Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION

FUNDACION JUAN MARCH EX-LIBRIS

Por Julio Seoane

JULIO SEOANE es en la actualidad Profesor Agregado de Psicología en la Universidad de Valencia, Director del Departamento de Psicología de la Universidad de Santiago. Sus temas principales de investigación se han orientado hacia la metodología y la psicología del conocimiento, sobre los que ha realizado diversas traducciones y publicaciones.

Inteligencia artificial y psicología

Uno de los enfoques menos útiles para establecer las posibles relaciones entre Inteligencia Artificial y Psicología consiste en tomar como punto de partida a la inteligencia, en tanto que concepto central de la psicología, que trata de distintos aspectos de la conducta humana.

El enfoque dominante de la psicología de la inteligencia viene marcado por el trabajo de Binet y en cierto sentido culmina con la estructura del intelecto de Guilford (1967), pudiendo caracterizarse esta orientación en términos muy generales por enfren-

* BAJO la rúbrica de «Ensayo» el Boletín Informativo de la Fundación Juan March publica cada mes una colaboración original y exclusiva de un especialista sobre un aspecto de un tema general. Anteriormente fueron objeto de estos ensayos temas relativos a la Ciencia, el Lenguaje, el Arte, la Historia, la Prensa y la Biología. El tema desarrollado actualmente es la Psicología.

En números anteriores se han publicado: *Lo físico y lo mental,* por José Luis Pinillos, Catedrático de Psicología de la Universidad Complutense; *Piaget y la psicología cognitiva,* por Juan A. Delval, Profesor de Psicología Evolutiva de la Universidad Complutense; *Modelo judicativo de la conducta,* por Carlos Castilla del Pino, Profesor de Psiquiatría en la Facultad de Medicina de Córdoba; *Tareas actuales de la psicolingüística*, por Víctor Sánchez de Zavala, Profesor de Psicología del Pensamiento y el Lenguaje de la Universidad Complutense; *Posibilidades y límites de los test de inteligencia,* por J. A. Forteza, Profesor Agregado de Psicología Diferencial de la Universidad Complutense; *Herencia y ambiente en la Psicología contemporánea,* por Mariano Yela, Catedrático de Psicología General de la Universidad Complutense; *La Psicología soviética en contradistinción con la Psicología norteamericana,* por J. L. Fernández Trespalacios, Catedrático de Psicología General de la Universidad a Distancia; *Terapia y modificación de conducta,* por Vicente Pele-

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

tarse a la inteligencia mediante sistemas de comparación y de medida (diferencias individuales).

Si se toma como plataforma inicial esta concepción, la Inteligencia Artificial sólo puede entenderse como el diseño de máquinas que ayudan a los humanos en la producción de conducta inteligente (Zeeuw, 1973). Esta pobre concepción del campo claramente no está a la altura de las realizaciones prácticas y de las implicaciones teóricas que la Inteligencia Artificial está produciendo en la actualidad.

Una aproximación más sugestiva consiste en considerar a la psicología como una ciencia que se ocupa de cualquier cosa que pueda describirse adecuadamente como actividad mental (Longuet-Higgins, 1971). Es decir, evitar la vieja tendencia de concebir a la psicología como exclusivamente preocupada por los seres humanos o, en el mejor de los casos, por la conducta humana y animal. Si fuese posible (Turing, 1950) definir la actividad mental en términos de sistemas de procesamiento de información —y parece que tal posibilidad empieza a ser verosímil—, entonces la psicología se ocuparía de cualquier tipo de sistema natural o «artificial» (Simón, 1969) capaz de manifestar actividad mental. En este sentido, la Inteligencia Artificial, o por lo menos un aspecto de ella, constituiría una orientación psicológica, estrechamente relacionada con las llamadas ciencias cognitivas (Bobrow y Collins, 1975), cuyo concepto central sería el de sistema de procesamiento de información entendido como un sistema de símbolos discretos.

