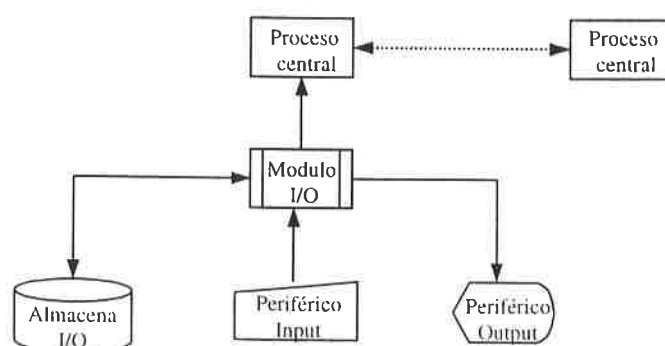


Figura 2

Como se introdujo anteriormente, la metodología modular propició la creación de lenguajes de programación específicos que explotaban su flexibilidad a la hora de crear rutinas independientes unas de otras, en un intento de dar estabilidad al software o al sistema desarrollado. Esta característica resultó de gran eficacia en la creación de sistemas operativos. Los sistemas operativos son un conjunto de programas que de forma conjunta proporcionan el *lenguaje* de interfaz entre el hardware y los programadores o usuarios de la computadora, contribuyendo a que ésta lleve a cabo correctamente su trabajo. Un sistema operativo se encarga, pues, de establecer *un lenguaje* básico de diálogo entre los dispositivos de hardware, específicos de una máquina, y los procedimientos generales de operación comunes a todas las arquitecturas de hardware construidas sobre un mismo procesador, facilitándose de este modo la exportación de las aplicaciones (Maynard, 1972).

¹ Utilizamos la nomenclatura -ya en desuso- que utiliza Fodor en sus textos, afín de poder establecer las equivalencias pertinentes.

Desde el punto de vista de la programación, las ventajas metodológicas de la modularidad no fueron tan cruciales como en un principio se creía. Por un lado se vio claro que la tarea del diseñador y la descomposición en subrutinas era crucial para el éxito del programa pero, por otro lado, si esa descomposición era errónea, los mecanismos de modularización harían que el programa funcionase todavía peor, ya que se daba la suficiente libertad al programador para separar lo que debiera estar junto e incurrir así en grandes gastos generales en espacio y tiempo de computación. Una descomposición que no respete los criterios de la cohesión funcional e independencia entre los módulos a qué dé lugar puede tener como consecuencia que las llamadas entre funciones de distintos módulos mediante el mecanismo del paso de parámetros (o sea, la transmisión de información entre módulos) incrementen exageradamente el tiempo total de computación y la memoria requerida. Además, se perderán también las ventajas de facilidad de mantenimiento y generalización, legibilidad, mencionadas anteriormente (Parnas 1972).

La programación modular sentó las bases para el reconocimiento de la importancia del diseño del programa y del recurso a la subrutina como un mecanismo estructural primario y acaso único en el diseño de un programa y abrió la vía para nuevas metodologías como la Programación Estructurada (Dahl y Dijkstra, 1972), la teoría de los Tipos Abstractos de Datos (Gutttag 1977) o más recientemente la Programación Orientada a Objetos (Rambaugh, 1994; Martin y Odell, 1995).

La modularidad de la mente

El paso de la noción de modularidad al campo de la psicología cognitiva se realiza a través de los trabajos de David Marr, ingeniero del MIT y uno de los primeros especialistas que sienta parte de las bases teóricas de la visión artificial durante los años 70. Los trabajos de Marr pretendían integrar los resultados de la neurofisiología y la psicología con la todavía incipiente inteligencia artificial. La intención era poder simular la percepción visual con computadoras, una tarea que había sido subestimada por la ingeniería en la década anterior, y que se constató que revestía una gran complejidad. Es por ello que el interés que muestra Marr por la neurofisiología y la psicología, debe entenderse como la búsqueda de un componente heurístico para la invención de sistemas artificiales de visión; en otras palabras, que ambas disciplinas formaron lo que en epistemología se denomina "contexto de descubrimiento", en este caso de lo que sería una nueva rama de la ingeniería de computadoras. Ahora bien, si la neurofisiología aportó heurísticos (invenciones) sugerentes al campo de la visión artificial (Marr, 1979), no se puede decir otro tanto de la psicología. Como dirá el propio Minsky (1985), la Inteligencia Artificial prescindirá muy pronto de las aportaciones heurísticas de la psicología, buscando soluciones propias en el campo de la ingeniería. Ente otros muchos, uno de los principales problemas con los que se encontró la psicología fue, como ya habían señalado Smith y Green (1980), que ésta no tenía una teoría del pensamiento lo suficientemente eficaz para que la

programación de computadoras pudiese tratarse como un caso especial dentro de ella, anticipaban, además, que el futuro para que eso sucediera estaba todavía muy lejos.

Lo que se produjo fue un efecto inverso, los logros de la ingeniería de computadoras acabaron convirtiéndose en un heurístico para la psicología cognitiva. Si la ingeniería de computadoras se enfrentaba a nuevos problemas que nunca antes habían sido tratados desde la ingeniería tradicional, era lógico que buscarse referentes heurísticos para orientar su actividad inventiva en ciencias o disciplinas supuestamente conocedoras de aquellos ámbitos que la ingeniería empezaba a abordar; la lingüística para los lenguajes de programación y la traducción automática, a la psicología para los procesos de razonamiento o la neurofisiología para los procesos sensoriales básicos, etcétera. La ingeniería como disciplina fundamentalmente inventiva, creadora de nuevas realidades (objetos técnicos) necesita en muchas ocasiones de analogías o metáforas en las que inspirar esas creaciones, y también como vehículo expresivo, didáctico para la transmisión de conocimiento (de ahí la profusión de metáforas y analogías que aparecen en muchos textos de divulgación técnica). Ahora bien, el psicólogo no es un ingeniero que inventa nuevas realidades, por lo que el proceso heurístico inverso, de la invención en ingeniería de computadoras a la invención en psicología no se justifica en absoluto.

En este contexto se inserta la ya conocida noción de modularidad de la ingeniería, y su traslación a la psicología. Como indican Ellis y Young (1988), el interés por la hipótesis modular de la mente humana proviene en gran medida de los trabajos en visión artificial de Marr. Este autor, trasladando en términos prácticamente idénticos el concepto de modularidad de la ingeniería que mencionábamos anteriormente, sugiere que las mentes y los cerebros evolucionaron hacia una organización modular, que permitía que *“cualquier operación compleja tuviera que dividirse y ejecutarse como un conjunto de pequeñas subpartes tan independientes entre sí, como fuera posible en el conjunto de la tarea. Si un proceso no se diseña de este modo, una pequeña modificación en una parte tendrá consecuencias en muchas otras. Esto quiere decir que el proceso en su conjunto resulta muy difícil de depurar o mejorar, tanto por un diseñador humano, como en el curso de la evolución natural, porque un pequeño cambio para mejorar una parte tiene que acompañarse de muchos cambios simultáneos compensadores en otras”* (Marr, 1976; pág. 485).

No mucho más tarde, Fodor, en *La modularidad de la Mente* (1983) propondrá a partir de esta primera metáfora de Marr, una nueva hipótesis modular de la mente que despertará un inusitado interés, tanto en el campo la nueva filosofía de la mente, como en el de la psicología cognitiva. En la mencionada obra, se proponía la hipótesis de una arquitectura mental de carácter innato, compartimentada en diferentes módulos o dominios específicos, que debería abrir nuevos caminos y cuya viabilidad debería ser puesta a prueba por la investigación psicológica (García-Albea, 1986; pág 17). Según esta metáfora, la actividad mental sería posible gracias a la actividad orquestada de múltiples procesadores cognitivos o módulos (Ellis y Young, 1988).

