

APROXIMACIÓN A LOS ORÍGENES DE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA DEL PENSAMIENTO

MANUEL DE GRACIA BLANCO¹ Y ANTONI CASTELLÓ TARRIDA²

¹Departament Psicologia. Àrea de Psicologia Bàsica. Universitat de Girona.

²Departament de Psicologia de l'Educació. Universitat Autònoma de Barcelona.

Resumen

Este trabajo pretende realizar una aproximación histórica a los orígenes de la Psicología Cognitiva del Pensamiento. Un enfoque que incluye a la Psicología Cognitiva dentro de un marco de referencia técnico, propio de la Ingeniería, que caracteriza al pensamiento humano como un complemento ergonómico o un modelo de actuación de aquellas tareas en las cuales la máquina computadora empieza a hacerse presente.

Se describen diversos desarrollos históricos en los campos de la simulación y creación de heurísticos, las tareas de representación mental aplicadas a procesos técnicos y, finalmente se aborda la importancia de las representaciones mentales y de las reglas de pensamiento en las tareas de programación y en los lenguajes de programación.

Palabras clave: Psicología del Pensamiento, ergonomía, simulación, representación mental.

Abstract

This study aims to provide a historical approach to the origins of the Cognitive Psychology of Thought. A vision which includes Cognitive Psychology within a technical frame of reference, pertaining to the world of engineering, which characterises human thought as an ergonomic complement or a model of action for those tasks where computers are starting to make their presence felt.

Various historical developments are described in the fields of heuristic creation and simulation, the tasks of mental representation applied to technical processes and, finally, the importance of mental representations applied to technical processes and the rules of thought in the tasks of programming and in programming languages.

Key words: Psychology of Thought, ergonomic, mental representations, simulation.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende esbozar desde una perspectiva histórica, el núcleo de circunstancias que dieron lugar a la aparición de la psicología cognitivo-computacional. Un enfoque que se centra en las necesidades de desarrollo y transformación de una nueva ingeniería, donde el pensamiento humano se entiende desde una óptica fundamentalmente pragmática como la resolución de tareas específicas basadas en la correcta aplicación de reglas lógicas con una finalidad determinada. Una concepción del pensamiento que pretende ser análoga al modo en que opera una máquina computadora, definida ésta por su capacidad de manipulación de símbolos en términos de reglas precisas o por la manipulación de símbolos gobernados por reglas.

La máquina computadora contiene estructuras de datos como objetos estructurados sintácticamente, oraciones, y reglas que se refieren a esas oraciones. Un programa informático se puede considerar como una secuencia de tales reglas construidas gracias a un lenguaje de programación que puede representar el conjunto de dichas reglas así como las operaciones a

realizar. De este modo, tienen contenido semántico y representacional. La psicología cognitivo-computacional asume que la mente humana tiene un funcionamiento representacional a base de reglas comparable. Así, el punto de vista clásico de la mente se denomina a menudo, el punto de vista de *reglas y representaciones* y se caracteriza por: 1) representaciones estructuradas sintácticamente, y 2) reglas reglas formales, precisas que refieren a la estructura sintáctica de esas representaciones (Tienson, 1987).

Desde un punto de vista histórico, la inclusión de la psicología dentro del marco de referencia tecnológico propio de la ingeniería, hace que el pensamiento humano adquiera un carácter instrumental, que lo convierte en un complemento o modelo de aquellas tareas en las cuales la máquina computadora comenzaba a ser una alternativa a la propia actuación del hombre. Las aplicaciones en las que se solapan la actuación humana y los procesos artificiales abarcan un determinado rango de problemas industriales y económicos ajenos en gran medida al entorno cotidiano de la persona. Un entorno en el que la psicología de corte conductista ofrecía respuestas parciales.

Dos son, por tanto, los campos de interés que justifican la concepción utilitarista e instrumental del pensamiento humano presente en los orígenes de la psicología cognitiva: el campo económico y el campo industrial. En efecto, la introducción de los ordenadores en dichos contextos hizo necesario crear una nueva metodología de estudio de la actuación humana, que permitiera extraer aquel tipo de ejecuciones susceptibles de ser modelizadas (simuladas) o adaptadas a un sistema informático. El papel de la psicología cognitiva en este período, que abarca los años finales de la década de los 50 hasta mediados de los años 70, será fundamentalmente el de descomponer la actuación del individuo humano en aquellas tareas en las que la máquina, reproduciendo los patrones de actuación humanos, podía sustituir o complementar la ejecución del hombre. Tanto en la economía como en la industria los factores relacionados con el control, la eficacia, la optimización y la búsqueda de soluciones rigen los criterios de planificación y de producción (Davis, 1973) donde se buscará en el gestor humano un modelo a reproducir en los programas de las máquinas computadoras.

Desde este marco de referencia, sostendremos la hipótesis de que el papel de la psicología cognitiva en este entramado de disciplinas e intereses que le dan origen, no es tanto elaborar una teoría de la mente humana, como poner a punto toda una serie de metodologías que tendrán por cometido hallar una manera de cartografiar y formalizar un conjunto de actuaciones humanas en unos términos que se adecuen a la *lógica de un sistema*, ya sea éste económico o industrial, y su representación en la *lógica de un ordenador* que lo simulará o complementará. En otros términos, no son los modelos computacionales los que pretenden constituirse en modelos de la mente o del cerebro, sino al contrario; es la psicología cognitiva la que introduce al sujeto conductual en esos modelos.

La principal labor de los psicólogos que poco a poco van orientando a la psicología hacia la recuperación de los estados mentales y que acuñaran el término *cognición* como identificador de esta nueva praxis psicológica, consistirá en describir de forma adecuada a la lógica de la máquina, aquellas tareas que se quieren secuenciar o programar. Inicialmente se trata de operaciones o acciones mecánicas; es decir, puramente conductuales, más tarde esquemas, planes y modos de representación mental. En especial, los modos de representación mental, lógica y toma de decisiones tendrán su campo de aplicación directa en los procedimientos y métodos empleados en las todavía incipientes técnicas y lenguajes de programación.

Uno de los fundadores de esta nueva psicología es George A. Miller. Formado en la tradición conductista de la todavía parten sus primeros trabajos cognitivos (p.e. Frick y Miller, 1951), plantea el nuevo panorama en el que se moverán los psicólogos del siguiente modo *"otra cosa que consiguió el teorema de Turing (...) fue llamar la atención acerca de la adecuación de la descripción de la conducta. No se puede esperar que una máquina simule algo que nunca se ha descrito. Sólo puede pedírsele que se haga cargo de aquellos aspectos de la conducta que un observador ha*

recogido" (Miller, Galanter y Pribram, 1983; pág. 58). La opción parece clara para la psicología: describir y sistematizar aquellos aspectos de la conducta humana susceptibles de ser instaurados en una máquina programable.

Desde un punto de vista epistemológico, se puede considerar que el surgimiento de esta nueva psicología cognitiva forma parte del contexto de descubrimiento de una nueva ingeniería de la invención de *artefactos pensantes*, como los denomina Simon (1979). Dentro de este contexto de descubrimiento se incluye todo cuanto hace referencia a la invención de una hipótesis, y que hay que diferenciar del contexto de justificación de la misma (razones por las cuales se acepta o no una determinada hipótesis). Es irrelevante para la investigación científica la manera como se halla o descubre una hipótesis, ya sea proceso creativo, observación de hechos, inducción, etcétera, porque en definitiva, no se considera que esta sea una tarea propia del pensamiento científico, sino de la imaginación o del pensamiento creativo. Se trataría en este caso de una cuestión psicológica, sociológica o histórica, y no propiamente epistemológica. En este sentido, la Psicología aportará un componente heurístico a la invención de sistemas computacionales o, por extensión, a la ingeniería de la información. Esta última dirige sus esfuerzos a realizar algo que anteriormente no existía, un artefacto nuevo, en este caso una máquina de procesar símbolos. Al no existir previamente, no puede ser descubierto en ningún sitio (las históricas máquinas calculadoras de Pascal (1623-1662) o Babbage (1791-1871) son un precedente excesivamente lejano) ni estudiadas sus características e imitadas, por lo tanto los procedimientos de la ciencia no pueden ser útiles al ingeniero informático, por lo que tendrá que recurrir a saberes de otras disciplinas como parte heurística o inventiva del método científico, que coincidirá en este caso con el contexto de descubrimiento.

Por otra parte, desde un punto de vista pragmático, la psicología cognitiva se presenta en el contexto aplicado de la ingeniería y de la industria, como una tecnología que proporciona herramientas útiles para la adecuación (adiestramiento) del hombre a la máquina. Una máquina cuyas transformaciones técnicas irán modulando y acotando el campo de intervención de la psicología cognitiva. En un primer momento, las nuevas funciones de la máquina computadora o de comunicación orientarán una investigación psicológica centrada en la interacción hombre-máquina. El trasvase de términos procedentes de la ingeniería se convertirán en la fuente de las primeras metáforas computacionales (véase p.e. las teorías atencionales de Broadbent, o en memoria los conceptos de *buffer* y de memoria *operativa*). Mas tarde, la abstracción proporcionada por el software propiciará un segundo desarrollo técnico que, a su vez, hará necesario un nuevo despliegue de saberes psicológicos. Éstos tendrán como cometido hallar estrategias adecuadas para el manejo de tareas fuertemente representacionales, mediadas por un lenguaje artificial, como son las tareas de programación. El software informático proporcionará una nueva riqueza metafórica a la Psicología Cognitiva, que le permitirá aunar conceptos clave como la representación y el lenguaje dentro de una teoría de la mente marcadamente funcionalista.

En definitiva, la psicología cognitiva forma parte del intrincado contexto de descubrimiento de la ingeniería de la información, como fuente de posibles heurísticos inspirados en los modos de actuación humanos y, a la vez, sistematiza nuevos saberes *ergonómicos* en ámbitos que desbordan de la ingeniería o de la economía.

HEURÍSTICOS Y PENSAMIENTO

Ya desde sus primeras aplicaciones en el campo de la industria y la economía, el empleo de máquinas computadoras se dirigió a mejorar la *eficiencia organizativa*, realizando tareas bien estructuradas, analizables de forma rápida y con poco gasto económico (el término castellano tomado del francés *ordenador* recoge el uso administrativo y de gestión, más que el de cálculo o computo expresado por el inglés *computer*). Más adelante, además de las aplicaciones estructuradas

hacia la eficiencia, se empezaron a utilizar los ordenadores como auxiliares en la *toma de decisiones* empresariales en situaciones confusas o poco estructuradas. El objetivo de los sistemas de apoyo a la decisión (*decision support systems*) era mejorar la toma de decisiones para enfrentarse a problemas semi-estructurados, siendo un complemento al componente humano en la gestión. Para ello, los problemas debían estar lo suficientemente sistematizados para que los algoritmos de resolución implementados pudieran ser eficaces (McCosh y Scott Morton, 1978). La misión encomendada a los primeros psicólogos cognitivos será la de sistematizar y formalizar los saberes humanos pertinentes, para implementarlos así en un programa informático que los reproduzca.

Otro ámbito dentro del campo económico en el que la entrada de las máquinas calculadoras planteo grandes retos de análisis fue la *planificación* empresarial. Se pensó en un principio que en este campo la automatización informática sería inviable. Supongamos para ilustrar esto último, que se tiene que planificar la colocación de materias primas o componentes, o ambas cosas a la vez, en diferentes conjuntos de máquinas que realizan el proceso necesario, como transformar componentes en productos. Quizás se tenga que volver a planificar los programas de gestión cada semana para la semana siguiente, o incluso cada día para el día siguiente, si el sistema es suficientemente complejo, la planificación no se podrá realizar mediante los medios convencionales numéricos de programación en el tiempo requerido; una planificación perfecta que se emplea tarde es evidentemente insuficiente. Por este motivo se creyó que los planes no podrían ser, en consecuencia, automatizados, y que deberían ser realizados necesariamente por personas que también deben emplear –puesto que son más lentas que las máquinas computadoras en los cálculos numéricos- métodos *ad hoc*.