Es indudable, por otro lado, que entre la concepción de la Inteligencia Artificial como auxiliar del hombre para

---

Ichano, Catedrático de Psicología Evolutiva y Diferencial de la Universidad de Valencia; *Psicología y bilingüismo,* por Miguel Siguán, Catedrático de Psicología de la Universidad de Barcelona; *Enfermedad mental y sociedad,* por Florencio Jiménez Burillo, Profesor de Psicología Social de la Universidad Complutense; *Estatuto epistemológico de los conceptos mentales,* por José Hierro S. Pescador, Profesor Agregado de Lógica de la Universidad Complutense; *Algunas dimensiones institucionales de la Psicología,* por Helio Carpintero, Catedrático de Psicología General de la Universidad de Valencia; *Hacia una psicología de la comunicación humana,* por Juan Mayor Sánchez, Profesor de Psicología del Pensamiento y del Lenguaje de la Universidad Complutense; y *La psicología de la educación en la sociedad de hoy: esquemas de estudio,* por Cándido Genovard, Catedrático de Psicología General en la Universidad Autónoma de Barcelona.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

producir conducta inteligente y entenderla como el estudio de cualquier sistema capaz de actividad mental, existen niveles intermedios de interpretación que consiguen una aceptación más amplia. En concreto, la comunidad actual de científicos acepta, en general, que la Inteligencia Artificial es un método de investigación o un lenguaje teórico de la psicología.

En cuanto al método, los psicólogos han intentado estudiar el funcionamiento mental mediante experimentación animal, por un lado, puesto que se prestaba a un cuidadoso control experimental; sin embargo, los resultados obtenidos difícilmente se podían generalizar al funcionamiento mental humano. La experimentación humana, por otro lado, y al margen de las dificultades sociales del control de los tratamientos, consiguió teorías de cierto interés sobre las variables observables, pero avanzaron poco sobre el funcionamiento real e interno de la mente humana. Tal como lo expresa B. Raphael (1976), el fracaso radica en la ignorancia de los mecanismos mediante los cuales las condiciones experimentales, tal como las percibe el sujeto, se traducen en las respuestas observables resultantes. El tercer método que puede utilizar actualmente el psicólogo, además de la experimentación animal y humana, se fundamenta en los modelos de computador de la conducta mental humana; es decir, programas de computador que manifiestan una conducta similar a la de los humanos en determinadas tareas.

Por otro lado, la Inteligencia Artificial tiene entrada en la psicología en el plano de los lenguajes científicos que son útiles para la construcción de teorías psicológicas (Seoane, 1971). Evidentemente, no es nueva la diferenciación de lenguajes en el trabajo psicológico. No hace mucho, Newell (1973) mantenía al menos seis tipos de lenguajes fundamentales en psicología:

1. El lenguaje E-R, representado por distintos conjuntos de estímulos y respuestas, que varían en su fuerza de conexión y en las probabilidades de respuesta;
2. el lenguaje de las teorías estocásticas del aprendizaje, donde el estado del organismo está representado por medio de las probabilidades de respuesta, con operadores sobre esas probabilidades en forma de leyes;

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

3. el lenguaje de los modelos de Markov, que consideran al organismo como estando en un determinado estado discreto, con leyes que se establecen en forma de una matriz de transición de probabilidades entre estados;
4. el lenguaje que considera a la persona como un conjunto de «fuerzas», que le presionan de una manera u otra, como en el campo vital de K. Lewin;
5. el lenguaje que considera a la persona como una comunidad interactuante de subagentes, como el Id, Ego y Super-Ego de Freud, donde cada uno se puede describir en términos de personalidad; y
6. el lenguaje que considera al hombre como un procesador de información.

Es en este último nivel lingüístico donde la Inteligencia Artificial aporta una orientación determinada al estilo de hacer psicología. Pero ya en este momento es necesario observar que a la psicología sólo le interesan aquellos aspectos de la Inteligencia Artificial que hacen referencia a los sistemas de procesamiento de información en cuanto métodos para construir teorías, y no como demostración de que existen mecanismos que realizan determinado tipo de tareas.

En resumen, la Inteligencia Artificial es un conjunto de actividades e investigaciones que pueden enfocarse bajo tres grandes orientaciones no exclusivas (Newell, 1973). En primer lugar, como el estudio de los mecanismos que pueden realizar determinadas funciones intelectuales, entendiendo por mecanismo cualquier proceso abstracto que pueda realizarse, en principio, mediante un proceso físico (por ejemplo, juego de ajedrez, pruebas de teoremas, etc.).