La teoría modular de la mente, como así se denominó a esta propuesta de arquitectura cognitiva, aparecía como una concreción de la filosofía funcionalista con posibilidades de desarrollo empírico, que abría nuevos horizontes científicos a la psicología, o al menos eso opinaba Fodor (1980): “*en la medida en que soy capaz de preverlo, es abrumadoramente probable que la psicología computacional sea la única que vayamos a tener*” (pág. 285). Conviene precisar aquí, que el término arquitectura que emplea Fodor, es un término técnico de la ingeniería de computadoras con el que se pretende hacer referencia tanto a la estructura del hardware, como a la estructura de software, que dan lugar a un sistema que puede ser programado. Esta característica hace que Fodor lo emplee de forma indistinta, tanto para referirse a la estructura cerebral como a la supuesta estructura mental.

En líneas generales, la concepción modular se inspira en una relectura particular de la frenología de Gall, de la que recupera la fragmentación del psiquismo en entidades analizables y localizables anatómicamente, y en una reformulación de las clásicas facultades psicológicas, todo ello actualizado a través de una metáfora computacional que tiene, como se ha visto, su referente literal en las técnicas de programación, los sistemas informáticos de finales de los años 70.

La arquitectura cognitiva defendida por Fodor establece una dicotomía entre lo que denomina facultades mentales horizontales y facultades mentales verticales. Las facultades horizontales son independientes entre sí y se corresponden con las denominaciones clásicas de atención, memoria, inteligencia y pensamiento.

Las facultades verticales o sistemas cognitivos modulares, estarían organizados jerárquicamente en *dominios específicos*, es decir en las clases de problemas para los cuales un mecanismo modular dispone de respuestas o bien el conjunto de entradas sensoriales que es capaz analizar. Los módulos están fijados de modo innato, son compactos, autónomos, y *no ensamblados*. Término este último con el que Fodor, utilizando un concepto propio de la ingeniería de software, quería indicar la independencia de cada módulo de subprocesos más elementales. Por lo tanto, la organización jerárquica de los sistemas modulares, entendidos como mecanismos computacionales privativos de un determinado dominio, constituyen la arquitectura vertical de las nuevas facultades propuestas por Fodor.

La organización funcional de la cognición estaría formada por tres componentes: los transductores, los módulos o sistemas de entrada/salida y los procesadores centrales. Lo que corresponde desde la analogía computacional a una arquitectura tripartita de hardware de entrada/salida, controladores específicos, y software general de la aplicación.

El sistema de transductores sensoriales capta la información del exterior y la transforma en datos con un formato específico para su procesamiento en los módulos de entrada-salida. Estos módulos, a su vez, dan como salida datos con un formato apropiado para los módulos de proceso

central, es decir, “*sirven como mediadores entre los productos de los transductores y los mecanismos cognitivos centrales efectuando la codificación de las representaciones mentales que constituyen el ámbito de operación de tales mecanismos centrales*” (Fodor, 1983; pág. 69).

Las propiedades de los módulos de entrada/salida vendrán definidas por las siguientes características:

Son específicos para determinados dominios. Cada módulo realiza unos cálculos específicos ascendentes (*bottom-up*) que están constreñidos a entradas adecuadas a sus capacidades particulares de proceso. El procesamiento *bottom-up* se caracteriza por que cualquier información de orden jerárquico inferior puede determinar o modificar los procesos superiores. “*la especialización de estos mecanismos estriba bien sobre el espectro de información al que tienen acceso en el curso de la elaboración de tales hipótesis, bien sobre la gama de propiedades de los objetos distales acerca de los cuales pueden versar tales hipótesis, o bien, como es de presumir que ocurra la mayoría de los casos, en ambos*” (op. cit., pág. 77). Formarán parte de estos dominios de entrada los sistemas ‘sensorio-perceptivo naturales’ (visión, audición, tacto, gusto, olfato) más, y aquí reside la singularidad de su propuesta, el lenguaje.

Los módulos de entrada de la visión se encargarán, por ejemplo, de la percepción del color, con mecanismos de reconocimiento como los descritos por la teoría retinex, los análisis de la forma y los análisis de relaciones espaciales. Estos módulos pueden tener otros de jerarquía superior encargados de tareas como la de reconocimiento de rostros o el control visual de los movimientos corporales.

El esquema será equivalente en la audición, donde se pueden distinguir, según Fodor, sistemas computacionales encargados de asignar descripciones gramaticales a los enunciados verbales percibidos o bien, aquellos destinados a detectar la estructura melódica o el ritmo de una serie de sonidos. Al igual que en la visión, también existen módulos de orden superior con algoritmos específicos para el reconocimiento de voces.

Los módulos son obligatorios, en la medida en que no se puede evitar que procesen la información para la que son específicos o, en otros términos, están constreñidos a operar siempre que puedan hacerlo. No hay manera, dirá Fodor, “*de evitar la percepción de un enunciado verbal (de una lengua conocida) como tal enunciado, del mismo modo que no se puede evitar percibir una configuración de estímulos visuales como un conjunto de objetos distribuidos en el espacio*” (op. cit., pág. 83).

El acceso desde los módulos centrales a los sistemas de entrada es limitado. El sujeto, dirá Fodor, no tiene idéntico acceso a todos los niveles ascendentes (*bottom-up*) de representación. De

hecho, continúa, “*los niveles inferiores (próximos a los transductores) parecen ser completamente inaccesibles para cualquier propósito*”, constituyendo una regla de acceso a la información según la cual “*cuando el procesamiento perceptivo proceda de ‘abajo hacia arriba’(cada nivel de representación del estímulo analizado se halla relacionado de un modo más abstracto con los productos de los transductores que el inmediatamente precedente), el acceso se verifica de arriba hacia abajo (cuanto más se aleja uno de los productos de los transductores, tanto más accesibles se hacen las representaciones recuperadas a los sistemas cognitivos centrales, presumiblemente responsable del conocimiento consciente)*” (op. cit., pág. 88).

Los sistemas modulares de entrada son *rápidos*. Los módulos de procesamiento visual y lingüístico tienen una alta velocidad de proceso, probablemente relacionada con su obligatoriedad de entrada.

Otra propiedad común a todos los módulos es que están informativamente *encapsulados* o, como también denominará Fodor siguiendo a Pylyshyn, son “*cognitivamente impenetrables*” (op. cit., pág. 102). Esta denominación hace referencia al carácter ‘local’ de las informaciones a las que tiene acceso un proceso modular y a la inaccesibilidad a sus funciones internas por parte de otros módulos, pero sí a los resultados (salidas) de sus cómputos. Fodor pone como ejemplo la ilusión de Müller-Lyer, en la que el sujeto sabe explícitamente que las dos líneas son de igual longitud y que, a pesar de ello las percibe como desiguales, el encapsulamiento informativo haría referencia a que la información del sistema central –el conocimiento explícito de que las líneas son iguales- no puede ser compartida con los módulos automáticos de entrada del sistema perceptivo, cuyos procesos de cómputo obligan a una valoración relativa y no absoluta de las longitudes. Respecto al lenguaje, que como se ha advertido también es considerado por Fodor como un módulo de entrada, el encapsulamiento presenta un sistema de análisis descendente (*top-down*) que permite ciertas correcciones regidas por uno o más módulos jerárquicamente superiores. El efecto de restauración de fonemas sería un ejemplo de este caso.

Los resultados de los módulos de entrada se refieren a *aspectos superficiales*. Esta propiedad alude a la relación entre los módulos de entrada y los módulos centrales o cognitivos, en los que el encapsulamiento informativo entre ambos sistemas depende de la distinción entre sus productos y sus interniveles de representación. Es decir, la cuestión radica en si los sistemas de entrada realizan un análisis en profundidad o bien un análisis básico o de superficie de la información recibida. Siguiendo la lógica modular propuesta (rapidez de procesamiento, autonomía modular, encapsulamiento) cabe esperar que los sistemas de entrada categoricen sólo de forma parcial la información que reciben. La visión puede dar un ejemplo de análisis superficial: “*el producto del procesador visual ha de ser razonablemente superficial y debe constituir un nivel de representación en virtud de criterios independientes*” (op. cit., pág. 133).