Inicialmente se concibió la planificación como una forma organizada aplicable funcionalmente. Es decir, habría que exponer planes asociados sobre una base funcional, desarrollando planes para la producción, estudio de mercados, finanzas, gestión de recursos humanos, etcétera, y que estos planes, tomados en conjunto, representaban un plan total para la organización. Durante la década de los 60 se invirtieron muchos esfuerzos en desarrollar y poner a punto grandes sistemas monolíticos de planificación que no alcanzaron una gran eficacia. No obstante esto, se pudo generar una base suficientemente sólida de conocimientos para permitir abrir una nueva vía en las estrategias de planificación. Es entonces cuando se empieza a hablar de *modelización* de sistemas de planificación y de modelos de *simulación de estrategias*, con el fin de poder dar respuestas a preguntas del tipo *¿qué pasaría si...?* se modificase o substituyese alguno de los parámetros implicados en el problema. El análisis e implementación de estos modelos se realizaba por etapas y requería un trabajo interdisciplinar entre economistas, programadores, analistas de sistemas y psicólogos. Estos últimos tenían el cometido de objetivar las reglas y estrategias de decisión y de gestión del experto humano implicado en dichas tareas (p.e. gestores o administradores) en un intento de obtener un patrón de razonamiento básico para cada tarea que pudiera ser trasladado a un programa informático. En definitiva, de lo que se trataba era de tomar la heurística de los planificadores humanos y hacerla explícita. Para ello, por ejemplo, se desarrollaron técnicas psicológicas para agilizar este tipo de análisis y otros similares que requerían una convergencia de ideas y opiniones de diferentes individuos (Sackman, 1972). En cualquier caso, la planificación económica o empresarial necesitaba una psicología de la utilidad que permita modelizar las estrategias o premisas de pensamiento humano como un factor más a incluir en modelos de control o de gestión económica de mayor escala (Simon, 1954).

Las primeras modelizaciones económicas son muy tempranas en la historia de las ciencias cognitivas. Ya durante la primera Cibernética, von Neumann (von Neumann y Morgenstein, 1944) dedicó un interesante trabajo a este campo. En él se proponía una de las primeras aproximaciones teóricas que relacionaba la teoría de juego con los sistemas de decisión económica y empresarial, siempre con la mirada puesta en la creación de *modelos de decisión*. Hay por tanto, una profunda comunidad de intereses entre la modelización Cibernética y la modelización matemática de la

economía, no es extraño, pues, que los numerosos procedimientos y métodos de la primera (teoría de sistemas, teoría de control óptimo, teoría de la decisión, etc.) hayan procurado a la economía gran parte de sus instrumentos.

No es casual tampoco que uno de los fundadores de la inteligencia artificial, Herbert Simon, sea un destacado economista (recibió el premio Nobel de esta disciplina en 1978) que ya en sus primeros trabajos mostraba interés por los mecanismos de control (Simon, 1952) y la modelización experimental del factor humano en tareas de administración y gestión económica (Simon, 1941). En sucesivos trabajos teóricos, fue perfilando aspectos de la teoría de la decisión que podían ser modelizados a partir de estudios empíricos basados en la teoría del juego (Simon, 1958), y proponiendo modelos de gestión en los que las recién llegadas computadoras podían tener un papel relevante en la planificación, administración y toma de decisiones de las grandes empresas y corporaciones del momento (véase p.e. Simon, 1960).

El análisis de organizaciones y el interés por cómo se comporta la gente cuando toma decisiones en las mismas le condujo a sentar las bases de la Inteligencia Artificial. Hasta entonces, su centro de atención había sido el construir teorías sobre cómo se comportan las grandes organizaciones humanas cuando cumplen grandes tareas. Como él mismo Simon cuenta en sus memorias: *"mientras no había dejado todavía mis preocupaciones referentes a la administración y la economía, el centro de mis esfuerzos se volvió intensamente hacia la psicología de la resolución de problemas humanos; en particular, a descubrir los procesos simbólicos que utiliza la gente al pensar. De ahí en adelante, estudié estos procesos en un laboratorio psicológico y escribí mis teorías en lenguajes formales peculiares que se usan para programar computadoras"* (Simon, 1991; pág. 189).

Indudablemente, el nuevo horizonte tecnológico que abrieron las computadoras hizo necesario replantear el funcionamiento de todo un sistema de planificación y gestión económica, que empezaba a ver en su empleo una forma de optimizar recursos materiales y humanos de manera precisa e inmediata, con un control y reducción de riesgos considerable y, lo más importante, con posibilidades de simulación y predicción. En este contexto las técnicas de simulación mediante computadoras son aclamadas por Simon como técnicas de comprensión y predicción del comportamiento de sistemas (a este respecto, puede consultarse la monografía de Simon (1965), *The Shape of Automation for Men and Management* donde se exponen los pormenores de esta concepción en la gestión y en la administración).

Herbert Simon desarrolló la teoría de que un sistema –una industria, una administración municipal, o una agencia de gobierno- que tenía que tomar decisiones o elegir diferentes cursos de acción, probablemente lo haría por medio de procesos que eran en su sentido más amplio, procesos de razonamiento. Los procesos consistirían en sacar conclusiones de unas premisas, y era, por tanto, la premisa, más que la decisión, la que servía como unidad más pequeña del análisis científico (McCorduck, 1979).

Para conseguir todo ello, se requiere que la computadora resuelva un tipo de problemas en los que el conjunto de posibles soluciones puede ser de una extraordinaria amplitud y dispersión. En este caso, la programación algorítmica no es la vía más adecuada por el proceso largo y costoso que supone, lo que iría en detrimento de su eficacia en la toma de decisiones y en la predicción. Estos procesos se identificaron inicialmente con los *procesos simples de información* derivados de la teoría de la información de Shannon y comportaban explorar todas las secuencias admisibles de un proceso hasta llegar al final de n exploraciones; estando n determinada por el poder de computo del ordenador, un claro ejemplo de este tipo de estrategias secuenciales serán los primeros programas de ajedrez (Newell y Simon, 1965). Este juego, tomado como modelo de decisión y planificación, es de una complejidad tal que un algoritmo eficaz tardaría bastante en descubrirse, o en emplearse, si se hubiera descubierto. Existen sin embargo, otros procedimientos que se aplican en este juego donde los algoritmos convencionales no son útiles. En estos casos es cuando se recurre a la heurística como un proceso empírico de aproximación general y que

necesita ser interpretado para cada nuevo acontecimiento. Así, 'controlar el centro del tablero' es una heurística para el ajedrez que no especifica lo que implica (Newell y Simon, 1965).

Como proponen Simon y Newell, es necesaria una alternativa, un 'procesamiento complejo de la información', que no será otra cosa que el 'método heurístico'. La clave del nuevo diálogo hombre-máquina que substituirá al anterior diálogo 'cibernético' entre hombre y computadora propuesto en sus inicios por Turing y von Neumann, y cuya finalidad era la de resolver problemas matemáticos a través de su expresión en el algoritmo conveniente y de su codificación en un lenguaje de programación adecuado.

Como señala Rojo (1995), estos autores inventan un nuevo diálogo entre la computadora y el hombre, donde los problemas a resolver no son fundamentalmente matemáticos, no siendo por tanto el algoritmo la forma de comunicación clave con la computadora. El *Logic Theory Machine* (Newell, Shaw y Simon, 1957) fue el primer programa que se desarrolló para resolver problemas no numéricos de búsqueda selectiva, y constituyó la base de ese nuevo diálogo heurístico informático que continuará con la creación del *Lenguaje de Procesamiento de Listas* (LISP), y que una vez integrado en el 'procesador general de símbolos', es decir el procesador central de una computadora, dará origen a la Inteligencia Artificial. En 1955 Simon y Newell celebraron el nacimiento de la resolución de problemas basándose en heurísticos realizados por una computadora, expresándolo de este modo "*fue el momento en que supimos cómo demostrar que una computadora podía usar métodos heurísticos de búsqueda para encontrar soluciones a problemas difíciles*" (Simon, 1991; pág. 206).

Por lo tanto, un concepto básico en la definición del *Logic Theory Machine* es el concepto de *problema*. En abstracto, dirán estos autores, hay un problema si ofrece un conjunto de posibles soluciones, y una prueba para verificar si un elemento dado de ese conjunto es, de hecho, la solución al problema. La resolución de un problema constituía el fin operativo o el principio operativo que conjugaba las técnicas y elementos del programa *Logic Theory Machine* de forma que fuera capaz de encontrar las pruebas de teoremas en lógica simbólica elemental a través de métodos heurísticos. Si se conseguía una solución quería decir que la máquina funcionaba (criterio clave del saber de la ingeniería). A partir de aquí la computadora podría resolver con los métodos heurísticos convenientes otros tipos de problemas. Para llegar a ello tuvieron que recurrir a toda una variedad de herramientas teóricas y conceptos clave provenientes de la ciencia, que les sirvieron como auxiliares para proceder a la invención de la 'máquina pensante'. Este hecho era absolutamente nuevo en ingeniería; al construir dichas máquinas se tiene que recurrir necesariamente a conocimientos de las ciencias sociales, especialmente la psicología y la lingüística. Las matemáticas en este caso no son la principal herramienta teórica, al contrario de lo que pasa en las ingenierías tradicionales.

La actividad desencadenante de todos los conocimientos y comportamientos específicos de la ingeniería es el diseño, el cual, a su vez, como actividad central específica, produce sus propios conocimientos (Rojo, 1995). El diseño del *Logic Theory Machine* generó un nuevo sector de conocimientos: como inventar nuevos heurísticos capaces de ser procesados por la computadora. No era, sin embargo, una invención *ex nihilo*, ya que se partió en muchas ocasiones del conocimiento de determinadas actuaciones humanas en resolución de problemas que eran conocidas por la psicología aplicada. En este sentido, Newell, Simon y Shaw suponían cierto paralelismo entre la resolución de problemas "*tal y como los resuelven los seres humanos y tal y como lo hacen las máquinas*", añadiendo a continuación que ésta era una equivalencia funcional entre "*el cerebro y el ordenador que no implicaba ninguna equivalencia estructural en un plano anatómico concreto (por ejemplo neurona-circuito lógico)*" y que "*se trataba de una teoría de los procesos de información que intervienen en la resolución de problemas, y no una teoría de los mecanismos neuronales o electrónicos para el procesamiento de la información*" (Newell, Simon y Shaw, 1964; pág. 132)

Posteriormente, Newell y Simon (1961) desarrollaron el *General Problem Solver* (GPS) diseñado

para crear nuevos heurísticos, y que permitió acumular durante tiempo una base de datos de conocimientos en torno a tareas relacionadas con los sistemas de producción industrial, con el trabajo en oficinas y en grandes centros de gestión, sentando de este modo las bases para el desarrollo de los sistemas expertos que marcaran uno de los puntos culminantes de la Inteligencia Artificial clásica. El lenguaje de procesamiento de la información abrió una nueva era en los lenguajes informáticos, generándose toda una amplia y compleja gama de nuevas técnicas y conocimientos a través de los Lenguajes de Programación de Listas, que más tarde dieron origen al diseño del LISP.

Para Newell (1964) las tecnologías informáticas constituirán la ciencia del procesamiento de la información o ciencia de las computadoras, que esta compuesta por una parte de ciencia pura y por otra de ciencia aplicada, entendida esta última como una especial combinación entre teoría y empirismo. Precisamente es en el aspecto empírico donde la psicología aplicada jugará un papel relevante como fuente de heurísticos en los primeros pasos de la Inteligencia Artificial.