En segundo lugar, la Inteligencia Artificial puede entenderse como la investigación sobre métodos, recetas o procedimientos para realizar cierta clase de tareas, siempre y cuando esos métodos necesiten muy poca información para obtener resultados (por ejemplo, métodos heurísticos).

En tercer lugar, la Inteligencia Artificial se puede entender como un tipo de psicología teórica, cuyo presupuesto fundamental es concebir al hombre como un sistema de procesamiento de información y, por tanto, que intenta estudiar el funcionamiento de la mente por medio de mecanismos efectivos.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

Areas de trabajo de la inteligencia artificial

Es necesario, sin embargo, exponer un breve panorama de la corta historia de la Inteligencia Artificial, para poder valorar adecuadamente su reinterpretación dentro del campo de la psicología. No es aconsejable aquí una exposición detallada, puesto que ya existen valiosos trabajos sobre el tema (Nilsson, 1971; Michie, 1974; Jackson, 1974; Slagle, 1971), así que nos limitaremos a indicar las principales revisiones existentes, al mismo tiempo que enumeramos las principales áreas de trabajo.

Es evidente que la prehistoria de la Inteligencia Artificial descansa en los planteamientos de la Cibernética, aunque actualmente la diferenciación es radical (Seoane, 1973). Las teorías que sirvieron como fundamento a la Cibernética fueron, como es sabido (Wiener, 1948), la mecánica estadística, la teoría de la información de Shannon y la teoría de la retroalimentación en mecánica. Cada una de las tres aproximaciones tuvieron distinta fortuna en su aplicación a la psicología; en principio, la teoría de la información parecía ser la más afortunada para la construcción de modelos, pero pronto fue descartada puesto que la unidad «bit» (dígito binario) era completamente ajena al procesamiento real de información realizada por el sujeto humano (véase el concepto de «chunk» —trozo, fragmento— de Miller (1956) como contrapuesto al de «bit»). Posiblemente el concepto de retroalimentación y la teoría de servomecanismos es lo más característico de la cibernética actual, y lo que más influencia ha producido en determinados modelos del sistema nervioso humano (B'al'aceanu y Nicolau, 1971).

Sin embargo, la Inteligencia Artificial comienza a tener sentido a medida que las ciencias del computador traspasan su lenguaje a las ciencias psicológicas, y el computador se concibe como un sistema abstracto de procesamiento de información. Minsky, en 1963, divide en cinco grandes apartados los problemas que se plantean en la investigación de una Inteligencia Artificial:

a) *Investigación Automática:* programas para que la máquina investigue una serie de soluciones a un problema y consiga dar con la más útil.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

b) *Reconocimiento de formas:* programas para extraer las características relevantes de los objetos de estudio.
c) *Aprendizaje:* programas que refuerzan la eficiencia de la solución de problemas mediante experiencia acumulada.
d) *Planificación:* Programas para producir estrategias de solución de problemas.
e) *Inducción:* Programas que establecen generalizaciones sobre los datos obtenidos.

Aunque estos cinco grandes apartados continúan siendo válidos en la actualidad, habría que añadir otras áreas de investigación y, principalmente, habría que tener en cuenta que las estrategias de investigación han variado en gran medida. Es fácil hacer un recorrido de esta evolución a través de unas pocas obras de revisión. Si la investigación en Inteligencia Artificial propiamente dicha comienza en el Instituto Tecnológico de Carnegie en 1955-56, el libro editado por Feingenbaum y Feldman (1963) *Computers and Thought* realizan una revisión antológica de este primer período (1956-1962); posteriormente, Feingenbaum (1968) publica un «Panorama de Inteligencia Artificial: Segunda década», donde pone al día la inspección realizada en su anterior obra. Posiblemente los aspectos de procesamiento semántico son los menos tratados en ambas revisiones; por ello es conveniente completar el panorama con la obra editada por Minsky (1968) *Semantic Information Processing*.