Son automáticos, es decir, de ejecución obligada siempre que los datos pertinentes se presenten y computacionalmente autónomos, no dependen de recursos computacionales de otros módulos.

Están genéticamente determinados y *asociados a estructuras neuronales específicas*, ya que hay según Fodor, una estrecha asociación de los sistemas modulares con ciertas configuraciones neuronales. Es de suponer, dirá, “*que las conexiones neuronales compactas constituyen vías privilegiadas de acceso de información. Por consiguiente, el efecto de la configuración neural en estructuras compactas es facilitar el flujo de información de una estructura a otra*” (op. cit., pág.139), aunque este tipo de accesibilidad sólo será útil para una acceso rápido, sencillo y continuado, es decir, para aquellos sistemas de entrada que constituyen una clase natural. Esta correspondencia forma-función será característica exclusiva de los procesos modulares de entrada.

Por último, otra de las características propias de los sistemas modulares de entrada es que presentan unas *pautas de deterioro características y específicas*. Fodor propone como evidencia de sus suposiciones las agnosias y las afasias, ya que son deterioros específicos en módulos de entrada en los que se ve afectado un dominio específico pero no los otros. Las lesiones cerebrales presentan con frecuencia efectos selectivos sobre el funcionamiento cognitivo al afectar algunas habilidades y preservar otras. Desde la concepción modular, que parte de una arquitectura funcional constituida por un conjunto de subsistemas de procesamiento de la información relativamente independientes y subyacentes a los niveles superiores de conocimiento, se ha interpretado este hecho como una evidencia en apoyo de la modularidad de la mente. Por lo tanto, desde la perspectiva de la neuropsicología cognitiva (que hace suyas las suposiciones modulares de Fodor), se inferirá que las lesiones o daños a un componente de la supuesta arquitectura modular tendrán sólo efectos de tipo local, ya que están informativamente encapsulados, permitiendo que los componentes que no estén dañados sigan funcionando (Ellis y Young, 1988). Continuando con esta hipótesis, los diferentes componentes de esta arquitectura funcional no actúan con una reciprocidad completa, sino que están limitados a una jerarquía e iteraciones de procesos determinada. Desde este enfoque cognitivo de la neuropsicología se sigue, por tanto, que si un determinado sistema se lesiona el resto de los procesos modulares seguirán funcionando, aunque con pérdidas informativas discretas provenientes del componente dañado, consecuencia de su encapsulamiento. De hecho, una de las propiedades que, según Fodor, deben tener los módulos es que hacen uso de un hardware especializado y, por lo tanto pueden verse afectados por una lesión cerebral local.

Según Fodor, deben concurrir todas las propiedades anteriores para que se pueda hablar de un módulo, la sola ocurrencia de unas pocas propiedades no permite definir un sistema como modular. Por ejemplo, el procesamiento rápido y automático puede darse al margen de los sistemas de entrada, como sería el caso de ciertas habilidades motoras (Anderson, 1980). Tampoco el concepto de módulo

debe entenderse como la especialización en una tarea específica, sino como un proceso computacional con unos objetivos y una base de datos propia. Recuérdese la analogía con las 'listas de importación' de la programación modular mencionadas anteriormente.

Cada módulo puede procesar sólo cierto tipo de datos ignorando aquellos que no son específicos de su dominio. Este hecho, dirá el autor, permite la automatización y mayor velocidad de los procesos. También garantiza que el organismo pueda seleccionar el tipo de información pertinente, tanto de los sistemas de entrada, como a la información proveniente de los sistemas centrales a través de procesos ascendentes. Estos procesos, al contrario que los descendentes, permiten que cualquier información de orden jerárquico superior pueda modificar los procesos de rango inferior.

La arquitectura cognitiva propuesta por Fodor se completa con los que denomina sistemas centrales. Estos sistemas son necesarios ya que la información suministrada por los módulos de entrada debe tener acceso inmediato a más de un dominio. Estos sistemas de proceso central *"examinan simultáneamente las representaciones que suministran los distintos sistemas de entrada y la información que hay en ese momento almacenada en memoria y, partiendo de diversas fuentes de información, elaboran la hipótesis más probable acerca del estado de las cosas de la realidad"* (op. cit., pág. 147). Y tienen también unas propiedades que los caracterizaran; en primer lugar, no están encapsulados ya que pueden ceñirse a un ámbito relativamente reducido de problemas, aunque utilizando toda la información que tengan a su alcance. En segundo lugar, no hay sistemas centrales de contenido específico que dependan de estructuras neuronales determinadas, sino que descansan en *mecanismos neuronales equipotenciales* o isótropos y, en este sentido, son plenamente funcionales. En tercer lugar, los módulos centrales se ven influenciados por lo que el sistema 'ya sabe' o tiene almacenado en 'memoria'. Finalmente, los sistemas centrales tienen un formato representacional común, lo que Fodor denominará 'lenguaje del pensamiento' y metas o propósitos globales, a diferencia de los módulos de Input/Output que son de propósito 'local'. Estos sistemas, que ya no son modulares, intervienen, además de en la comprensión y producción del lenguaje, en la comprensión de situaciones, en el pensamiento, en la resolución de problemas y toma de decisiones. Sin embargo, dirá Fodor, el carácter global de estos sistemas plantea un serio problema, ya que *"cuanto más global (más isotrópico) es un proceso cognitivo, menos lo entiende nadie. Los procesos muy globales, como el razonamiento analógico, no se entienden en absoluto"* (op. cit., pág. 155).

En resumen, la arquitectura mente/cerebro consiste en unos módulos periféricos perfectamente localizables anatómicamente, que se pueden analizar y estudiar (p.e. producción del lenguaje, visión del color). Reconociéndose a la vez la necesidad de conservar un estado central más elevado o isótropo, que preserve la unidad de la mente y de la conciencia.

Módulos mentales y lenguajes modulares

Aunque ni Fodor, ni en general la psicología cognitiva funcionalista lo mencione, parece evidente que adapta sin excesivas modificaciones las características de la programación modular a sus especulaciones psicológicas. Para él, los sistemas modulares de Input/Output están compuestos por 6 módulos: un Input para cada uno de los sentidos y un Output para el lenguaje. El módulo de la visión estaría formado, según Fodor, por diferentes funciones lógicas o algoritmos especializados, como pueden ser los encargados de la identificación de patrones, color, forma etcétera. El caso de los módulos auditivos es equivalente, los algoritmos o funciones lógicas que estarían encargados de ejecutar tendrían que ver con el reconocimiento de patrones auditivos. Estos módulos de entrada acceden a los módulos centrales de control de almacenamiento y suministro de información. Siguiendo casi punto por punto la metodología de programación modular, Fodor establece un conjunto de posibles relaciones entre los módulos de Input/Output con los módulos de proceso. Los resultados finales de los cálculos realizados por los primeros, pasan a los módulos de proceso y de este modo, se hacen accesibles a la conciencia. En la tabla siguiente (tabla 1) se incluyen una serie de equivalencias entre las características modulares de la arquitectura mental y la programación modular.

Dominio fuente: Programación modular	Dominio diana: Arquitectura mental modular
Periféricos I/O. Reciben información del exterior y la transforman en datos con un formato apropiado para los dispositivos (<i>devices</i>) de entrada-salida.	Sistemas de transductores. Captan información del exterior y la transforman en datos apropiados para los módulos de Input-Output.
Dispositivos específicos para el hardware de Input/Output.	Específicos de dominio I/O (visión, audición, lenguaje, etcétera.).
Asociados a un hardware específico (p.e. unidades de almacenamiento, impresión, etcétera.) o a unas zonas de memoria propias donde reside el <i>Kernel</i> del S.O. (lenguaje).	Asociados a estructuras neuronales específicas. (áreas de la visión, audición, lenguaje). Correspondencia forma-función.
Rapidez de acceso a los dispositivos (para no incrementar los tiempos de espera de la CPU).	Son rápidos, con una alta velocidad de proceso.
Son automáticos (los tiempos de acceso a los dispositivos se controlan al margen de los tiempos de proceso de la CPU) y funcionan de forma independiente del resto del sistema operativo.	Son automáticos y de ejecución obligada siempre que los datos se presenten. Son computacionalmente autónomos.
Los resultados del procesamiento de los <i>devices</i> son dependientes del software en ejecución, responsable de procesar y utilizar los datos obtenidos. En ese sentido, son superficiales ya que la gestión la realiza el proceso central en ejecución.	Los resultados de los módulos de entrada son superficiales.
Encapsulados localmente, exportan sus resultados a otros módulos del sistema través de lista de exportación residentes en memoria.	Encapsulados, con información local, exportan sus resultados.
Software en ejecución en un Sistema Operativo (p.e. hoja de cálculo, procesador de textos etcétera)	Sistemas centrales: 'consciencia'.