El propio Simon (1967) un tiempo más tarde, precisó la noción de *ciencia del procesamiento de la información* introduciendo la noción central de *diseño*. Un concepto que permitía explicar el conocimiento ingeniero informático como una ciencia de lo artificial y como una ciencia del diseño. Desde el punto de vista del diseño, son necesarios unos criterios y especificaciones que permitan traducir los fines cualitativos de la máquina (hacer tal o cual cosa) en fines cuantitativos precisos, y poder expresarlos en términos concretos. Simon y Newell especifican en el diseño de las *máquinas pensantes* desde los elementos más simples a los más complejos; es decir, cuál es la unidad básica de información, su ordenamiento en listas, su espacio de almacenamiento, las operaciones concretas con que han de ser manipulados los símbolos, etcétera. Y es que, para la visión de ingeniero que mediatiza todo el trabajo de estos autores, los símbolos son los trozos materiales de esta nueva arquitectura ingeniera que permiten ser tocados, transportados, organizados de forma específica, tal como ocurre en las otras ingenierías con artefactos como automóviles, edificios, etcétera.

Para implementar esos nuevos diseños, Newell y Simon tuvieron que recurrir a toda una investigación teórica en Psicología sobre las posibles heurísticas usadas por seres humanos en los experimentos de laboratorio basándose en diferentes pruebas y tests. Conviene insistir aquí, que aunque este hecho generó una actividad científica en Psicología, fue por y para una finalidad de la Ingeniería: diseñar nuevas técnicas heurísticas para la programación informática. Ésta es la diferencia con la actividad netamente científica de la Psicología: un psicólogo puede operar con protocolos de conducta humana, pero su finalidad es aumentar sus conocimientos sobre el comportamiento humano para explicarlo mejor. Skinner fue sensible a esta distinción, y no acabó de entender que aportaba la simulación por máquinas de aspectos de la conducta humana a la ciencia psicológica; obviamente porque se trataba de un problema planteado por la Ingeniería y no de un problema genuinamente psicológico.

La finalidad de la ingeniería es conseguir elementos que, transformados en técnicas convenientes, ayuden al diseño inventivo de la máquina. Por este motivo, se puede sostener que la creciente y compleja actividad que llevo a cabo Herbert Simon en la Psicología Cognitiva fue como ingeniero para implementar programas en la máquina computadora, lo que condujo, de forma subsidiaria, a fundar y consolidar la Psicología Cognitiva como una nueva ciencia del estudio del comportamiento humano, que recurre como conocimiento auxiliar, al conocimiento proporcionado por la ingeniería informática a través de una analogía de base.

Esta visión de ingeniero que orienta el trabajo de Simon le llevará a tener una particular visión del ser humano. El hombre, dirá Simon, es *"como un sistema de comportamiento que se adapta a unos objetivos, de ahí que sea artificial, de ahí que revele únicamente aquellas características de un sistema de comportamiento que ponen límite a la adaptación. (...) El comportamiento del ser humano al resolver problemas criptoaritméticos, al adquirir unos conceptos, al memorizar, al captar información para acumularla en la memoria a corto plazo, al procesar unos estímulos*

visuales y al realizar unas tareas en las que se sirve de las lenguas naturales, brinda amplia base en apoyo de tales tesis. La artificialidad – o sea la variabilidad – del comportamiento humano apenas si exige una evidencia que vaya más allá de la observación de la vida cotidiana” (Simon, 1973); pág. 74). Un planteamiento que, a grandes rasgos, mantiene todavía un fondo conductista.

Según Simon (1973), los experimentos psicológicos ponen de manifiesto los amplios campos comunes que existen en la organización del sistema humano de procesar información al aplicarse a diferentes tareas, evidenciando, al igual que la computadora digital, un tipo de funcionamiento serial que no puede procesar más que unos pocos símbolos a un tiempo, y que los símbolos procesados deben retenerse en especiales y limitadas estructuras de la memoria cuyo contenido puede variar con rapidez. Estudios sobre la percepción visual y de las tareas que exigen el uso del lenguaje natural sugieren, continúa Simon, que la memoria está organizada en forma asociativa, y que esas asociaciones reúnen las propiedades de lo que, en la ingeniería de software, se denomina *estructura de listas*. Para el autor, estos simples componentes permiten el funcionamiento de un sistema de símbolos físicos que dan cuenta de la variedad y complicación del comportamiento humano.

LA RECUPERACIÓN DE LAS REPRESENTACIONES: LA ERGONOMÍA NATURAL

A finales de los años 40 el ingeniero Norman Wiener desarrolló un sistema electromecánico de control diseñado para *“usurpar una función específicamente humana”* (Wiener, 1948; pág. 29). La función a la que hace referencia este autor era la ejecución de una complicada pauta de ajuste y la predicción de un comportamiento futuro. Para poder ‘usurpar’ lo específicamente humano de la acción, era inevitable recurrir al estudio de las funciones humanas implicadas. Wiener deja muy claro cual es el interés que tiene la nueva tecnología cibernética por el estudio de las habilidades humanas cuando dice: *“es esencial conocer sus características a fin de poderlas incorporar matemáticamente a las máquinas que controlar”* (Wiener, 1948; pág. 30).

Como se viene indicando en este trabajo, la ingeniería cibernética primero y más tarde la ingeniería de computadoras, incorporarán a la psicología para que se haga cargo del estudio del factor humano en los procesos de control cuando este factor interviene, o como un elemento más en la cadena de comunicación, en tanto que el elemento humano siempre se encuentra presente en el inicio o en el final de un mensaje y de él depende la corrección de la transmisión (Wiener, 1948).

Como intentaremos mostrar, el cometido de una psicología todavía de base conductista, consistirá en estudiar los factores psicológicos implicados en la recepción (procesos sensoriales) y comprensión (procesos cognitivos como memoria, atención y lenguaje) de la información transmitida por unos medios técnicos todavía insuficientes para realizar muchas de las operaciones requeridas de modo automático. En ellos, el factor humano jugará un doble papel al constituir a la vez un complemento y un factor de incertidumbre dentro del sistema de comunicación. Un texto clásico sobre estudio de las relaciones hombre-máquina acota con precisión el problema: *«el diseño y el manejo de los sistemas de información y control ha de concebirse en base a los conocimientos sobre fisiología, psicología y neuropsicología del hombre, de modo que las señales sean comprensibles y no lleguen a saturar los canales de información y de respuesta a fin que ésta sea la adecuada a cada momento y en cada situación»* (McCormick, 1976; pág. 28).

En principio, el interés se centrará en la sensibilidad del canal de recepción humano, inicialmente la percepción auditiva (Stevens, 1951; Miller, 1951), en la selectividad del canal o, en términos estrictamente psicológicos, la atención (sobre todo a partir de los trabajos sobre la teoría

de filtro selectivo de Broadbent (1957; 1958)) y, fundamentalmente, en la estructura y comprensión del lenguaje (Chomsky, 1963), ya que de lo que se tratará en un primer momento será de maximizar la comprensión de un mensaje entre emisor y un receptor humano. No será hasta bastante más tarde, y conforme se desarrolle la tecnología de transmisión de imágenes, cuando ese interés alcance al estudio de la percepción visual (Marr, 1982). Obviamente, los avances tecnológicos en ingeniería de la comunicación caracterizarán de una u otra forma las investigaciones que se llevarán a cabo. De este modo, se pasará de una estricta relación hombre-máquina física (o de hardware) a una relación hombre-máquina de software. En este último caso, como veremos, los lenguajes de programación ocuparán un lugar central.

Numerosos trabajos aplicados al campo de la ergonomía así lo indican. Cuestiones como la ambigüedad del mensaje (Sinaiko y Brislin, 1973), la información incompleta, la información que conduce a errores o el exceso de información (Chapanis, 1965), fueron extensamente estudiadas y documentadas durante los años 50 y 60. También el tipo y la estructura de las oraciones fue ampliamente estudiado en las interacciones hombre-máquina. Greene (1970), por ejemplo, concluyó que las oraciones activas se entienden y recuerdan más fácilmente que sus equivalentes pasivas. Además, mostró que las oraciones con elementos negativos eran más difíciles de entender que sus alternativas afirmativas. Wright y Barnard ilustran este hecho con un ejemplo significativo extraído de los trabajos sobre relaciones ergonómicas hombre-máquina: en la instrucción *"si el marcador se ubica debajo del 15, habrá una producción reducida"*, debería reescribirse más correctamente de la forma *"la producción se incrementa si el marcador sube 15"* (Wright y Barnard, 1975; pág. 609) para facilitar la comprensión del mensaje, disminuyendo de esta forma, el riesgo de cometer errores (Reason, 1990). Broadbent (1977), que como hemos mencionado ejerció una considerable influencia en los comienzos de la psicología cognitiva, realizó algunas de sus aportaciones más relevantes en el campo aplicado de la ergonomía y el lenguaje, donde estableció las relaciones existentes entre la organización de secuencias temporales y su ordenamiento escrito o hablado; por ejemplo, si se describe o se pretende llevar a cabo una serie de acciones, es mejor describirlas o hablarlas en el orden en que se ejecutarán: *"si se va a trabajar de manera que primero se accione el control del carburador y después se encienda la máquina, es mejor escribir la instrucción 'acciones la palanca del carburador antes de encender la máquina', en vez de indicar 'antes de encender la máquina, accione la palanca del carburador'. En el primer caso, las palabras van aparejadas con la acción, de forma que se facilite una mayor ajuste del hombre a la secuencia de la máquina"* (Broadbent, 1977); pág. 17).

La ergonomía como disciplina híbrida surge, por tanto, cuando *"el desarrollo tecnológico obliga al hombre a la manipulación de elementos de mando en base a una gran cantidad de información recibida en poco tiempo y con una necesidad de decisión de la que va a depender la seguridad no sólo del operador sino de la instalación y aún de una cantidad de personal en ocasiones difícil de calcular"* (Murrell, 1971; pág. 32). Es precisamente en esta necesidad ocasionada por el rápido desarrollo tecnológico, donde se encuentra el origen de la psicología cognitiva, que no se produce tanto como un recambio paradigmático por agotamiento del conductismo (que por otra parte seguirá muy activo en otros campos aplicados) sino porque son necesarias respuestas eficaces a las nuevas demandas planteadas por los cambios tecnológicos.

En consecuencia, la recuperación de las representaciones mentales es una necesidad planteada por el funcionamiento de una máquina compleja que es opaca —una caja negra— al operador humano, a la cual debe ajustarse y manipular sin fallos. Para su manejo no queda más recurso que recurrir a representarse mentalmente su funcionamiento, algo que no estaba al alcance de las técnicas conductistas.

Ahora bien, como indica Heims (1991) los ingenieros de la época tenían muy claro que cuando se pretende describir el comportamiento de una máquina es muchas veces indispensable la utilización de un terminología mentalista que parece suponer la existencia de una mente en la

máquina. Esto no representa ningún problema si se toman dos precauciones básicas: que no se vea en ello más que una simple comodidad del lenguaje (el carácter didáctico de la metáfora), y que esta terminología no tiene ninguna relevancia para el estudio de la comunicación. Por lo tanto, se puede decir metafóricamente que una máquina tiene memoria o que aprende, mientras que no se pierda de vista que se hace referencia a algo objetivo, medible, que no tiene ninguna relación con nuestra experiencia interior. Sin embargo, lo que hace la ingeniería cibernética no es dotar a la máquina de atributos o facultades humanas, sino que es el ser humano que, deliberadamente, es asimilado a la máquina.