Merece la pena hacer notar que al realizar un examen de estas obras aparece siempre, de una forma u otra, una división de investigaciones, rotuladas unas como «inteligencia artificial» (pruebas de teoremas, programas de juegos, etc.), mientras que otras aparecen como «Simulación de Procesos Cognitivos» (solución de problemas, aprendizaje verbal, formación de conceptos, etc.). Esta curiosa división puede servir ya como índice del papel auténtico que la Inteligencia Artificial juega en psicología, planteamiento que centraremos en la próxima sección.

Procesamiento de información en psicología

Como seguramente el lector ya habrá observado, la intención fundamental de este trabajo consiste en resaltar

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

que determinados aspectos de la Inteligencia Artificial han tenido como efecto colateral la producción de un nuevo modo de concebir la psicología, que a menudo recibe el nombre de «procesamiento de información». Esta orientación tiene características importantes y, en principio, bien definidas. Por un lado, se presenta, si no contrapuesta, al menos como alternativa diferente al modelo conductista que predominó en psicología durante varias décadas, permitiendo así una mayor libertad de crítica, tanto a la epistemología conductista (Mackenzie, 1977), como a sus fundamentos asociacionistas del estímulo-respuesta (Bever et al., 1978; Suppes, 1969; Arbib, 1969). Por otro lado, el procesamiento de información produce una concepción del sujeto humano donde la noción de mente vuelve a tener su lugar, si bien con denotaciones y connotaciones bien distintas a las clásicas, al mismo tiempo que reintegra la información subjetiva como un tipo de dato útil para la investigación psicológica. En tercer lugar, el procesamiento de información coloca en lugar preferente al estudio de la memoria activa, como explicación básica de la elaboración de información y, por tanto, de la ejecución de la actividad humana.

Tal como señala Loftus y Loftus (1976), la principal tarea mental con la que se enfrentan los seres humanos es el procesamiento de información y, en este sentido, los sujetos están recogiendo continuamente información del ambiente, para después almacenar, manipular y reestructurar los fragmentos de esta información en una sucesión de etapas de memoria. En este sentido, continúa Loftus, la investigación científica de la memoria consiste en identificar en primer lugar las etapas de la memoria, para después estudiar los tipos de procesamiento de información que caracterizan a cada etapa. Es evidente que esta concepción de la memoria está más en la línea de los planteamientos de Bartlett que en los de Ebbinghaus, tal como señala Cofer (1976) y analiza todavía mejor Baddeley (1976).

Resulta difícil, sin embargo, sistematizar con cierto rigor la totalidad del campo de procesamiento de información, puesto que sus aportaciones son todavía bastante dispersas, al mismo tiempo que el entramado de relaciones que mantiene con la cibernética, Inteligencia Artificial, ciencias del computador y, en general, con las ciencias

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

cognitivas ponen de manifiesto la flexibilidad de sus fronteras. De todas formas Klatsky (1975) recoge y reformula algunos de los supuestos básicos señalados por Haber (1969) en relación con la corriente de procesamiento de información, indicando fundamentalmente tres:

1. *El supuesto de las etapas:* El tiempo transcurrido entre el estímulo y la respuesta se puede dividir en intervalos más pequeños, correspondiendo cada uno a algún subconjunto de acontecimientos que intervienen entre el estímulo y la respuesta; una etapa o nivel de procesamiento se corresponde generalmente con alguna representación de la información del estímulo.
2. *El supuesto de la capacidad limitada:* En cada etapa de procesamiento, se pueden identificar límites sobre la capacidad humana para procesar información.
3. *El supuesto de continuidad:* La orientación de procesamiento de información realiza una interpretación de algunas áreas de estudio psicológico, que tradicionalmente se habían separado del estudio de la memoria (aprendizaje, percepción, etc.).

Sin embargo, el planteamiento de estos supuestos no agotan de ninguna manera la caracterización del campo, entre otras razones porque a partir de ellos y de sus raíces históricas esquematizadas en las secciones anteriores, se derivan técnicas y estilos de investigación totalmente peculiares. Por ejemplo, es característico de esta orientación el manifestar tendencias metodológicas (Deffenbacher y Brown, 1973) a utilizar organigramas, a plantear enunciados teóricos en forma de programas de computador, a utilizar protocolos subjetivos al igual que datos directos, así como a pedir cierta concordancia de la teoría con la intuición y con lo que se conoce de la neurofisiología como prueba de adecuación teórica.