Tabla 1

El módulo lingüístico se hace equivalente a las rutinas del sistema operativo, que proporcionan diferentes servicios o accesos a los sistemas centrales propios de la aplicación que se está ejecutando. Obviamente la aplicación que funciona en un momento determinado en un ordenador es totalmente dependiente de los criterios del usuario (desde un procesador de textos hasta un programa estadístico) y opaca en cuanto a su funcionamiento interno, a no ser que la hayamos programado nosotros mismos. Utiliza necesariamente los módulos de Input/Output para comunicarse con sus correspondientes dispositivos, que sí nos son conocidos (p.e. impresora, disco, o el sistema visual en la metáfora fodoriana) y los servicios del sistema operativo, básicamente, como se indicó más arriba, rutinas o programas que proporcionan un *lenguaje básico* de acceso al hardware. Siguiendo en serio la metáfora del ordenador, no es extraño que Fodor se muestre tan pesimista a la hora de poder acceder a los sistemas centrales de la mente humana, ya que estos son el análogo 'mental' del software de una aplicación, que es arbitrario (puede ser cualquier programa informático) y no dice nada del hardware del sistema operativo en el que funciona. Por otra parte, este hecho es,

desde la argumentación de Fodor, un punto a favor del carácter radicalmente funcional (o de independencia funcional) de los procesos mentales, que le lleva a concluir que *“la correspondencia entre la forma y la función sólo existe en los procesos modulares (concretamente en los sistemas de entrada), mientras que lo único que puede observarse en los procesos centrales es una aproximación a la conectividad universal (...) no existen procesos centrales de contenido específico cuyo funcionamiento dependa de estructuras neurales específicas”* (Fodor, 1983; pág. 165).

La analogía continúa al atribuir a los módulos Input/Output (con un mayor énfasis en el módulo del lenguaje) la propiedad de estar encapsulados; es decir sus resoluciones son ajenas al resto de los módulos. Éstos se hallan sujetos a lo que Fodor denomina una *arquitectura neural fija*, obviamente aquí se ve obligado por las evidencias fisiológicas y las adapta a los requisitos informáticos del momento. Así se pueden ver exigencias de rapidez y costo del acceso a la información, como elementos sujetos a la arquitectura del hardware (tarjetas perforadas y cintas magnéticas de la época) pero gestionados con cierto margen de independencia por los programas de gestión de Input/Output. Lo que le lleva a concluir que *“la arquitectura neuronal es un concomitante natural del encapsulamiento informativo”* (op. cit; pág. 163; el subrayado es nuestro).

La hipótesis modular y la neuropsicología cognitiva

La neuropsicología cognitiva tiene como supuesto esencial la hipótesis modular, y argumenta -en una interpretación simplista de la epistemología de Lakatos- que *“la modularidad de la mente es, sin duda, uno de los supuestos esenciales de la neuropsicología cognitiva, algo que nunca podrá en último término ser comprobado o rechazado* (Ellis y Young, 1988; pág. 16).

A pesar esta renuncia explícita a la falsabilidad de la hipótesis modular, la neuropsicología cognitiva ha tenido un cierto éxito como disciplina relativamente autónoma y la terminología modular ha sido ampliamente utilizada para describir y formular hipótesis acerca de los efectos de determinadas lesiones cerebrales, como las agnosias o prosopagnosias (Caramazza, Berndt y Basili, 1983). Los datos obtenidos en el estudio de estos trastornos se interpretaron como una confirmación empírica del carácter local de la arquitectura modular de la visión y de su encapsulamiento (se ven afectados unos procesos visuales pero no otros). Completados con algunos datos empíricos que, aunque de manera no concluyente, parecía que apoyaban la hipótesis de un sistema regulador central ubicado en el lóbulo temporal (Shallice, 1988).

De hecho, puede considerarse que la hipótesis modular se inserta en la tradición localizacionista de la escuela de Broca, Wernicke y Lichtheim, que fue reavivada en la década de los 70 por Norman Geschwind (1970, 1979) por lo que contribuyó de forma notable en la construcción de una supuesta base empírica de la metáfora modular. Desde ella, y a partir de un enfoque eminentemente clínico, se puso el acento en las habilidades lingüísticas comunicativas de los

pacientes entendidas como una colección de actividades (hablar, escuchar, escribir, nombrar, repetir, etcétera). Sin embargo, este tipo de enfoque localizacionista ya había empezado a cambiar una década atrás. El desarrollo de los trabajos en lingüística durante los años 60 proporcionó nuevas herramientas conceptuales y experimentales al estudio del lenguaje. El lenguaje ya no será un conjunto de actividades, sino una estructura dependiente del conocimiento, y en la que se podrán distinguir los niveles de representación fonológico, sintáctico y semántico (Goodglass y Berko, 1960; Caramazza y Zurif, 1976). La nueva metodología de estos estudios permitió determinar especializaciones lingüísticas cerebrales que no habrían podido identificarse sin esa nueva aproximación. A pesar de que los nuevos descubrimientos llevaron a la redefinición de los centros anatómicos (Zurif, 1980) se siguió manteniendo una concepción anatómica basada en unos centros en los que ya no se encontraban la escritura y el habla, sino los dispositivos de análisis y síntesis del lenguaje. Concretamente, la sintaxis se alojó en el área anterior del lenguaje (sobre todo comprensión y producción) mientras que la semántica se asignó al área de Wernike. Gracias a la disponibilidad de mayores series de pacientes, los estudios neuroanatómicos de esa época mostraron que el área del lenguaje era de una extensión mayor que la considerada hasta el momento. En el caso de la afasia de Broca se puso de manifiesto que las lesiones involucraban el córtex frontal adyacente, incluyendo la zona prerolándica inferior, y extendiéndose hacia la ínsula y subcorticalmente, así como amplias zonas del opérculo (Mohr, 1976). A pesar de la extensión de las zonas implicadas, el enfoque seguía siendo localizacionista. Obsérvese que es en este momento en el que Fodor publica su teoría modular de la mente, lo que motiva que las evidencias empíricas que cita para apoyar sus hipótesis mantengan el enfoque localizacionista.

Por otra parte, en psicología cognitiva del desarrollo, la modularidad de la mente tuvo también una gran acogida, despertando el interés de los investigadores que otorgaron un valor heurístico considerable a la metáfora. En la psicología del desarrollo infantil proporcionó una alternativa a las corrientes conductista y constructivista piagetina, dominantes en la década de los 80. Ambas concepciones del desarrollo se entendieron desde la óptica cognitiva como teorías que proponían mecanismos formales de aprendizaje infantil basados en un proceso de propósitos o metas generales. Igualmente, ambas perspectivas planteaban, aunque desde concepciones muy diferentes, mecanismos globales para el aprendizaje de la semántica, la sintaxis, los aprendizajes numéricos y espaciales etcétera. La alternativa modular de Fodor, junto a la psicolingüística de Chomsky, proporcionó las metáforas suficientes para una concepción innatista y modular de la mente infantil, que se aplicó al estudio de la sintaxis (Smith y Tsimpli, 1995; Garfield, 1987), de la semántica (Pinker, 1994), a la teoría cognitiva de la inteligencia (Anderson, 1992), al estudio cognitivo del autismo (Baron-Cohen, 1995), de aspectos del conocimiento infantil del mundo físico (Spelke et al., 1991; Baillargeon, 1994) y de la adquisición de las nociones de número y espacio (Gelman y Gallistel, 1990).