Si nos atenemos al período histórico que se sitúa entre las décadas de los años 50 y 60, el contexto original de esta asimilación hombre-máquina se puede caracterizar como una *ergonomía mental* que define y limita una serie de actividades o tareas en las que el componente humano forma una pieza más dentro de sistemas complejos de control y comunicación. En este contexto, se hace cada vez más necesario recurrir a una noción intuitiva, próxima a la psicología popular, de representación mental, que se puede entrenar como una habilidad más. Esta recuperación ingenua del mentalismo permite a esta nueva psicología elaborar estrategias de adiestramiento que faciliten la comprensión al operador humano de nociones abstractas e internas de una máquina, cuyas operaciones ya no son mecánicas ni visibles. Parece claro que la tecnología psicológica estaba obligada a ofrecer soluciones que iban más allá de las posibilidades que ofrecía la tecnología conductista.

La mayor parte de la psicología cognitiva de este período, tiene como meta dar una respuesta eficaz a las demandas de una ingeniería, en la que las nuevas aplicaciones técnicas exigen del componente humano una implicación mucho más compleja que la exigida hasta entonces. La intervención de operadores humanos en el manejo y programación de sistemas de datos, control y comunicaciones crea un nuevo campo de investigación para una psicología que, carente de referentes inmediatos, se constituyó sobre una amalgama formada por nociones clásicas de la disciplina (como las facultades y representaciones mentales) por hipótesis actualizadas de la tesis hombre-máquina (desde la máquina de Turing a la Cibernética), y una cierta connivencia con una psicología popular de carácter naturalmente mentalista. El propio Fodor alude a ello de la siguiente forma: *“la psicología cognitiva contemporánea es, en rasgos generales, conservadora en su actitud hacia la tradición basada en el sentido común”* (Fodor, 1975; pág. 214).

El interés por el estudio de los operadores humanos en sistemas complejos crece de forma paralela al desarrollo y la expansión de las máquinas computadoras. La Cibernética dio el primer paso en ese sentido introduciendo al ser humano como un componente más en un bucle continuo de control. En estas situaciones los estudios realizados sobre los operadores humanos se centraban en una ergonomía física de carácter mecánico, en la que hay que ajustarse a secuencias lineales de comandos (p.e. manejo de botones, pulsadores, palancas, etcétera), y en la selección y entrenamiento de operadores a dichas situaciones. Los primeros trabajos de Miller, que mantienen todavía un fuerte tono conductista, ilustran esta idea: *“un aviador recibe normalmente una entrada que varía a cada momento, y se supone que la respuesta que él elabora a menudo es proporcional a la magnitud de la entrada. Aparentemente un buen piloto debe funcionar como un dispositivo analógico, como un servomecanismo. Desde luego, el principiante no puede hacerlo, ya que sus planes están formulados verbal, simbólica y digitalmente, y todavía no ha aprendido a traducirlos en los movimientos proporcionados y continuos que necesita llevar a cabo. Sin embargo, una vez que domina el subplan, y que éste ha quedado inscrito en sus músculos, puede funcionar como si fuera un subprograma de un computador analógico”* (Miller, Galanter y Pribam, 1983; pág.101). Obsérvese que el ‘plan’ al que hace referencia la cita, es el ‘plan de vuelo’; es decir una secuencia cerrada y prefijada (incluso en aspectos de decisión lógica) a la que tiene que ajustarse el piloto ‘como una máquina más’.

Los avances técnicos de esos años son rápidos y la extensión del uso de las máquinas

computadoras en sistemas de control de procesos -entendiendo aquí proceso como el conjunto de las fases sucesivas de una operación artificial- proporciona un componente extremadamente flexible en el acoplamiento hombre-máquina. Para un diseño eficaz de este acoplamiento es necesario crear un nuevo modelo compatible entre las funciones del sistema de control y el componente humano. Es precisamente en esta coyuntura, que requiere soluciones a los problemas prácticos surgidos del manejo de sistemas de control e información, donde la psicología deberá generar nuevas estrategias aplicadas. Delclaux y Botella lo refieren del siguiente modo: *"la nueva realidad de las relaciones hombre-máquina ha hecho que surja la necesidad de analizar en profundidad las tareas que realiza el operador humano. Este análisis se ha hecho desde la perspectiva del procesamiento de la información, resaltando la faceta del hombre como manipulador de símbolos. Esta faceta, tomada de la analogía del ordenador y del propio desarrollo histórico de la ergonomía, ha supuesto un gran impulso para la nueva psicología cognitiva de los últimos veinticinco años"* (Delclaux y Botella, 1982; pág. 251).

El recurso a las nociones mentales de la psicología popular fue imprescindible como punto de apoyo sobre el que situar los primeros métodos de adiestramiento de los operadores de sistemas. En este sentido, la recuperación de los estados mentales no es tanto una cuestión teórica o de principios, sino que es un recurso heurístico útil para la tarea de adiestramiento del componente humano. Por tanto, se puede afirmar que no es la psicología la que recupera el clásico mentalismo, sino que es el mentalismo el que se pretende reinterpretar como una nueva psicología.

También la necesidad de crear un marco de referencia compatible entre la actuación humana y el sistema de control propicia el recurso a la metáfora del ordenador, al permitir un diálogo entre el ingeniero, que diseña los sistemas y el psicólogo, que instruye a los operadores de esos sistemas o que intenta explicitar sus pautas de actuación. La metáfora en este primer momento tiene un valor puramente didáctico, permite instrumentalizar conceptos e ideas acerca de lo psíquico que forman parte de un conjunto de creencias de la psicología del sentido común referentes a estados o procesos mentales, con la suposición de que tales estados existen y tienen contenido. (p.e. la memoria como un recipiente, las ideas como objetos que se tienen o se poseen, la mente como una máquina, etcétera). El recurso a estados mentales internos es desde esta óptica de carácter intuitivo y natural (Stich, 1983); es decir que forma parte de un imaginario colectivo de supuestos acerca de lo mental (Lakoff y Johnson, 1980). El recurso al mentalismo es inicialmente un recurso heurístico (inventivo), eficaz para adiestrar a operadores de sistemas de computación o control.

Probablemente se podrá hablar entonces de representación mental o de procesamiento de la información en un sentido figurado, pero eficaz para el aprendizaje del funcionamiento o la composición interna de la máquina computadora. Pensamos que es éste el papel que juega la metáfora del ordenador en una nueva tecnología psicológica: una forma creativa de instrucción mutua entre el ingeniero, el operador y la máquina computadora o sistema de control. Sin embargo, este proceso de simbiosis entre la ingeniería y la psicología irá disminuyendo conforme el desarrollo técnico haga menos crítico el papel del operador humano en el control de sistemas complejos, al ir asumiendo artificialmente sus funciones (p.e. inteligencia artificial, sistemas expertos, etcétera) o cuando la creación de nuevos heurísticos corra a cargo exclusivamente de los ingenieros de la información. En definitiva, se puede sostener que la psicología *se hace* cognitiva al encontrar en las tecnologías de la información, un campo aplicado donde sus aportaciones podían ser circunstancialmente útiles. Una psicología cognitiva que, en un intento de renovación o independencia epistemológica y teórica, se irá reconstruyendo alrededor del núcleo formado por la metáfora del ordenador. El funcionalismo computacional contribuirá en gran manera a esta independencia a fuerza de insistir en el isomorfismo mente-ordenador (Pylyshyn, 1986). La máquina computadora y sus sucesivas transformaciones técnicas, se convierten de este modo en el objeto y modelo de estudio de la mente humana.

REPRESENTACIÓN MENTAL Y PROCESOS

El término operador se usa en su significado general, como un ser humano interactuando con un sistema de procesamiento de información. En términos generales, en un sistema automatizado los operadores tienen dos clases de papeles. Por una parte, son manipuladores móviles, de finalidad múltiple, encargados de una variedad de acciones de control planificadas de antemano, de ajustes, pruebas y tareas de conservación. Por otra parte, son considerados miméticamente junto a la máquina o sistema de control como *procesadores de datos adaptables*. Supongamos, siguiendo a Simon (1969), un sistema que realice algún tipo de proceso físico controlado por un sistema de proceso de la información que incluye un sistema de control automático y un operador humano. La tarea modelada consiste en transformar información obtenida del sistema de representación visual en acciones manuales sobre el mismo sistema. El operador humano recibe información sobre el estado operacional del sistema, la interpreta o la procesa; es decir, sigue una secuencia y como consecuencia realiza algunas acciones físicas sobre el sistema. En este sentido es útil para la ingeniería tratar al operador humano como el complemento *natural* de la tarea realizada por la máquina, formando ambos de este modo un sistema de control completo. Es más, se considera al operador como un procesador de datos extremadamente adaptable, o al menos más adaptable que la máquina (Bainbridge, 1975).

Cuando se responde a un entorno conocido, el comportamiento refleja en gran medida las propiedades de dicho entorno en función de las metas del momento. Hasta aquí, como muy bien reconocía Skinner (1969), la metodología conductista para la resolución de problemas basada en las contingencias del reforzamiento o en el comportamiento gobernado por reglas, responde perfectamente a estas demandas. Sin embargo, mientras que las contingencias o las asociaciones pueden conectar directamente con cualquier estado de conocimiento en una escala de abstracción, independientemente de su conexión lógica, se deben utilizar procesos diferentes para relacionar estados de diferentes clases de conocimiento, y estos han de fundarse en el razonamiento lógico. Algo que representaba un problema difícilmente superable para el proceder conductista, dado que la posibilidad de un razonamiento lógico es inexistente. Como señaló Chomsky (1959) en su conocida crítica al libro *Verbal Behavior* de Skinner (1957), el aprendizaje mediante significación y comprensión es esencialmente distinto del refuerzo y no ha de confundirse con él. En la propuesta de Skinner no cabe que una frase sea 'cierta'; es decir que sea fruto de alguna valoración o decisión lógica. Para el conductismo una frase es tan válida como otra suponiendo que esté suficientemente reforzada. Resulta evidente que el conductismo poco o nada podía ofrecer en una situación en la que la máquina impone patrones o procesos lógicos de decisión. La cuestión de fondo radica en la imposibilidad del conductismo de establecer criterios lógicos de decisión que no sean arbitrarios; es decir, relativos a un programa de reforzamiento. Esta restricción era un escollo infranqueable para la mentalidad y las necesidades aplicadas de la ingeniería y para las exigencias de una formalización del lenguaje que tiene como modelo la máquina de Turing, como es el caso del primer modelo chomskyano.

Los procesos típicos de decisión son los de deducción e inducción, así como la evaluación de actuaciones y los juicios de valor; procesos que dependen todos ellos de diferentes tipos de estrategias. Cuando se sobrepasan los límites de respuesta prefijados en la máquina (o sistema de decisión) se hace más patente la necesidad de recurrir a mecanismos o procesos internos en el adiestramiento de los operadores.

Cuando se modeliza la actuación humana en una condición de trabajo uniforme y bien definida, como por ejemplo el control manual, las propiedades limitadoras de los mecanismos internos de la persona pueden identificarse adecuadamente y describir en términos referentes a conceptos de las tareas externas (p.e. secuencias de acción sobre botones, pulsadores o palancas). Ahora bien, si el modelo ha de ser útil para situaciones de trabajo como las que se dan en entornos

de sistemas complejos, donde las tareas varían muchísimo y donde pueden interferir diferentes tipos de tarea, compitiendo por los recursos del operador, las propiedades de los operadores han de ser identificadas y descritas en términos referentes a funciones humanas internas a un nivel de descripción razonablemente independiente de las tareas a realizar.

Un operador de un sistema complejo era considerado como un procesador secuencial que, al igual que la máquina computadora, ejecuta diferentes tareas sobre una base de distribución compartida del tiempo (Simon, 1969). Típicamente los procesos de datos secuenciales que se atribuían a un operador se fundamentaban en modelos estacionarios (estáticos), o en representaciones de las propiedades funcionales del sistema, que se ha de controlar bajo la forma de lo que se denominó mapas cognitivos y funcionales. Por lo tanto, eran necesarias unas reglas o estrategias de proceso para activar y controlar los pasos en un proceso de datos secuencial, la descripción de estos pasos en términos de diagramas de flujo proporcionó una herramienta de análisis aplicable y útil (Newell y Simon, 1972).