Sin duda alguna, y al margen de lo anterior, la contribución más relevante de esta orientación a la psicología teórica consiste en la reintegración del concepto de mente, en este caso como sistema de procesamiento de información, permitiendo así el estudio científico de un organismo creativo, pero donde tal creatividad no es especulativa sino compatible con el determinismo.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

El funcionamiento cognitivo humano

Si bien es cierto que la Inteligencia Artificial tiene intereses y aplicaciones en diversas ciencias (Lógica, Investigación Operativa, Economía, etc.), en estos momentos ya debe ser evidente que desde el punto de vista psicológico el interés se centra en que proporciona una sugestiva alternativa teórica, en tanto que está en disposición de atacar un problemba básico: ¿cómo es posible el funcionamiento cognitivo humano?

Sin embargo, y al margen de otros muchos matices, algunos de los cuales ya han sido comentados, se pueden detectar en la actualidad dos líneas de trabajo distintas para atacar el problema, ambas dentro de la orientación de procesamiento de información (Anderson, 1976).

Por otro lado, algunos investigadores intentan atacar el problema mediante programas de computador que manifiesten una inteligencia comparable o superior a la del hombre. Es,por decirlo así, la línea clásica de la inteligencia artificial. Esto implica que el modelo cognitivo tiene obligatoriamente que poder traducirse a un programa de máquina, lo que no sólo exige demostrar su interés teórico en psicología, sino que también debe estar adecuado a las exigencias de eficacia y economía de la estructura de la máquina.

Por otro lado, y con un estilo bastante distinto, otros investigadores se plantean el funcionamiento cognitivo humano mediante modelos de procesamiento de información, que no necesitan obligatoriamente traducirse en programas de computador. Naturalmente, esto no significa que el modelo no debe ser detallado y minucioso, ni tampoco que no pueda traducirse en un programa de máquina. Sencillamente, el modelo cognitivo es un programa de investigación que tiene que demostrar su eficacia mediante cualquier procedimiento.

Aunque aparentemente estas dos tendencias, la de programas de computador y la de programas de investigación, sólo parecen diferenciarse en la relevancia que prestan al uso real del computador, en la práctica ponen de manifiesto una conducta diferenciadora en la actividad del científico. En los programas de computador tiene más importancia el resultado global y externo de la simulación,

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

mientras que en los modelos de procesamiento la labor se centra fundamentalmente en los aspectos específicos de la actividad cognitiva.

De todas formas, estas diferencias se pondrán de manifiesto con mayor claridad mediante dos ejemplos concretos: el EPAM de Feingenbaum como inteligencia artificial clásica y los modelos de memoria como programas de procesamiento de información.

El programa EPAM de Feingenbaum

El modelo EPAM (Elementary Perceiver and Memorizer), elaborado por Feingenbaum en colaboración con Simon, fue construido en lenguaje de programación IPL-V (Newell, 1961) e investigado en un IBM 7090 de la Universidad de Berkeley y en un IBM 7090 de la RAND Corporation. El programa completo y sus primeras realizaciones las establece Feingenbaum en un primer artículo (Feingenbaum, 1959); posteriormente se han publicado una serie de artículos sobre ulterior investigación e interpretación teórica (Feingenbaum, 1961; Feingenbaum y Simon, 1961; Feingenbaum, 1967; Feingenbaum y Simon, 1963). En otros múltiples artículos y publicaciones de psicología y de Inteligencia Artificial, diversos autores comentan y analizan el programa EPAM; para la descripción que realizamos a continuación, nos vamos a ceñir principalmente al artículo de Feingenbaum de 1961.