Fue también en la psicología del desarrollo donde surgieron las primeras discrepancias por algo que era ya conocido en la investigación neurológica tradicional. La analogía de base de la modularidad mental suponía una arquitectura mental rígida e incompatible con el crecimiento y desarrollo de la corteza cerebral. Si consideramos el estudio de la sintaxis, campo en el que se han realizado numerosas investigaciones desde la teoría modular, los estudios de neuroimagen post-natales y en niños de corta edad pusieron de manifiesto un proceso cambiante de diferenciación y especialización hemisférica (Elman et al., 1996; Mills et al., 1993). Inicialmente los procesos sintácticos se realizan en diferentes zonas de ambos hemisferios, y es sólo después de cierto tiempo y de un proceso de especialización neuronal, cuando parte del hemisferio izquierdo adquiere completamente sus funciones sintácticas. A pesar de la carencia de investigaciones concluyentes, se ha señalado que lo mismo podría suceder con la adquisición de la lengua materna, de los conceptos numéricos, del reconocimiento de caras, etcétera (Johnson, 1997). Estos datos han tenido una lectura particular desde la neuropsicología cognitiva del desarrollo. La serie de hipótesis condicionales que propone Karmiloff-Smith (1992) son un ejemplo de este nuevo enfoque. Como dice esta autora: “*mi hipótesis es que si la mente humana termina poseyendo una estructura modular, entonces es que, incluso el lenguaje, se modulariza a medida que avanza el desarrollo*” (pág. 21).

Por lo tanto, si bien se ha criticado la rigidez de la arquitectura mental de Fodor, se ha seguido manteniendo, en cambio, la concepción modular de los procesos mentales, aunque definida de una forma que rompe con la metáfora computacional original. La evidencia de la plasticidad cerebral y el desarrollo gradual del cerebro en los primeros años de vida ha propiciado que se hable de un *proceso de modularización* que se daría durante toda la ontogénesis. Los módulos de Input/Output, que en la analogía de Fodor tienen un papel subordinado en el proceso cognitivo, tendrían en los primeros años de vida un papel primordial, ya que serían éstos los que podrían permitir unos procesos cognitivos iniciales rápidos y eficaces (Karmiloff-Smith, 1992). Además se ha sostenido también un proceso de modularización evolutivo que se daría durante la filogénesis de la especie, como sería el caso de las hipótesis de Cosmides y Tooby (1992). Conviene recordar que estos autores sostienen que la mente es un conjunto de mecanismos modulares de procesamiento de la información que fueron diseñados por la selección natural para resolver problemas de adaptación a los que se enfrentaron nuestros antepasados, por lo tanto, sostienen Cosmides y Tooby, si la mente es un producto de la selección natural, todos o gran parte de los mecanismos modulares, tanto en su estructura como en su función, están sujetos a cambios evolutivos.

La hipótesis modular en las Neurociencias

A excepción posiblemente de una terminología nueva, la hipótesis o metáfora modular de la mente no aportó ningún avance epistemológico significativo en el campo de la neurología tradicional. Principalmente por dos motivos de carácter práctico: el primero porque para la neurología tradicional

la terminología modular es sólo la introducción de un nuevo lenguaje localizacionista que se limita a repetir viejas nociones ya conocidas, con nuevos términos provenientes del ámbito de la ingeniería. El segundo motivo es técnico, en estos últimos 20 años los avances en neuroimagen han permitido ubicar al sujeto en una multitud de tareas como reconocimiento semántico, cálculo, memorización espacial etcétera, y tomar registros cada vez más precisos de la actividad cortical generada. En un reciente trabajo de revisión reciente realizado a partir de 36 estudios que utilizaban técnicas de neuroimagen funcional, permitió concluir que las diferentes funciones cerebrales están distribuidas en múltiples regiones del cerebro; o, en otros términos, que regiones específicas del cerebro muestran con frecuencia una multifuncionalidad (Lloyd, 1999). Por otra parte, los resultados obtenidos pusieron también en evidencia de forma clara que no existía un sistema central de control, sino un mosaico de pequeñas áreas activadas por tareas diferentes, que se organizaban en una especie de *emergencia mental* debida a la asociación transitoria de zonas especializadas, pero no debida a la acción de un centro de orden jerárquico superior. De lo que se concluyó que la hipótesis de zona isótropa que corresponde a los criterios de estado central de Fodor, era sólo una ilusión (Jeannerod, 1996).

Hay que añadir, además, que durante toda la década de los 80 surgieron líneas de estudio que utilizaban nuevos métodos y técnicas de cartografía anatomofuncional, que permitieron una aproximación al estudio del lenguaje más detallada en la exploración de las áreas involucradas (Bradle, Garret y Zurif, 1980; Linebarger, Schwartz y Saffran, 1983; Grodzinsky, 1989). De este modo, surgió todo un conjunto de investigaciones que pusieron en evidencia la insolvencia heurística de las hipótesis modulares en neuropsicología. Unas investigaciones que tenían un remoto precedente histórico en las observaciones clásicas de Ferrier y Jackson a finales del XIX, que ya habían constatado la naturaleza interactiva y plástica de la arquitectura cerebral, lo que permitiría recuperar en algunos casos toda o parte de la funcionalidad real perdida tras una lesión cerebral. Los trabajos de la neurología actual apoyados por las nuevas técnicas de neuroimagen, han reafirmado dichas observaciones iniciales. Según Kolb (1992), por ejemplo, la recuperación funcional es fruto de procesos ligados al desarrollo y a la actividad del cerebro, como serían los procesos relacionados con el mantenimiento de la plasticidad necesaria para el aprendizaje y la memoria (reacciones de recuperación glial, axonal y dendrítica). Más aún, los trabajos de Kaas (1991) han señalado la posibilidad de reorganización morfológica del córtex somatosensorial, visual y auditivo (que corresponderían a los módulos de entrada de Fodor) y de modificaciones de carácter neuroquímico. Por otra parte, los estudios en neurología y neuropsicología clínica sobre las afasias (sobre todo la afasia de Broca) han aportado datos concluyentes y contrarios a la localización modular. Por último, añadir los recientes descubrimientos que señalan la existencia en adultos humanos de indicios de cierta neurogénesis en limitadas zonas del hipocampo (Eriksson et al., 1998) que cuestionarían todavía más la hipótesis modular de la mente.

Objetos mentales: una alternativa a la hipótesis modular

Si partimos, al igual que hacen Ellis y Young (1988), de algunos de los presupuestos epistémicos de Lakatos, y añadimos además elementos de la teoría cognitiva de la metáfora de Lakoff y Johson (1987), en la que se sugiere que “*hay veces en las que la comprensión puede mejorarse permitiendo metáforas alternativas, incluso a expensas de la minuciosidad y la coherencia*” (pág. 247), podemos proponer a modo de juego o ejercicio metafórico, una nueva hipótesis sobre la arquitectura mental que resuelva algunos de los problemas planteados por la hipótesis modular de Fodor mencionados anteriormente.

El desarrollo de nuevas técnicas de programación a mediados de la década de los 80 renovó el panorama de los lenguajes informáticos dentro de la ingeniería de software. La *programación orientada a objetos* se presentó como una considerable mejora metodológica frente a la clásica programación modular de los años 70 en la que se inspira Fodor. Si como se ha visto, en la programación modular se hace hincapié en especificar y descomponer el sistema en módulos (de entrada/salida o centrales), la programación orientada a objetos se centra primordialmente en identificar objetos procedentes del dominio de la aplicación ajustándoles después los procedimientos. El concepto de encapsulación también cambia: si en la interpretación modular el término hacía referencia a la ocultación de los detalles internos de procesamiento de cada módulo y a la accesibilidad de sus resultados o salidas, en la metodología orientada a objetos el encapsulamiento tiene un cariz ampliado. En ésta existe la posibilidad de combinar estructuras de datos y funciones internas en una única unidad, lo que permite flexibilizar el comportamiento de un objeto. También permite compartir una estructura común entre varias subclases de objetos similares, una propiedad que los ingenieros de software han denominado metafóricamente *herencia*. El desarrollo orientado a objetos no sólo permite compartir información dentro de un proceso sino que, además, permite reutilizar la arquitectura establecida para funciones futuras no implementadas inicialmente. Esta última propiedad suele denominarse *polimorfismo* e implica también que las características propias de cada objeto pueden ser utilizadas aisladamente pero, en su conjunto, se complementan unas a otras.