De nuevo Miller (Miller, Galanter y Pribram, 1983) aparece como precursor de esta nueva ergonomía mental que asimila proceso artificial y ejecución humana, al concebir su funcionamiento como una jerarquía de bucles que denominó TOTE (test, operación, test, salida o *exit*), donde cada bucle comprueba si es necesario hacer algo, y si lo es, realizar la operación requerida, después de la cual se vuelve a verificar la operación y, si es correcta, finaliza el procedimiento. No fue el único, Feigenbaum (1961) en el diseño del *Elementary Perceiver and Memorizer* (EPAM) también intentó caracterizar y simplificar conductas de aprendizaje verbal para que las realizase una máquina. La intención de estos trabajos es clara, como señala también Miller (Miller, Galanter y Pribram, 1983) la naciente psicología cognitiva pretende, inspirándose en los trabajos realizados por Newell, Shaw y Simon en 1958, aplicar las ideas cibernéticas a la psicología. Ahora bien, desde una óptica pragmática cabe preguntarse por cuáles son las aplicaciones prácticas de esas ideas para la psicología.

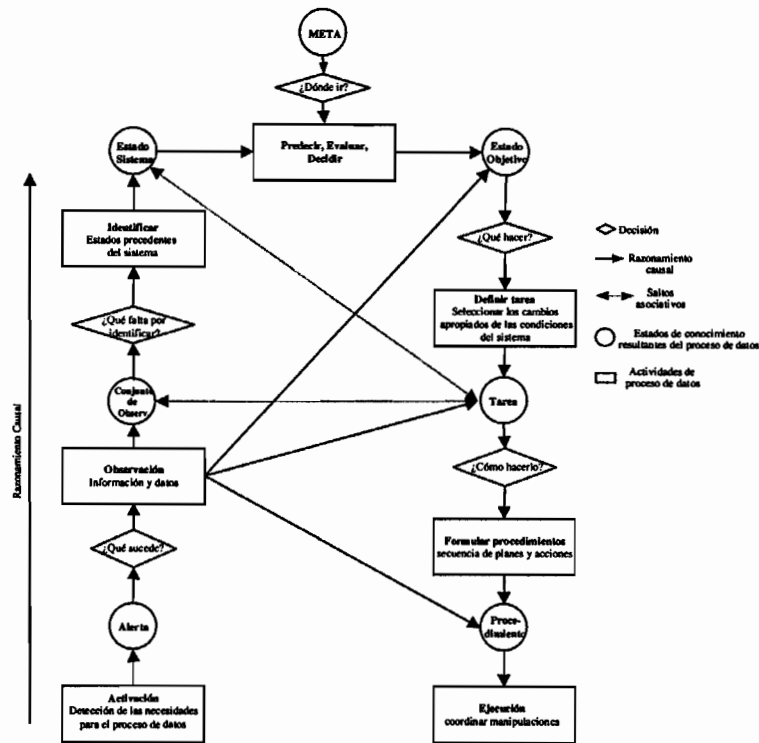
En efecto, para estudiar modelos mentales y estrategias hay que referirse a una tarea y a un entorno específico, ya que de lo que se trata es de instruir al individuo en un trabajo concreto, al que tiene que ajustar unas habilidades mentales particulares. Sin embargo, para lo que interesa en nuestro contexto, el problema reside en deducir orientaciones para el diseño de acoplamientos hombre-máquina adecuados para un repertorio de tareas relacionadas con un sistema concreto. Por lo tanto, sólo se puede hacer referencia a una descripción generalizada de secuencias de tarea típicas. Esta descripción se fundamenta en el análisis de la actuación de operadores expertos en su situación de trabajo normal (de ahí el interés posterior de la inteligencia artificial por crear sistemas expertos artificiales) y, con frecuencia, una manera efectiva de distinguir sus procesos internos en esta situación consiste en obtener y analizar protocolos verbales respaldados por observaciones y entrevistas. Una metodología más próxima a una descripción topográfica de las respuestas de tipo conductista, que a una metodología propiamente cognitiva que recurre a estrategias o contenidos mentales.

La eficacia de una actuación experta nace de la facultad de descomponer el proceso que se necesite para una tarea específica como una secuencia de rutinas (aquí el término todavía no tiene el sentido informático que adquirirá después y sólo indica el hábito adquirido de hacer las cosas por mera práctica) que resulten útiles en diferentes contextos. Esto implica la existencia de enlaces en la secuencia en determinados *puntos de operación* que se hacen equivalentes metafóricamente a estados de conocimiento en la mente del operador, y que serán característicos de una habilidad específica. La secuencia o, si se quiere admitir definitivamente el término computacional, el proceso de datos humano, se detendrá en tales enlaces. El modelo de proceso o secuencia y, muy a menudo el nivel de abstracción, cambia, por lo que para estudiar e identificar los procesos, la actividad debe estructurarse de acuerdo con dichos punto clave.

Bainbridge et al., (1968) describen una situación de toma de decisiones en la que el operador utiliza procesos de datos fundados en la comprensión de la estructura causal del sistema que

controla, donde los diferentes puntos de decisión o estados de conocimiento siguen uno tras otro en un orden aparentemente lógico, como el que se muestra en la siguiente figura (figura 1).

Figura 1



En ella se representa un plano esquemático de la secuencia de actividades 'mentales' utilizada entre la iniciación de la respuesta y la acción manual de una supuesta tarea de control. El razonamiento causal y lógico conecta los *estados de conocimiento* (puntos de operación) en la secuencia básica. Unos procesos mentales estereotipados pueden eludir estados intermedios. Unos saltos asociativos pueden conectar cualquier estado de conocimiento (Sheridan y Johanssen, 1976). Para ser capaz de predecir el comportamiento de un sistema y su respuesta a las acciones del operador, éste debe reconocer el estado interno del sistema en cuestión. El proceso necesario para derivar este conocimiento de las observaciones es fundamentalmente un proceso de abstracción y de inducción. En la práctica este proceso puede ser una serie compleja de procesos elementales entre los que figuren la búsqueda, la generación y prueba de hipótesis, la transformación de modelos, la evaluación de actividades, etcétera (Bainbridge et al.; 1968).

En la secuencia básica de los procesos mentales que son representación del conocimiento de la estructura causal del sistema, se puede esperar que los diferentes estados de conocimiento (puntos clave, de decisión o de operación) sigan uno tras otro en una secuencia lógica. Cuando esto no sucede así, y los procesos de datos no son estereotipados o sometidos a procedimientos

fijos, entonces es posible que no haya conexión entre estados siguientes de conocimiento, y algunos de los procesos de nivel superior de la secuencia básica se omitan, como se muestra en la figura anterior. Independientemente de cual de estas dos situaciones se produzca, el operador debe seguir un proceso de datos racional (lógico) y secuencial al reconocer un problema; es decir, es preciso que resuelva la incertidumbre (Rieger, 1976). Obviamente el diseño de protocolos de actuación y el adiestramiento de los operadores correrán a cargo de los nuevos psicólogos cognitivos (Sheridan y Johannsen, 1976) que como 'ingenieros de lo humano', utilizando la terminología skinneriana, serán los responsables de identificar las secuencias *mentales* subyacentes a cada operación. Es evidente que el recurso a *contenidos mentales* o *representaciones* se impone de forma inmediata como un modo de tipificar las actuaciones humanas en una tarea delimitada, se trata de una forma de denominar a las actuaciones que, en términos conductistas, se caracterizarían como *encubiertas*. Es evidente también que el recurso a los razonamientos lógicos es un requisito impuesto por la secuencia de operaciones a seguir en dichas tareas, motivo por el cual se hace necesaria una psicología del pensamiento humano análoga al *pensamiento* de la máquina. No se pretende generar una teoría de lo psíquico, como intentaron las escuelas clásicas de psicología, sino simplemente formar un saber útil y práctico para adiestrar al individuo humano en contextos conocidos y determinados, en los que su actuación dependía y condicionaba a la de la máquina o sistema. De ahí que la psicología cognitiva (del pensamiento) aparezca en ocasiones como artificiosa y restringida.

La consecuencia que se extrae es que el hombre y la máquina computadora sólo serán capaces de colaborar en el *procesamiento de datos* si utilizan procesos y estrategias compatibles para resolver una tarea. Los operadores deben comprender y aceptar la estrategia del ordenador, sin que se sobrepasen sus límites de proceso de datos que se pueden utilizar para una tarea. Estos procesos están sujetos a constreñimientos determinados por los mecanismos particulares de cada proceso (p.e. la capacidad de memoria a corto plazo, tiempo de recuperación, modelo mental disponible etcétera) y por el entorno de la tarea (p.e. exigencias de tiempo, información suministrada, etcétera). Además, los códigos utilizados para la comunicación hombre-máquina deben ser compatibles con los procesos mentales del operador. Cuando, por ejemplo, el estado del sistema no se puede identificar mediante una percepción directa, sino mediante un proceso cognitivo de reconocimiento, los operadores reemplazan el razonamiento funcional por el uso de simples indicios como signos de los estados del sistema. De ahí, que uno de los problemas principales estribe en hacer concordar el código utilizado en la información con el modo de procesar datos humanos preferido en la tarea. Como menciona Bainbridge: "*se halló que las representaciones con un formato adecuado permitían que la gente resistiera y asimilara mucha más información de lo que hubiera esperado normalmente. (...). Si se permite a un individuo que estructure una situación compleja según sus necesidades perceptivas y conceptuales, la mera complejidad no es una barrera que impida una acción eficaz*" (Bainbridge, 1975; pág.14). La tarea de entrenamiento humano implica, pues, un amplio conocimiento empírico de las situaciones a tratar y una labor conjunta con los ingenieros que diseñan los sistemas y los heurísticos con los que van a funcionar.

En el caso de sistemas con una organización interna autónoma originada por capacidades adaptativas o de aprendizaje, un modelo 'mental' no se puede basar en informaciones sobre la autonomía y la función internas, como tampoco sobre una secuencia determinística de operaciones. En este caso es necesario utilizar '*modelos intencionales*', es decir, a partir del conocimiento de la información de entrada y la intención real del sistema (estipulada en su diseño) se puede predecir la respuesta del sistema porque se puede suponer que éste actúa racionalmente, siempre que la tarea en curso no sobrepase los límites de capacidad del sistema (Bainbridge, 1992).

Esta concepción dio pie a que Dennett (1977) introdujera la noción de modelos intencionales, un concepto más preciso en este contexto que el de modelos teleológicos o con un objetivo de la Cibernética. La lectura original de Dennet (1987) no deja lugar a dudas del contexto donde se inspira. Este autor parte de las siguientes premisas: a) Un artefacto posee intencionalidad derivada,

b) los seres humanos somos artefactos, por lo tanto, "*nuestra propia intencionalidad es exactamente la de un robot*" (Dennett, 1987; pág. 298). No hay que pensar que Dennett sostiene una identidad entre máquinas y seres humanos; es evidente, observa el autor, que hay diferencias en los procedimientos de diseño y manufactura. Por otro lado, continúa, si los sistemas son construidos por el ingeniero que determina su finalidad última, los seres humanos son 'diseñados' y 'construidos' por los genes 'egoístas'. El 'egoísmo' genético es el supuesto¹ necesario que introduce Dennett para poder atribuir una intención intrínseca al sistema (robot) humano, a modo como el ingeniero dota externamente de intencionalidad (p.e. es útil para...tal o cual tarea) a una máquina con una organización interna autónoma.

REPRESENTACIÓN MENTAL Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

La necesidad de utilizar procesos y estrategias compatibles entre el hombre y la máquina adquiere una especial importancia en el desarrollo e implementación de los primeros lenguajes de programación. El alto nivel de abstracción de las tareas a realizar, su representación, primero lógica y después sintáctica a través de un lenguaje artificial, agudizan el interés por los factores cognitivos implicados en dichas acciones.