Según Feingenbaum, la valoración de su programa no debe realizarse en función del interés como programa de aprendizaje, sino en vitud de su capacidad para explicar y predecir los fenómenos del aprendizaje verbal. El programa parte de los experimentos clásicos de aprendizaje de sílabas sin sentido, ya sea en la forma de asociación por pares o como listas seriales; la simulación de la conducta de un sujeto ante esta situación experimental es la finalidad del programa. Al computador, por tanto, deben presentársele una serie de listas para que las vaya asociando y después se le presenta una sílaba-estímulo para que conteste con la correspondiente sílaba-respuesta; el experimentador muestra a continuación la respuesta correcta, para que el computador rectifique su asociación o confirme la ya establecida.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

La conducta del computador deberá ser similar a la de un sujeto cualquiera; en líneas generales, esta conducta deberá tener las siguientes características: se dan con más frecuencia fracasos para responder que errores manifiestos; cuando aparecen estos últimos, se atribuyen a estímulos o respuestas similares. Conductas de oscilación, es decir, asociaciones correctas desaparecen y reaparecen posteriormente. Fenómenos de inhibición retroactiva, cuando se intercalan nuevos pares de sílabas. Por último, a mayor similitud entre las sílabas, más costoso es el aprendizaje y surgen más errores.

La simulación de este tipo de conducta lleva a Feingenbaum a formular la siguiente hipótesis: se puede asegurar que existen unos ciertos procesos de información elemental que un individuo debe realizar si tiene que discriminar, memorizar y asociar estímulos verbales, y que estos procesos de información participan en toda la actividad cognitiva de todos los individuos (Feingenbaum, 1961).

En el programa EPAM se pueden distinguir dos tipos diferentes de conducta: la de realización y la de aprendizaje. En cuanto a la primera, es decir, aquella que consiste en emitir una sílaba-respuesta ante una sílaba-estímulo, podemos distinguir los siguientes pasos.

En primer lugar, un proceso perceptivo que codifica las características percibidas del estímulo-sílaba, produciendo una representación interna. Esta representación interna está construida a base de información descriptiva sobre las características de las letras que constituyen la sílaba.

En segundo lugar, un proceso discriminador mediante el recorrido de árboles diferenciales de características de letras; la representación interna se distribuye por una retícula de características hasta encontrar una imagen almacenada de la sílaba.

En tercer lugar, un proceso indicador que consiste en que esa imagen almacenada deberá tener un indicador de la respuesta que se debe producir. Ese indicador o sugerencia consiste en algunas características diferenciales de la primera letra de la sílaba-respuesta o, si no fuese suficiente, también de la tercera letra y hasta de la segunda (es evidente la razón del orden de observación establecido:

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

primera letra, tercera y segunda, en una sílaba constituida por dos consonantes con una vocal intermedia).

En cuarto lugar, un proceso discriminador. De nuevo el proceso discriminador se pone en funcionamiento distribuyendo el indicador de respuesta por el árbol de características de letras, hasta encontrar la imagen de la sílaba de respuesta.

En quinto lugar y último, el programa emite al medio ambiente la sílaba de respuesta encontrada en el proceso anterior.

Por otro lado, y paralelamente a la conducta de realización, la conducta de aprendizaje está compuesta de los procesos mediante los cuales EPAM aprende a asociar sílabas. Estos procesos son fáciles de adivinar a la vista de la conducta de realización descrita anteriormente.

En primer lugar, EPAM tiene una representación interna de todas las sílabas sobre las que se realiza el experimento. Esta representación interna la adquiere a medida que se le van presentando. Cuando se le presenta una sílaba-estímulo, EPAM construye una representación interna y almacena junto a ella alguna característica sobre la primera letra de la sílaba-respuesta (el indicador), a la vez que construye otra imagen interna de esta sílaba-respuesta. Estos procesos los realiza tantas veces como pares de sílabas se le presentan.

En la realización del aprendizaje, se le presenta una sílaba-estímulo, recoge las características de la primera letra, busca en su árbol de diferenciaciones una sílaba que comience por esa letra. Cuando la encuentra, recoge el indicador que se encuentra almacenado con ella, caso de que exista, y que consiste en la primera letra de la sílaba-respuesta. De nuevo busca en un árbol una sílaba que comience por esa letra y emite entonces la respuesta.