La metodología de programación orientada a objetos es mucho más extensa que lo aquí esbozado, sin embargo no impide realizar una interpretación rápida que permita trasladar metafóricamente los conceptos empleados y darles cierta lectura neurocognitiva. No faltan motivos para ello, los propios ingenieros de software ilustran la nueva metodología de programación de forma suficientemente atrayente para la metáfora computacional de la psicología cognitiva. Por ejemplo, no es infrecuente encontrar introducciones en los manuales de programación orientada a objetos referencias de este tipo: *la programación orientada a “objetos es un paradigma que trata de imitar la forma como los seres humanos modelan el mundo. El ser humano ha desarrollado una gran capacidad para clasificar, generalizar y abstraer objetos, de tal forma que puede tratar con el*

complejo mundo que le rodea. De un mundo lleno de perros individuales, hemos desarrollado el concepto de perro como una clase abstracta que sintetiza los atributos y el comportamiento que todos los perros del mundo comparten. Esto nos permite desarrollar ideas acerca de los perros, sin pensar en los detalles de un perro en particular. Esta es la forma como aplicamos la capacidad de clasificar, generalizar y abstraer" (Martin y Odell, 1995; pág. 20). Una descripción que no va más allá de una metáfora de carácter didáctico, basada en la psicología popular, pero que muy bien podría estar sacada de cualquier introducción a la psicología cognitiva del pensamiento, como un argumento a favor de esta nueva hipótesis sobre el carácter de lo mental.

En efecto, si pensamos en las evidencias neurológicas señaladas anteriormente que cuestionan la metáfora modular, es relativamente simple adecuar la nueva analogía computacional a dichos resultados. Y más sencillo todavía si añadimos precauciones como las de Ellis y Young (1988) cuando dicen, como citábamos anteriormente, que son unos supuestos que nunca podrán en último término ser comprobados o rechazados. Las ventajas son muchas, por lo pronto tendríamos una hipótesis que permitiría eliminar el problema de la rigidez en la arquitectura mental subrayada por Karniloff-Smith (1992), del mismo modo se podría dar una respuesta a las evidencias sobre la plasticidad cerebral y al localizacionismo disperso que postulan las recientes investigaciones neurobiológicas, podríamos utilizar aquí con éxito el concepto de *polimorfismo* descrito anteriormente. Además, el concepto de *herencia* podría utilizarse metafóricamente para especular acerca de la evolución de la mente dentro del marco de las teorías evolucionistas postuladas por Cosmides y Toby (1992). Dado que el núcleo de equivalencias no se hace nunca explícito, sólo es cuestión de ajustar metafóricamente el lenguaje utilizado por la programación orientada a objetos y aplicarlo de forma no contradictoria a los datos obtenidos de las actuales de las investigaciones neuropsicológicas.

No hay que olvidar que los datos empíricos permiten, por lo general, una enorme cantidad de interpretaciones y clasificaciones y que, por lo tanto, es fácil idear una gran variedad de teorías que los incluyan. Queremos decir con lo ello, siguiendo a Bueno (1985), que las metáforas computacionales no son inocuas, sino que distorsionan gravemente los objetivos de la investigación científica realizada, ya que pueden dar lugar a interpretaciones fantásticas de materiales que pueden estar cuidadosamente elaborados. No se pone en duda, por tanto, el rigor metodológico, ni la validez de los datos obtenidos en las investigaciones realizadas bajo los supuestos modulares, sino la pertinencia del recurso, injustificado y muchas veces innecesario, a burdas metáforas o analogías, por muy sugerentes que éstas sean.

Conclusiones

Se pueden concluir las siguientes críticas a la metáfora modular de Fodor. En primer lugar, desde la neurología tradicional la noción de modularidad no es más que la reintroducción, con un nombre diferente, de las clásicas áreas y localizaciones cerebrales (no en vano Fodor se inspira históricamente en una doctrina eminentemente organicista como es la frenología de Gall) y por lo que no puede decirse que facilite un nuevo acceso epistémico a una realidad poco o mal conocida. No es extraño que el término haya tenido una escasa fortuna en esta disciplina y no aparezca apenas citado en la extensa bibliografía de la neurología tradicional, donde rige un enfoque notablemente reduccionista de carácter muchas veces eliminativista. Conviene precisar, sin embargo, que en algunas publicaciones del campo de las neurociencias, en ocasiones aparece el término modularidad para hacer referencia a un conjunto unitario de estructuras cerebrales que participan en determinadas funciones. En este sentido es equivalente a zona o área, y no presupone necesariamente una teoría computacional de la mente.

En segundo lugar, se toma implícitamente como referente analógico una metodología de programación informática a la que se pretende dar un valor epistémico y un sentido ontológico. No es únicamente una distinción epistemológica que pretende establecer unas reglas de traducción entre el lenguaje físico (neurobiológico) y un supuesto lenguaje mentalista de carácter funcional, sino que acaba siendo una hipótesis de carácter ontológico sustentada metafóricamente en una circunstancial herramienta de programación. Este es el sentido de propuestas como la de Shallice (1988) cuando sostiene que, si los conceptos de encapsulación informática y de especificidad de dominio se combinan con el de especificidad neurológica, por la cual los módulos están representados de forma diferenciada en el cerebro, la neuropsicología cognitiva se convierte en una empresa viable. Una metáfora técnica que acaba eclipsando cualquier referente netamente psicológico y lo sustituye por un conjunto de términos informáticos (p.e. encapsulamiento, proceso *top-down*, etcétera) que carecen de sentido fuera de su propio ámbito de aplicación, y que son totalmente dependientes del grado de desarrollo de la tecnología que los inspira. Nada más alejado del derecho de la psicología a investigar un campo específico, a generar un lenguaje independiente y unos modelos adaptados a la peculiaridad del área que investiga. Lo que conduce a soslayar precisamente lo psicológico en cuanto concreción específica y propia de la disciplina, un hecho extravagante que no se produce en otras disciplinas científicas (Cencillo, 1988).

Por otro lado, si una analogía tiene algo de fructífero para el pensamiento científico, es porque el referente analógico se toma como un todo estructurado de forma coherente y lógica, con el que se establece un conjunto de posibles equivalencias. Esta precaución elemental no parece importar excesivamente a los neuropsicólogos cognitivos del desarrollo (ya se ha mencionado el escaso aprecio que tienen por la verificabilidad de sus supuestos básicos), que discrepan de la rigidez de la

arquitectura modular propuesta por Fodor, aunque aceptan genéricamente el carácter modular de los procesos mentales, añaden un dinamismo que rompe con la propia coherencia interna de la metáfora modular. En este caso, cuando al desentrañar la metáfora principal de la arquitectura modular aparecen otras metáforas substantivamente nuevas, se corre un serio riesgo de confusión mental (Black, 1961).

La conclusión de las metáforas entre computadores y seres humanos no es que “*las computadoras nos ayuden a comprender la relación entre la mente y el cuerpo*” como sostiene Fodor, pues ni uno ni otro son representados con más densidad real que la de sus vocabularios respectivos (Cencillo, 1988). Un vocabulario de valores paramétricos físicos, que implica la suposición de que los transductores sensoriales detecten valores de parámetros físicos y que todo conocimiento perceptivo esté mediado por la actividad de los transductores sensoriales como supone Fodor (1984). Es más, desde un punto de vista epistemológico, “*la constante mezcolanza practicada por Fodor entre el plano psicológico y el plano epistemológico le lleva a identificar lo inductivo en las ciencias con la percepción en los sujetos empíricos (por medio de transductores), así como la deducción con los procesamientos o computaciones de la mente*” (Blanco, 1993; pág. 36).