Los primeros programadores de ordenadores concebían su tarea como destinada a dirigir el funcionamiento de la máquina; de ahí que en las historias clásicas sobre ordenadores denominasen 'operador' al 'programador'. En las primeras máquinas programables, la exacta representación, el uso de varios registros de máquina, la absoluta ubicación del programa en el centro del almacenamiento, la colección de subsecuencias de instrucciones en un tambor para minimizar las demoras rotacionales, ordenar instrucciones para aprovechar todo el paralelismo disponible en la máquina, etcétera, corría a cargo del programador (Randell, 1975). Dado un problema, y cierto análisis matemático previo, la tarea del programador consistía en 'idear' una secuencia de operaciones de máquina que hallaría la solución, codificaría la secuencia de operaciones en una cinta y presentaría la cinta como entrada a la máquina. El programa así codificado era, esencialmente, la expresión de las instrucciones del operador a la máquina: en lugar de pulsar teclas, mover palancas, el programa escribía 'mandos', 'órdenes' o 'instrucciones', que luego la máquina realizaba. Dado que el programador se ocupaba de dirigir la operación o la actuación de la máquina paso a paso, era preciso que comprendiera y que estuviera bien informado de la manera de trabajar de la máquina; es decir que se representase no sólo su composición interna, sino también su lógica de funcionamiento y por tanto, la exacta representación de los datos y de las reglas que iban a operar sobre ellos.

La necesidad de desarrollar procedimientos de programación eficaces, con un alto nivel de abstracción y representación y con poco riesgo de errores, produce, no sólo gran desarrollo técnico en ese campo, si no también un creciente interés por la mente del programador, ya que se concibe la programación como una tarea equivalente a la resolución de problemas, en las que una correcta representación mental de la estructura del programa a realizar, hará aumentar las probabilidades de encontrar una solución, diseño o estructura eficaz. El siguiente paso consistirá en la traslación de la representación abstracta de la estructura del programa o de la resolución del problema planteado, a un lenguaje de programación artificial.

De esta forma, la tarea de programar se entiende como la solución a un problema previamente

¹ El concepto de 'gen egoísta' al que se hace referencia, es la conocida metáfora acuñada por Dawkins que supone "*al animal individual como una máquina de supervivencia que se comporta 'como si' tuviese un 'propósito', el de preservar sus genes*" (Dawkins, 1988; pág. 196). Conviene señalar que el propio Dawkins advierte en el prefacio de 'El gen egoísta' (1988) que este "*libro debería ser leído casi como si se tratase de ciencia-ficción*" (Dawkins, 1988; pág. 11).

delimitado. La resolución de problemas (de programación) se plantea como una secuencia de etapas, a través de las cuales los objetos de datos y las acciones se perfeccionan hasta que quedan disponibles en el repertorio del lenguaje de programación que se está utilizando. El progreso de una etapa a otra se puede considerar como un avance de lo más abstracto a lo más concreto, de una máquina conceptual idealizada y representada mediante esquemas o diagramas a la programación de la máquina real que hay que programar. Por ejemplo, un concepto explícito en el diseño de programas (que también se trasladará metafóricamente a la Psicología) es el denominado diseño de aproximación por etapas o diseño 'topdown'. En este diseño, el programador empieza con una declaración muy simple del algoritmo en términos de acciones y objetos de datos de muy alto nivel que irá concretando hasta poderlos incluir en un programa.

Las reglas que definen este tipo de diseño fueron descritas por primera vez en el *General Problem Solver* de Newel y Simon (1972) y se conocen como reglas de producción, a partir de un conjunto de ellas se constituye lo que se denominará sistema de producción. Como restricción a las reglas de producción que permitan verificar la compatibilidad lógica de las producciones, se implementan reglas de verificación a partir de diversas estrategias posibles. Al utilizar el sistema de producción así definido como metáfora de la mente humana, Newell y Simon supusieron que las propias producciones están almacenadas en la memoria y que las reglas de derivación (la lógica implícita) eran, al igual que en la propuesta de Chomsky, de carácter innato.

Por otro lado, la formalización del lenguaje natural que intenta Chomsky, sienta las bases para el desarrollo de los lenguajes artificiales a la vez que plantea una nueva forma de interacción con la máquina computadora, donde la sintaxis tiene 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).

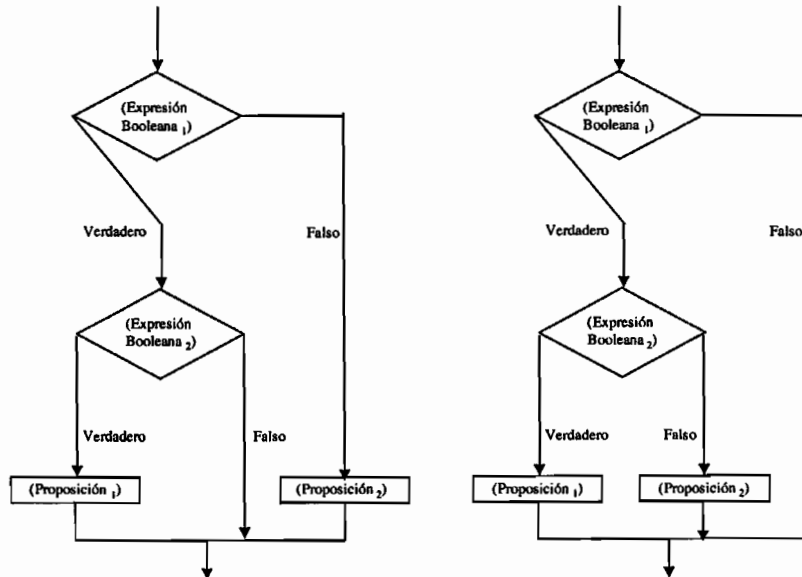
Casi al mismo tiempo que Chomsky desarrolla la gramática de libre contexto en un intento de definición de la sintaxis natural del lenguaje, Backus y Naur (Naur, 1963) desarrollaron una forma prácticamente idéntica de gramática, la *Backus Normal Form* (BNF), pensada para la definición sintáctica del lenguaje de programación ALGOL (*Algorithmic Language*). La complejidad en la comprensión y en el uso de los lenguajes informáticos de alto nivel como los basados en las mencionadas gramáticas CNF (*Chomsky Normal Form*) o BNF de Backus y Naur, representará un nuevo campo de estudio en el que se extenderá la investigación psicológica (Mayer, 1976b).

A la variada notación sintáctica de los lenguajes de programación y su complejidad estructural, había que añadir una ambigüedad interpretativa en la toma de decisiones debida a la implementación de operadores condicionales en la sintaxis de estos lenguajes. Se entiende en este contexto por interpretación ambigua, una interpretación condicional que conduce a dos o más interpretaciones diferentes y que requiere una mayor movilización de recursos cognitivos del programador para poder expresar y verificar la secuencia del programa. Supongamos, por ejemplo, la siguiente forma de proposición condicional doble del ALGOL:

```
If <expresión booleana1> then if <expresión booleana2> then
    <proposición1> else <proposición2>
```

Esta forma de proposición es ambigua, porque no está claro cuál de los dos diagramas de flujo a los que da lugar se está utilizando (figura 2).

Figura 2



Estas ambigüedades, unidas a las ya mencionadas dificultades en el empleo de los lenguajes artificiales, hacen crecer el interés por el estudio de las representaciones mentales en el aprendizaje de los lenguajes de programación (Hoc, 1977). En este sentido, Smith y Green (1980) lamentaban que la psicología no tuviese una teoría del pensamiento lo suficientemente eficaz para que la programación pudiese tratarse como un caso especial dentro de ella, y anticipaban que el futuro para que eso sucediera estaba todavía muy lejano, de ahí, como añadiría Minsky (1985) que la naciente Inteligencia Artificial prescindiera pronto de las aportaciones heurísticas de la psicología, y fuese esta última la que acabase adoptando procedimientos de la primera desde la analogía computacional. No obstante estas limitaciones, continúan Smith y Green (1980), las investigaciones de la psicología cognitiva podían brindar indicaciones provechosas para los expertos en computación. Estas indicaciones abarcaban básicamente el estudio de la inteligencia humana entendida desde aquellos factores implicados en la optimización, el diseño y análisis de programas; es decir, cómo se adecua el modo de razonar humano a las posibilidades de programación y a la lógica de la máquina, y no como modelo de la inteligencia artificial.

Los esquemas o mapas cognitivos, su relación con la retención y comprensión de listas o la memoria de textos, serán los nuevos recursos técnicos creados por la psicología cognitiva surgidos de estas demandas, que tendrán una utilidad inmediata en el diseño de lenguajes informáticos, en la depuración de errores, comprensión de estructuras lógicas, bucles, enseñanza en el manejo de sistemas de tratamiento de la información, etcétera (Blaubergs y Braine, 1974; Hoc, 1977, Kieras, 1978).

Un gran número de trabajos experimentales en psicología cognitiva del pensamiento permitieron identificar las dificultades que el razonamiento humano encontraba a la hora de interpretar las notaciones sintácticas de un lenguaje de programación (Bainbridge, 1990; Reisner, 1977) y que posteriormente se generalizaron a otros ámbitos de la psicología.

Un ejemplo de este tipo de trabajos son los realizados por Sime, Arblaster y Green (1977). Estos autores demostraron que los lenguajes de programación que incluyen construcciones condicionales de la forma 'si P entonces haga A o bien haga B', resulta más eficaz para el programador emplear la forma equivalente desde el punto de vista lógico a la anterior: 'Si P haga

A; no P; Haga B; fin de P'. Otro ejemplo clásico de este tipo de estudios es el de Shipstone (1960), en él se halló que los sujetos experimentales encontraban dificultades en el concepto de 'cero' cuando una pauta sintáctica incluía un elemento que podía repetirse cualquier número de veces, pero también podía omitirse por completo, en este caso, resultaba más difícil deducir que

Si A entonces
 si B entonces.....o bien...
 o bien si C entonces.....o bien...

la omisión podía interpretarse como repetir cero veces el citado elemento. Trabajos posteriores (Kernighan y Plauser, 1974a) confirmaron la dificultad de las personas en el manejo de 'dobles bucles' de decisión y en la comprensión de construcciones jerárquicas auto-incrustadas. Ambos

si A entonces...
 o bien si B entonces...

 o bien....

autores recomendaban como estrategia psicológica a seguir en la instrucción de programadores noveles, que se evitase enunciados condicionales anidados de la forma:

El problema reside en el enunciado 'si B', que está situado jerárquicamente entre *entonces o bien*. Lo que debería hacerse, en cambio, dicen ellos, sería reorganizar el código de uno dentro de secuencias *o bien-si*:

mucho más ajustadas al "*modo en que procede el pensamiento humano*" (Kernighan y Plauser, 1974a; pág. 117). También Richards (1976) llega a resultados parecidos, según este autor, el razonamiento humano 'comprende' más fácilmente la relación *o bien-si* que la auto-incrustación. Por su parte, Kernighan y Plauser (1974b) añaden que "*este hecho parece 'reflejar' de cerca como piensa la persona*" (Kernighan y Plauser, 1974b; pág. 310).