Una vez que EPAM emite la respuesta, el experimentador le enseña la respuesta correcta. Caso de que no coincidan, EPAM entiende que el indicador que había almacenado no es suficiente para discriminar, pues deben existir al menos dos sílabas-respuesta que comiencen por la misma letra. Por lo tanto, EPAM almacena como indicador de la sílaba-estímulo no ya la primera letra, sino también la tercera. Caso de que en un ensayo posterior ocurriese de nuevo un error, almacenaría también la segunda letra,

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

sin posibilidad ya de producirse una nueva equivocación. Este proceso se repite en una serie de ensayos sucesivos hasta que la serie de pares de sílabas está bien aprendido.

La conducta de este programa fue estudiada en múltiples experimentos, no ya ante estímulos y respuestas escritas, sino tambien con entrada visual y respuesta escrita, entrada auditiva y respuesta oral, etc. Lo más importante es que EPAM, como puede comprenderse fácilmente, manifiesta conductas características del aprendizaje de sílabas sin sentido.

Aparecían respuestas incorrectas y fenómenos de olvido. En un momento particular, la diferenciación y asociación por la primera letra puede ser suficiente, pero al añadir más pares de sílabas, dicha diferenciación puede no ser ya suficiente, produciendo errores y olvidos temporales. El fenómeno, entonces, no consiste en que una información desaparezca, sino que el desarrollo del modelo produce insuficiencia de información o interferencias.

En la conducta de EPAM puede apreciarse también la generalización de estímulos y de respuestas. Sílabas similares alternan sus respuestas, por insuficiente discriminación, o se produce el fenómeno ante respuestas similares. La oscilación y la inhibición retroactiva puede explicarse por el mismo procedimiento.

Para valorar convenientemente estas realizaciones, debe tenerse en cuenta que los fenómenos de generalización, olvido, etc., no están programados con anterioridad, sino que aparecen «espontáneamente» en la conducta de la máquina. Por otro lado, el EPAM constituye una demostración concreta (en lenguaje de máquina) de una serie de fenómenos psicológicos sobre los que existen una serie de teorías explicativas.

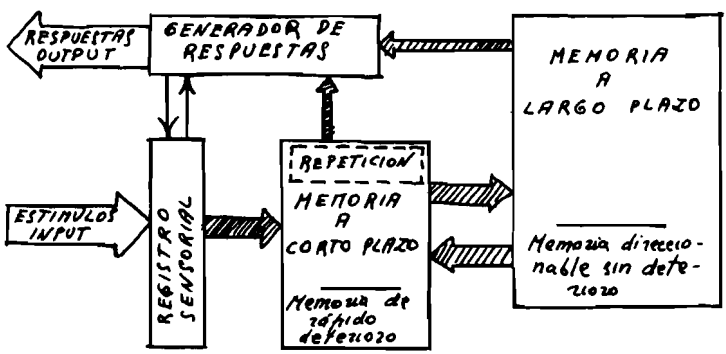
Modelos Cognitivos de Procesamiento de Información

En contraposición, como ya mencionamos, de las investigaciones de Inteligencia Artificial que se originan fundamentalmente en programas de máquina, como el EPAM, y cuya finalidad más patente es la simulación global de la conducta para producir consecuentemente teorías explicativas de procesos psicológicos, aparecen como línea de

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

investigación más actual los modelos de procesamiento de información, cuya traducción a lenguaje de máquina siempre es posible, pero cuyo foco metodológico es la creación de teorías explicativas para su ulterior contrastación empírica. Es evidente, por otro lado, que ambas tendencias se han fortalecido mutuamente, teniendo como origen la analogía del computador, hasta el punto de que sería difícil encuadrar algunas investigaciones concretas en una de estas tendencias de forma exclusiva.

Por lo demás, resulta difícil proporcionar un resumen tan cerrado e ilustrativo como el EPAM dentro de los modelos cognitivos, precisamente porque no se plasman en programas tan concretos, sino que representan proyectos de investigación. Sin embargo, la utilización de organigramas es una de sus características más aparentes, como ya mencionamos anteriormente, de forma que la reproducción de alguno de ellos puede ser el mejor procedimiento ilustrativo.