El resultado acaba siendo una psicología en la que la entidad desaparece y es totalmente sustituida por un esquema abstracto, importado de métodos y técnicas de otras disciplinas, que acaban por desnaturalizar a la psicología. De ahí, que la denominada psicología básica, -feudo de las distintas metáforas computacionales- intente emular a las ciencias duras, con una pretendida investigación básica que se desarrollará en el campo aplicado, pero que en realidad casi nunca consigue trascender más allá del laboratorio.

En esta misma línea crítica, se ha destacado que hay en la epistemología contemporánea un desplazamiento de lenguajes de las disciplinas técnicas a otras, sobre todo en las ciencias sociales, y en especialmente a la psicología que propicia que “*sólo se trabaje con apariencias y se ofrezcan soluciones (las más de las veces verbales) a cuestiones extrapoladas*” (Cencillo, 1988; pág.122).

De nuevo, el problema radica en que no se ha constituido un núcleo de equivalencias básico entre las analogías utilizadas. No hay un isomorfismo definido entre la máquina computadora genérica y el cerebro/mente humano, por lo tanto tampoco lo habrá con elementos o aspectos concretos de las computadoras y las propiedades mentales. Esta falta de concreción, o si se quiere de rigor, propicia una notable confusión teórica. A la que hay que añadir un sometimiento a las *oscilaciones de la moda* (Rorty, 1983) que impone la tecnología vigente en cada momento, de la que siempre se pueden realizar lecturas epistemológicas (e incluso ontológicas) dispuestas a traducir la psicología al lenguaje ‘de moda’ propio de la técnica.

La nueva metáfora de la mente que pretende sustituir al cognitivismo representacional, y que está representada por la denominada metáfora conexionista o metáfora de redes neuronales artificiales (Smolensky, 1988), se explicaría en gran medida por esta especie de necesidad de una continua renovación que, al hilo de la técnica, parece caracterizar a la psicología cognitiva. En este mismo sentido, Draaisma (1998) escribe con cierta ironía que “*en la cultura occidental, donde la psicología hizo su aparición, siempre se ha sabido apreciar esta asociación [con la técnica]*” (pág. 274).

Finalmente, existe otro problema añadido, la ambigüedad en los conceptos, el carácter fuertemente especulativo de las hipótesis propuestas por Fodor y, en general, de toda la psicología cognitivo-computacional. Estos aspectos, sumados a la profusión de metáforas técnicas (como es el caso de la programación modular, del lenguaje máquina, o más recientemente, de las redes neuronales artificiales), la voluminosa y muchas veces contradictoria bibliografía, propician que el esfuerzo crítico y de comprensión que se realiza por parte de algunos investigadores, lejos de aclarar el panorama contribuya todavía más a acrecentar la confusión conceptual y el carácter especulativo de las hipótesis cognitivas.

En nuestra opinión, este hecho a propiciado que en lugar de avanzar hacia una unidad de base de la psicología, se hayan acentuado las divergencias teóricas, contribuyendo a una parcelación cada vez mayor de la investigación psicológica básica. Hasta el punto que, como señalaba Schneider en su artículo *Psychology at a crossroads* (1990), los problemas psicológicos que pretende abordar la psicología cognitiva no se sitúan en sus correspondientes niveles sociales y contextuales, lo que conduce a una psicología inadaptada, alejada de unas necesidades propias que la determinen como disciplina.

Bibliografía

- Aho, A. V; y Ullman, J. D. (1972). The Theory of Parsing, Translation and Compiling. Prentice-Hall.
- Anderson, J.R. (1980). Cognitive Psychology and Its Implications. New York: Freeman.
- Anderson, M. (1992). Intelligence and development: A cognitive theory. Cambridge: Blackwell.
- Baillargeon, R. (1994). How do infants reason about the physical world? Current Directions in Psychological Science, 3, 133-140.
- Baron-Cohen, S. (1995). Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind. Cambridge: MIT Press.
- Blanco, C.J. (1993). Análisis gnoseológico de la psicología cognitiva. El Basilisco, 15, 29-48.
- Bradle, D.C; Garrett M.F; y Zurif E.B. (1980). Syntactic deficits in Broca's aphasia. En D. Caplan, (Ed.), Biological studies of mental processes. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bueno, G. (1985). Para un análisis gnoseológico de la psicología cognitiva. Estudios de Psicología, 22, 103-113.
- Caramazza, A; Berndt, R.S; y Basili, A.G. (1983). The selective impairment of phonological processing: A case study. Brain and Language, 18, 128-174.
- Caramazza, A; y Zurif, E.B. (1976). Dissociation of algorithmic and heuristic processes in sentence comprehension: Evidence from Aphasia. Brain & Language 3, 572 -582.
- Cencillo, L. (1988). La psicología como posibilidad. Salamanca : Amarú Ediciones.
- Chomsky, N. (1959). On Certain Formal Properties of Grammars. Information and Control, 2, 137-167.
- Cosmides, L; Tooby, J; y Barkow, J.H. (1992). Introduction: Evolutionary Psychology and Conceptual Integration. En J.H. Barkow, L. Cosmides, y J. Tooby (Eds.), The Adapted Mind, (pp. 3-15). Oxford: Oxford University Press.
- Dahl, O.J; Dijkstra, E.W; y Hoare, C.A.R. (1972). Structured Programming. New York: Academic Press.
- Draaisma, D. (1998). Las metáforas de la memoria: una historia de la mente. Madrid: Alianza Editorial.
- Ellis, A.W; y Young, A.W; (1988). Human Cognitive Neuropsychology. A Textbook with Readings. Psychology Press.
- Elman, J.L; Bates E; Johnson M.H; Karmiloff-Smith, A; Parisi D; y Plunkett K. (1996). Rethinking Innateness: A Connectionist Perspective on Development. Cambridge, MA: MIT Press.
- Eriksson et al. (1998) Neurogenesis in the Adult Human Hippocampus. Nature Medicine, 4(11), 1313-1317.
- Fodor, J. (1968). Psychological Explanation. An Introduction to the Philosophy of Psychology. Random House.
- Fodor, J. (1980). Methodological Solipsism Considered as a Research Strategy in Cognitive Psychology. The Behavioral and Brain Sciences, 3, 63-109. En H.L. Dreyfus, (Ed.), Husserl Intentionality and Cognitive Science. Cambridge: MIT Press.
- Fodor, J. (1981). El problema mente-cuerpo. Investigación y Ciencia, 3, 62-75.
- Fodor, J. (1984). El lenguaje del pensamiento. Madrid: Alianza Universidad
- Fodor, J. (1986). La modularidad de la mente. Madrid: Morata.
- Fodor, J; y Katz, J.J. (Eds.), (1964). The Structure of Language: Readings in the Philosophy of Language. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Garcia-Carpintero, M., (1995). El Funcionalismo. En F. Broncano, (Ed.), La mente humana. Madrid: Trotta.
- Garfield, J.L. (Ed.). (1987). Modularity in Knowledge Representation and Natural-Language Understanding. Cambridge, MA: MIT Press.