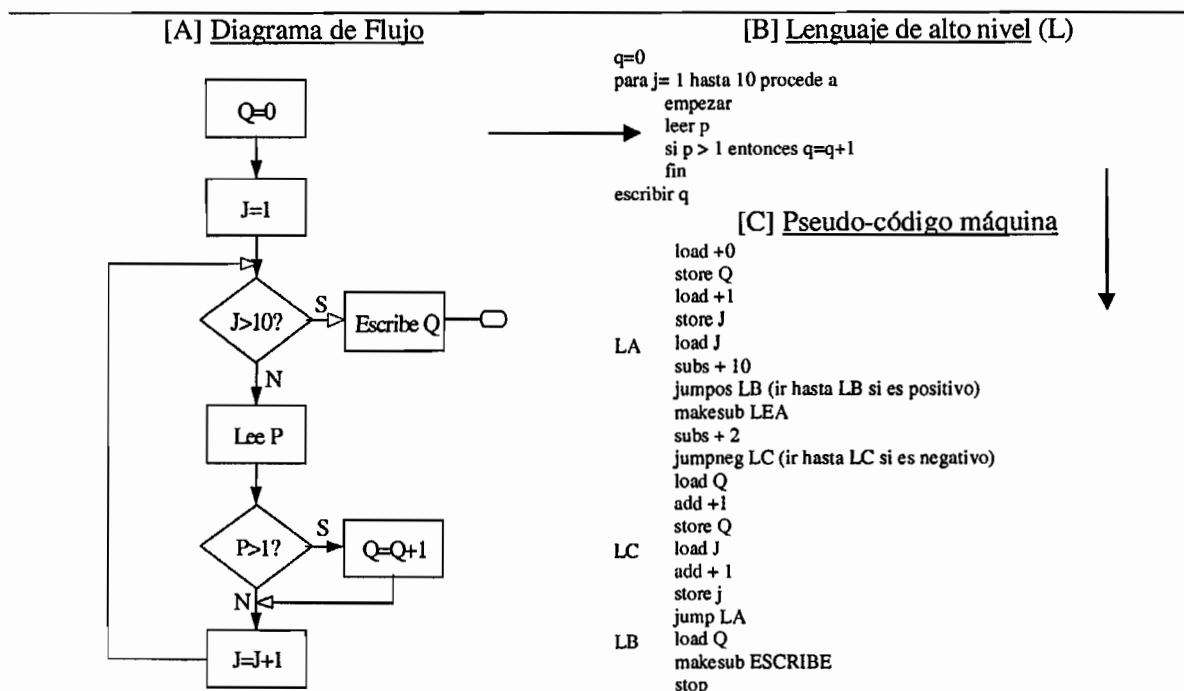
De nuevo Richards (1976), siguiendo la analogía computacional y apoyándose en los trabajos de Miller y Isard (1964), sugiere que la auto-incrustación implica '*poner en la cola*' una decisión pendiente que está "*perfectamente dentro de las capacidades de proceso de la mente, siempre que la cola no se haga demasiado larga. Si el 'si' fuese más complicado (...) la capacidad de almacenamiento mental se desbordaría y la comprensión resultaría mucho más difícil*" (Richards, 1976; pág. 338).

La importancia que tiene la existencia de operadores condicionales en los lenguajes de programación es crucial, ya que unen la lógica de la toma de decisiones con la lógica del lenguaje. Por ello, Newell subrayará que "*estos operadores parecen contener la esencia de la toma de decisión. Además de encarnar la noción de dependencia de los datos de forma pura, son también únicos porque encarnan la conversión de símbolos en conducta*" (Newell, 1981; pág. 85). Como indican Garnham y Oakhill (1990) los sistemas de producción son un lenguaje de programación, añadiendo que son "*especialmente apropiados para el modelado del pensamiento, el razonamiento y las habilidades relacionadas*" (Garnham y Oakhill, 1990; pág. 224). La justificación es, según estos autores, que "*los lenguajes de programación de la inteligencia artificial permiten unir los conceptos que ya se conocen usando las relaciones lógicas (no, y, si...entonces, si y sólo si) de que disponen estos lenguajes*" (Garnham y Oakhill, 1990; pág. 148). Como ellos mismos dicen unas líneas más lejos porque "*las técnicas de búsqueda (construidas a partir de espacios de búsqueda condicionales) fueron originalmente desarrolladas para aplicaciones de solución de problemas en IA utilizándose posteriormente en la simulación de muchas otras habilidades cognitivas*" (Garnham y Oakhill, 1990; pág. 225).

En definitiva, la utilización de los lenguajes artificiales como *modelos* del pensamiento humano aparecen como consecuencia de los primeros trabajos en programación de ordenadores, en un intento de compatibilizar una nueva tecnología con los procesos mentales humanos, soslayados por el conductismo de la época. De este modo, al tener que asimilar la lógica de la máquina expresada a través de un lenguaje artificial con las características que acabamos de señalar, el programador debe 'pensar' en los mismos términos que ésta, por lo tanto debe 'ajustarse' a la recursividad inherente a los bucles del programa, a la lógica de Boole propia de todos los lenguajes de programación, siguiendo una planificación lógica que minimice el riesgo de errores (Reason, 1990). Todo ello recurriendo a una terminología mentalista en la que las metáforas computacionales tienen un valor meramente didáctico o instruccional.

Considérese el caso en el que se intenta identificar la regla o pauta seguida por programadores expertos cuando abordan un nuevo problema de implementación. El primer paso requiere una externalización de las representaciones mentales de modo que puedan ser representadas gráficamente; por ejemplo, los conocidos, y en su momento muy extendidos, diagramas de flujo. Los problemas tendrán que resolverse a partir de una planificación metódica (estrategias) que se adecue a la manera de comprensión (lógica) de la máquina. De ahí el interés por las investigaciones sobre los procesos humanos de verificación de hipótesis. Las reglas de cada secuencia inductiva o deductiva empleada en la verificación de hipótesis podían representarse como un *programa* a seguir (Simon y Kotovsky, 1963). Las tareas requeridas eran análogas a las que se encuentran en muchos test clásicos de inteligencia en los que se exploran determinados patrones seriales hasta dar con una secuencia correcta (Restle, 1970). También será necesario estudiar la lógica subyacente a los procesos de razonamiento humano en términos adecuados a su utilización en la máquina. Los trabajos de la psicología cognitiva sobre razonamiento proposicional, categorización silogística etcétera, son una muestra de esta adecuación (véase p.e. Johnson-Laird y Bara, 1978; Johnson y Byrne, 1991). Un segundo paso consistirá en trasladar la abstracción realizada de las representaciones mentales que han conducido a resolver el problema, a un nuevo nivel de descripción

Tabla 1. Diferentes niveles de descripción de un problema para su implementación en un lenguaje informático



lingüístico (un lenguaje informático) que lo resuelva efectivamente. Finalmente, en un tercer paso, el lenguaje es traducido (compilado) al lenguaje máquina propio de la computadora. Para intentar ilustrar esta secuencia de forma sencilla, supongamos que se tiene que realizar la sencilla operación de leer 10 números y contar cuantos son mayores que uno. Desde los diferentes niveles de descripción la secuencia a seguir para resolver el problema quedaría como sigue (tabla 1):

En primer lugar, en A) se hace abstracción de una solución al problema a partir de la 'externalización' de las posibles secuencias o de la serie de operaciones mentales realizadas por el programador para describir el problema (Mayer, 1976a), en forma de diagrama de flujo en el que se contenga la misma información que en sus posibles descripciones lingüísticas. La lectura visual del flujo de información es más eficaz en un diagrama de este tipo (Schwartz, 1971) que no en sus sucesivas transformaciones en B) y C). Puede observarse también en la estructura del diagrama de flujo que hay un bucle condicional, sin embargo, el bucle se identifica más fácilmente en B) aunque no así la estructura del proceso. En segundo lugar, en B) se representa el nivel de abstracción anterior en una construcción sintáctica definida (lenguaje de programación) que exprese las reglas que permiten solucionar el problema y que tengan una semántica no ambigua. Este punto enlaza la lógica del pensamiento con la sintaxis del lenguaje. Finalmente en C) el lenguaje de alto nivel se traduce a un lenguaje máquina (en la figura un pseudo-código). Aparece aquí un elemento importante que relaciona el lenguaje y la inteligencia (entendida como toma de decisiones). En el diagrama de flujo anterior se representa también una sentencia condicional de la forma *si ... entonces* (si se cumple cierta condición se realiza cierta acción) como las mencionadas más arriba.

Desde la metáfora computacional, la Psicología Cognitiva articula las supuestas relaciones entre el pensamiento y el lenguaje en una serie de transformaciones similares a las expuestas en el ejemplo anterior. Metafóricamente, cada nivel de abstracción simbólica se interpreta como equivalente a diferentes e hipotéticos niveles de representación 'mental' que constituyen un sistema cognitivo. Un primer nivel lo constituye el lenguaje máquina, que forma la base sintáctica y lógica de los dos niveles restantes. El segundo nivel, nivel sintáctico, lo constituye el lenguaje (o lenguajes) natural de una persona, que es el equivalente a los lenguajes artificiales de alto nivel (recuérdese que una misma gramática generativa puede soportar diferentes lenguajes). El último nivel de representación se hace equivalente al contenido conceptual o de conocimiento (Pylyshyn, 1984).

CONCLUSIÓN

Como se ha ido insistiendo a lo largo de este trabajo, el carácter instrumental que imprime el enfoque computacional a la psicología del pensamiento, se pone de manifiesto en las distinciones corrientes que aparecen en los manuales de psicología cognitiva, donde se identifica pensamiento con representación de problemas o con búsqueda de soluciones (Mayer, 1983). El hecho es que el pensamiento humano se intenta describir de forma equivalente en la psicología cognitiva y en la ingeniería de la inteligencia artificial. Sin embargo, las formas de representación o de reducción de problemas y objetivos psicológicos indican más un procedimiento metodológico, que no una equivalencia fundamental: *"la gente obviamente no soluciona los problemas construyendo árboles de decisión y buscando soluciones en ellos. Ni siquiera podrían representarse suficientes estados diferentes, ni buscar a través de ellos para encontrar una solución"* (Garnham y Oakhill, 1994; pág. 229). Obviamente, se podría añadir, porque la metodología de búsqueda y decisión está pensada para que resuelvan problemas las máquinas calculadoras y no los seres humanos o, al menos, aquellos seres humanos que no se dedican a programar computadoras. De ahí también la necesidad de postular procesos cognitivos no-rationales o ilógicos para poder explicar la mayor parte de los razonamientos que se realizan habitualmente (Evans, 1982) y que, no obstante, son resolutivos o eficaces (Griggs y Cox, 1983).

En última instancia, la psicología cognitivo-computacional aceptará la propuesta de Simon (1978) de simulación artificial del pensamiento humano definido en términos computacionales, de este modo uno y otro, el humano y el artificial, podrán ser descritos a través de la misma gama de procesos. Como se ha visto, las ventajas prácticas de esta equiparación son evidentes, si lo que se pretende es ajustar habilidades humanas y artificiales en lo que hemos denominando una *ergonomía mental*.

Ahora bien, la simulación, para que tenga alguna utilidad científica (y no meramente recreativa), necesita de un conocimiento preciso de aquello que quiere simular o reproducir. La simulación es un 'como si' que requiere un preciso conocimiento del objeto real que se quiere modelizar. Este requisito es evidente en todas las ciencias naturales, que han hecho de la simulación por ordenador una herramienta imprescindible de su investigación científica. Parece, no obstante, que desde una perspectiva interna, gran parte de la teoría cognitiva de la mente se desarrolló de modo inverso. El 'como si' adquiere entidad real (se toma la metáfora en serio) y la simulación acaba constituyéndose en el referente central de gran parte de la psicología cognitiva.

En cierto modo, se puede concluir que la psicología cognitiva del pensamiento se constituye en torno a una lógica de actuación conjunta, generada por las nuevas relaciones hombre-máquina, la que conforma una nueva pragmática del pensamiento humano, que se extenderá rápidamente a otras áreas de la psicología impregnándolas de metáforas tecnológicas.

REFERENCIAS

- Anderson, J.R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85, 249-277.
- Bainbridge, L. (1975). The representation of working storage and its use in the organisation of behaviour. En W.T. Singleton y P. Spurgeon (Eds.), *Measurement of Human Resources*. London: Taylor and Francis.
- Bainbridge, L. (1990). Verbal protocol analysis. En J.R. Wilson y E.N. Corlett (Eds.), *Evaluation of Human Work*. London: Taylor and Francis.
- Bainbridge, L. (1992). Mental models in cognitive skill: the case of industrial process operation. En Y. Rogers, A. Rutherford and P. Bibby (Eds.), *Models in the Mind*. London: Academic Press
- Bainbridge, L., Beishon, R.J., Hemming, J. y Splaine, M. (1968). A study of real-time human decision-making using a plant simulator. *Operational Research Quarterly*, Special Conference Issue, 19, 91-106. Reimpreso en E. Edwards y F.P. Lees (Eds.) (1974). *The Human Operator in Process Control*, London: Taylor and Francis.
- Blaubergs, M.S; y Braine, M.D.S. (1974). Short-term memory limitations on decoding self-embedded sentences. *Journal of Experimental Psychology*, 102, 745-748.
- Broadbent, D. (1957). A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychological Review*, 64, 205-215.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and Communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Broadbent, D.E. (1977). Language and ergonomics. *Applied Ergonomics*, 8, 15-18.
- Chapanis, A. (1965). Words, words, words. *Human Factors*, 7, 1-17.
- Chomsky, N. (1959). On Certain Formal Properties of Grammars. *Information and Control*, 2, 137-167.
- Chomsky, N. (1959). Review of B. F. Skinner's Verbal Behavior. *Language*, 35, 26-58.
- Chomsky, N; y Miller, G.A. (1963). Introduction to the formal analysis of natural languages. En R. Luce, R.R. Bush y E. Galanter (Eds.), *Handbook of Mathematical Psychology*. (pp. 269-321). New York: J. Wiley.
- Davis, G.A. (1973). *Psychology of Problem Solving: Theory and practice*, New York: Basic Books.
- Dawkins, R. (1988). *El gen egoísta: bases biológicas de nuestra conducta*. Barcelona. Salvat.

- Delclaux, I; y Seoane, J. (1982). *Psicología Cognitiva y Procesamiento de la Información*. Madrid: Pirámide.
- Dennett, D.C. (1987). *The intentional Stance*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Dennett, D.C. (1977). Intentional Systems. *Journal of Philosophy*, LXVIII, 25.
- Evans, J. (1982). *The psychology of deductive reasoning*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Fodor, J. (1975) The Language of Thought. New York: Harper & Row. Traducción: El lenguaje del Pensamiento (1984). Madrid: Alianza Editorial.
- Frick, F.C; Miller, G.A. (1951). A stadistical description of operand conditioning. *American Journal of Psychology*, 64, 20-36.
- Garnham, A; y Oakhill, J. (1994). *Thinking and Reasoning*. Blackwell Publishers.
- Greene, J.M. (1970). The semantic function of negatives and passives, *British Journal of Psychology*, 61, 17-22.
- Griggs, R. A., Cox, J.R. (1983). The effect of problem content on strategies in Wason's selection task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73, 407-420.
- Heims, S.J. (1991). *The Cybernetic Group*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hoc, J.M. (1977). Role of mental representations in learning a programming language. *Internatinal Journal of Man-Machine Studies*, 9, 87-105.
- Johnson-Laird, P.N ; y Byrne, R. (1991). *Deduction*. East Sussex, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson-Laird, P.N; y Bara, B. (1984). Syllogistic inference. *Cognition*, 16, 1-61.
- Kerningham, B.W; y Plauger, P.J. (1974). Programming style: examples and counterexamples. *Computing Survey*, 6, 303-319.
- Kieras, D.E. (1978). Good and bad structure in simple paragraphs: effects on apparent theme, reading time, and recall. *Journal of verbal Learning and verbal Behavior*.
- Lakoff, G; y Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago Press.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco, CA: W.H. Freeman and Company.
- Mayer, R.E. (1976a). Comprehension as effected by structure of problem representation. *Memory and Cognition*, 4, 249-255.
- Mayer, R.E. (1976b). Some conditions of meaningful learning for computer programming: advance organisers and subjects control of frame order. *Journal of Educational Psychology*, 68, 143-150.
- Mayer, R.E. (1983). *Thinking, Problem Solving, Cognition*. New York: W.H. Freeman and Company.
- McCarthy, J. y Hayes, P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. En D. Michie, y B. Meltzer (Eds.), *Machine Intelligence 4*. Edinburgh: University Press.
- McCorduck, P. (1979). *Machines Who Think*. San Francisco: W.R. Freeman and Company.
- McCormick, E.J. (1976). *Human Factors in Engineering and Design*. New York: McGraw-Hill.
- McCosh, A.M; y Scott Morton, M.S. (1978). *Management Decision Support Systems*. London: MacMillan Press.
- Miller, G.A. (1951). Speech and language. En S.S. Stevens (Ed.), *Handbook of Experimental Psychology*, 789-810.
- Miller, G.A. y Isard, S. (1964). Free recall of self-embedded English sentences. *Information and Control*, 1, 370-398.
- Miller, G.A; Galanter, E; y Pribram, K.H. (1983). *Planes y estructura de la conducta*. Madrid: Debate.
- Minsky, M. (1985). *The Society of Mind*. New York: Simon y Schuster.
- Murrell, K.F.H. (1971). *Ergonomics: Man in his working environment*. London: Chapman Hall.
- Naur, P. (1963). Revised report on the algorithmic language ALGOL 60. Communications of the ACM, vol. 6, núm. 1, pp 1-17.
- Newell, A. (1987). Sistemas de símbolos físicos. En D.A. Norman. *Perspectivas de la ciencia*

- cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Newell, A., y Simon, H.A. (1965). *An example of human chess play in the light of chess playing programs*. En N. Wiener and J.P. Schade (Eds.), *Progress in biocybernetics* (Vol. 2, págs. 19-75). Amsterdam: Elsevier.
- Newell, A., y Simon, H.A. (1956). The logic theory machine. *IRE Transactions on Information Theory*, IT-2(3), 61-79.
- Newell, A., y Simon, H.A. (1961). GPS: A program that simulates human thought. En H. Billings (Ed.), *Lernende automaten* (págs. 109-124). Munchen: R. Oldenbourg.
- Newell, A; Perlis, A; y Schatz, E. R. (1964). Proposal for a Center for the study of Information Processing. What is Computer Science. En H.A. Simon (1987), *The Steam Engine and the Computers: what makes Technology Revolutionary, Computer and People*, vol.36.
- Newell, A; Shaw, J.C.; Simon, H.A. (1957). Empirical Explorations with the Logic Theory Machine: A case study in heuristics. In *Artificial Intelligence*.
- Newell, A; y Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.
- Perlis, A; y Simon, H. (1967). What is Computer Science. En H.A. Simon (1987), *The Steam Engine and the Computers: what makes Technology Revolutionary, Computer and People*, vol36, (pp.11-12).
- Polyshyn, Z.W. (1984). *Computation and Cognition: Toward a foundation for cognitive science*. Cambridge: Bradford Books, MIT Press.
- Polyshyn, Z.W. (1986). *Computation and Cognition*. Cambridge: MIT Press.
- Randell, B. (Eds.), (1975). *The Origins of Digital Computers*. New York: Springer-Verlag.
- Reason, J. (1990). *Human Error*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Reisner, Ph. (1977). Use of psychological experimentation as an aid to development of a query language. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-3, 218-229.
- Restle, F; (1970). Theory of serial pattern learning: structural tress. *Psychological Review*, 77, 481-495.
- Richards, M; (1980). Programming structure, style, and efficiency. En H.T. Smith, y T.R.G. Green, (Eds.). *Human interaction with computers*.
- Rieger, C. (1976). An Organization of Knowledge for Problem Solving and Language Comprehension. *Artificial Intelligence*, 7, 89-127.
- Rojo, A. (1995). Invención Informática y Sociedad. *Anthropos*, 164, 6-19.
- Rojo, A. (1995). La invención de máquina simuladoras de los procesos heurísticos de pensamiento. *Anthropos*, 164, 33-39.
- Sackman, H; y Citrenbaum, R. (Eds.), (1972). *On-line Planning: Towards Creative Problem Solving*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Sammet, J. (1969). *Programming systems and languages*. New York: McGraw-Hill.
- Schwartz, S.H. (1971). Modes of representation and problem representation: well evolved is half solved. *Journal of Experimental Psychology*, 91, 347-350.
- Sheridan, T.B; y Johannsen, G. (Eds.), (1976). *Monitoring Behavior and Supervisory Control*. New York: Plenum Press.
- Shipstone, E.I. (1960). Some variables affecting pattern conception. *Psychological Monographs*, 74, 17.
- Sime, M.E; Arblaster, A.T; y Grenn, T.R.G. (1977). Structuring the programmer's task. *Journal of Occupational Psychology*, 50, 205-216.
- Simon, H.A. (1952). On the application of servomechanism theory in the study of production control. *Econometrica*, 20, 247-268.
- Simon, H.A. (1954). Some strategic considerations in the construction of social science models. En P. Lazarsfeld (Ed.), *Mathematical thinking in the social sciences*. Glencoe, IL: The Free Press.
- Simon, H.A. (1958). Review of the book *Games and Decisions* by R.D. Luce and H. Raiffa. *American*

- Sociological Review*, 23, 342-343.
- Simon, H.A. (1960). The corporation: Will it be managed by machines? En M. Anshen y G.L. Bach (1985), (Eds.), *Management and corporations*. (pp.17-55). New York: McGraw-Hill.
- Simon, H.A. (1960). *The corporation: Will it be managed by machines?* En M. Anshen y G.L. Bach (Eds.), *Management and corporations*, 1985 (págs. 17-55). New York: McGraw-Hill.
- Simon, H.A. (1965). *The shape of automation (for Men and Management)*. New York: Harper and Row.
- Simon, H.A. (1969). *The sciences of the Artificial*. Cambridge: MIT Press, Mass. Traducción: H. A. Simon (1973). *Las ciencias de lo artificial*. Barcelona: Gráficas Víctor.
- Simon, H.A. (1991). *Models of my live*. Basic Books.
- Simon, H.A., y Kotovsky, K. (1963). Human acquisition of concepts for sequential patterns. *Psychological Review*, 70, 534-546.
- Simon, H.A.; y Divine, W.R. (1941). Controlling human factors in an administrative experiment. *Public Administration Review*, 1, 485-492.
- Sinaiko, H.W.; y Brislin, R.W. (1973). Evaluating language translations: Experiments on 3 assessment methods. *Journal of Applied Psychology*, 57, 328-334.
- Skinner, B.F. (1957). *Verbal behavior*. New York: Appleton Century Crofts. Traducción: La conducta verbal (1981). Méjico: Trillas.
- Skinner, B.F. (1969). *Contingencies of Reinforcement: A theoretical analysis*, Appleton-Century-Crofts, 1969.
- Smith, H.T. y Green, T.R.G. (Eds.), (1980). *Human interaction with computers*. Academic Press.
- Stevens, S.S. (Ed.), (1951). *Handbook of experimental psychology*. New York.
- Stick, S.P. (1983). *From folk psychology to cognitive science*. Cambridge: MIT Press.
- Tienson, J.L. (1987). An introduction to Connectionism. *The Southern Journal of Philosophy*, 126, 1-16. Traducción: Rabossi, (Ed.), *Filosofía de la mente y ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Von Neumann, J.; y Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, New Jersey : Princeton Univ. Press.
- Wiener, N. (1948). *Kybernetics*. Massachusetts Institute of Technology. Traducción: Xambó, S. (1986). *Cibernètica o control i comunicació en l'animal i la màquina*. Barcelona: Edicions científiques catalanes.
- Wright, P.; y Barnard, P. (1975). Effect of 'more than' and 'less than' decisions on the use of numerical tables. *Journal of Applied Psychology*, 60, 606-611.