- Gelman, R. y Gallistel, J. (1990). Structural constraints on cognitive development. Cognitive Science 14, 39.
- Geschwind, N. (1970). The organization of language and the brain. Science, 170, 940-944.
- Geschwind, N. (1979). Specializations of the human brain. Scientific American, 16.
- Goodglass H; y Berko, J. (1960). Agrammatism and inflectional morphology in English. Journal of Speech and Hearing Research. 7, 257-267.
- Grodzinsky, Y. (1989). Agrammatic comprehension of relative clauses. Brain and Language. 31, 480-499.
- Guttag, J. V. (1977). Abstract data types and the development of data structures. Communications of the ACM, 20(6).
- Jackson, M.A. (1975). Principles of Programming Design. London: Academic Press.
- Jeannerod, M. (1996). De la physiologie mentale. Histoire des relations entre la psychologie et la biologie. Paris: Odile Jacob.
- Johnson, M.H. (1997). Developmental Cognitive Neuroscience. Oxford: Blackwell.
- Kaas, J.H. (1991). Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals. Annual Reviews in Neuroscience. 14, 137-167.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). Beyond Modularity: A developmental perspective on cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kolb, B. (1992). Mechanisms underlying recovery from cortical injury: Reflections on progress and directions for the future. EN F.D. Rose; y D.A. Johnson, (Eds.), Recovery from brain damage: Reflections and directions. New York: Plenum press.
- Lakoff, G; y Johnson, M. (1987). La estructura metafórica del sistema conceptual humano. En Norman, D. (eds.), Perspectivas de la Ciencia Cognitiva, Barcelona: Paidós.
- Linebarger, M.C; Schwartz, M; y Saffran, E. (1983). Sensitivity to grammatical structure in so-called agrammatic aphasics. Cognition. 13, 361-393.
- Lippman, R.P. (1987). An introduction to Computing with Neural Nets, IEEE ASSP Magazine, 4.
- Liskov, B. (1980). Modular programming construction using abstractions, Lecture Notes in Computer Science. 86, 354-378. Abstract Software Specifications, Springer Verlag, 1980.
- Lloyd, D. (2000). Virtual lesions and the not-so-modular brain. J. Int. Neuropsychol Soc. 6(5), 627-635.
- Marr, D. (1982). Vision. San Francisco, CA: W.H. Freeman and Company.
- Martin, J; y Odell, J.J. (1995). Objected-Oriented Methods: A foundation. London: Prentice Hall.
- Maynard, J. (1972). Modular Programming. London: Butteworth.
- Mills, D.L; Coffey-Corina, S.A; y Neville H.J. (1993). Language acquisition and cerebral specialization in 20-month-old Infants. Journal of Cognitive Neuroscience 5(3), 317-334.
- Minsky, M. (1985). The Society of Mind. New York: Simon y Schuster.
- Mohr, J.P. (1976). Broca's area and Broca's aphasia. En H. Whitaker y H.A. Whitaker. (Eds.), Studies in neurolinguistics. vol. I. (pp. 201-235).
- Naur, P. (1963). Revised report on the algorithmic language ALGOL 60. Communications of the ACM. 6 (1), 1-17.
- Parnas, D. L. (1972) On the criteria to be used in decomposing systems into modules. Communications of the ACM. 15 (12).
- Pinker, S. (1994). The Language Instinct. London: Allen Lane.
- Pratt, T.W. (1987). Lenguajes de programación. Diseño e implementación. Prentice-Hall.
- Putnam, H. (1975). The nature of Mental States, en Philosophical Papers, (vol.2). Cambridge: University Press.
- Putnam, H. (1995). Representación y Realidad: Un balance critico del funcionalismo. Barcelona: Gedisa.
- Pylyshyn, Z.W. (1986). Computation and Cognition. Cambridge: MIT Press.
- Rambaugh, J; et al. (1994). Modelado y diseño orientado a objetos. Madrid: Prentice Hall.
- Rorty, R. (1983). La filosofía y el espejo de la naturaleza. Madrid: Cátedra.

- Sammet, J. (1969). Programming systems and languages. New York: McGraw-Hill.
- Schneider, S.F. (1990). Psychology at a crossroads. American Psychologist, 45(4), 521-581.
- Searle, J. (1980). Minds, Brains and Programs. Behavioral and Brain Sciences, 3(3), 417-468.
- Shallice, T. (1988). From Neuropsychology to Mental Structure. Cambridge UK: University Press.
- Smith, H.T; y Green, T.R.G. (1980). Human interaction with computers. Prentice-Hall.
- Smith, N.V; y Tsimpli I.M. (1995). The Mind of a Savant: Language Learning and Modularity. Oxford: Blackwell.
- Smolensky, P. (1988). The proper treatment of connectionism. Behavioral and Brain Sciences, 11(1), 1-74.
- Spelke, E.S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. En S. Carey y R. Gelman (Eds.), Epigenesis of the Mind: Essays in Biology and Knowledge. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Zurif, E.B. (1980). Language mechanisms: a neuropsychological perspective. American Scientist, 45-51.

Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics
Universitat Politècnica de Catalunya

Research Reports - 2001

- LSI-01-1-R : *Simple and Efficient Tree Comparison*, Valiente, G.
 - LSI-01-2-R : *A graph distance metric combining maximum common subgraph and minimum common supergraph*, Fernandez, M-L. and Valiente, G.
 - LSI-01-3-R : *Extensive Formalisation of SHERPA Criteria with NoFun*, Burgués, X. and Pastor, J.A. and Franch, X.
 - LSI-01-4-R : *A polynomial time algorithm for the cutwidth of bounded degree graphs with small treewidth*, Thilikos, D.M. and Serna, M.J. and Bodlaender, H.L.
 - LSI-01-5-R : *On the Monotonicity of Games Generated by Symmetric Submodular Functions*, Fomin, F. V. and Thilikos, D. M.
 - LSI-01-6-R : *Determination of influential factors on an ill-structured domains response.*, Rodas, J. and Gibert, K. and Rojo, J.E.
 - LSI-01-7-R : *Experiments on the Minimum Linear Arrangement Problem*, Petit, J.
 - LSI-01-8-R : *Hamiltonian Cycles in Faulty Random Geometric Networks*, Petit, J.
 - LSI-01-9-R : *Towards free form surfaces*, Cotrina, J. and Pla, N. and Vigo, M.
 - LSI-01-10-R : *Communication Tree Problems*, Àlvarez, C. and R. Cases and Diaz, J. and Petit, J. and Serna, M.
 - LSI-01-11-R : *Classification and Clustering Study in Incomplete Data Domain*, Rodas, J. and Gramajo, J.
 - LSI-01-12-R : *A memetic algorithm for the minimum weighted k-cardinality tree subgraph problem*, Blesa, M.J. and Moscato, P. and Xhafa, F.
 - LSI-01-13-R : *Combining Spectral Sequencing and Parallel Simulated Annealing for the MinLA Problem*, Petit, J.
 - LSI-01-14-R : *Information systems action research weaknesses addressed with project management*, Estay-Niculcar, C.A. and Pastor, J. A.
 - LSI-01-15-R : *Characterizing Fractal Features for Texture Description in Digital Images: an Experimental Study*, Molina, L.C and Valdés, J.J.
 - LSI-01-16-R : *Towards refining BSP programs into loosely coupled distributed systems*, Stewart, A. and Clint, M. and Gabarró, J. and Serna, M.J.
 - LSI-01-17-R : *Protección de datos médicos e Internet*, Cortés, U. and Vazquez-Salceda, J. and Lopez-Navidad, A.
 - LSI-01-18-R : *Computación en Internet: Librería MALLBA para problemas de optimización.*, Blesa, M.J. and Petit, J. and Xhafa, F.
 - LSI-01-19-R : *UCTx: A Multi-Agent system to assist a Transplant Coordination Unit*, Cortés, U. and Vázquez-Salceda, J and Lopez-Navidad, A. and Caballero, F.
 - LSI-01-20-R : *Fault Detection and Identification in a Water Distribution System*, Escobet, T. and Nebot, A.
 - LSI-01-21-R : *The ACE Recommender System*, Sangüesa, R. and Vázquez-Huerga, A. and Vázquez-Salceda, J.
 - LSI-01-23-R : *La modularidad de la mente: origen y transformación de una metáfora*, De Gracia, M. and Vigo, M.
-

Hardcopies of reports can be ordered from:

Núria Sánchez
Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics
Universitat Politècnica de Catalunya
Campus Nord, Mòdul C6
Jordi Girona Salgado, 1-3
08034 Barcelona, Spain
nurias@lsi.upc.es

See also the Department WWW pages, <http://www.lsi.upc.es/>