Tomado de SHIFFRIN y ATKINSON, 1969

Como puede observarse en el organigrama anterior, se representa un modelo cognitivo mantenido por muchos autores donde los estímulos de entrada se introducen en unos registros sensoriales, cuya función principal consiste

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

en realizar una elaboración previa de los elementos, facilitando así el reconocimiento de formas. En cuestión de instantes los datos se introducen en la memoria a corto plazo (MCP), donde los datos se deterioran en pocos segundos, salvo que el individuo utilice la técnica de repetición continua para mantenerlos durante más tiempo. Tanto el mecanismo de repetición como otros factores hacen posible la transferencia de información a la memoria a largo plazo (MLP), que se concibe como un almacén permanente de memoria, donde los elementos se clasifican y localizan en posiciones determinadas, tanto para facilitar las recuperaciones de información ante las demandas de la MCP o del generador de respuestas, como para facilitar la integración de los datos.

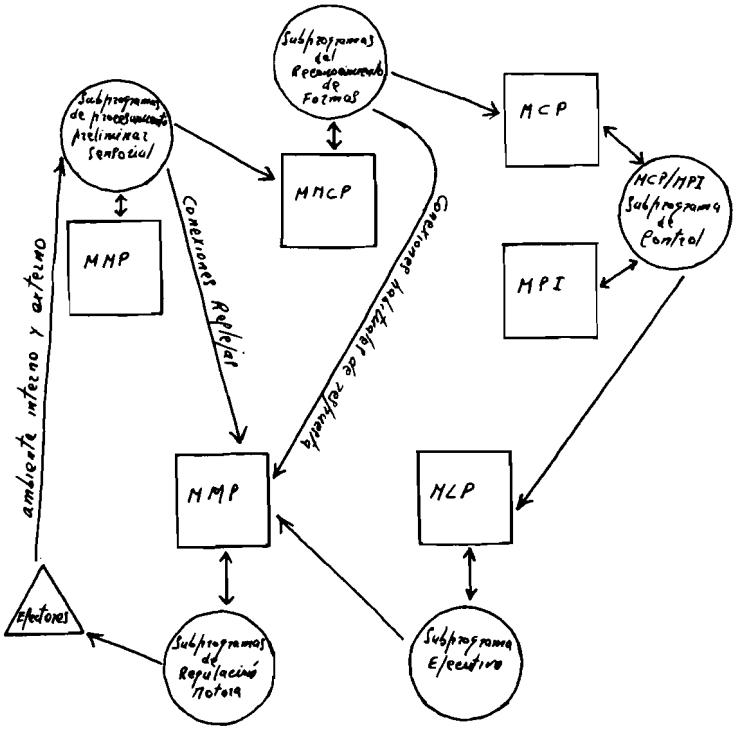
Es evidente que en este organigrama están esquematizados al máximo los diversos planos de procesamiento, así como faltan prácticamente todas las operaciones que realiza el sistema, pero es suficiente como ilustración. Sin embargo, resulta más importante señalar que, en principio, el modelo sólo tiene carácter de conjetura y son las técnicas experimentales, que cada día ponen más a prueba la creatividad del investigador, puesto que resulta insuficiente la clásica metodología estadística y psicométrica, las encargadas de refrendar progresivamente el proyecto de investigación.

Son precisamente los resultados que se van obteniendo mediante esta nueva tecnología experimental (utilización más compleja del taquistoscopio, estudio de cerebros divididos, confusiones acústicas y de recuerdo, paradigma de seguimiento experimental, protocolos verbales, diseño de circuitos lógicos, etc.), los que van complicando paulatinamente las conjeturas de estos modelos hasta el punto de que la proliferación de estructuras cognitivas está llegando a un punto máximo (Norman, 1970).

En los últimos modelos aparecidos, por ejemplo, parece que la simple división en dos almacenes de memoria —a corto y a largo plazo— resulta insuficiente para abarcar la multiplicidad de fenómenos experimentales recogidos. Además, existe cierta tendencia a incluir en los modelos no sólo aspectos específicamente «cognitivos», sino a introducir también otros aspectos de la actividad humana. Así, Pew (1974) mantiene que en los últimos años la

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

ejecución motora ha comenzado ha ser tratada como un proceso, en contraposición con la tendencia clásica de análisis orientados hacia la tarea o con la orientación de la teoría del aprendizaje. Como afirma este autor, resulta muy difícil discutir la ejecución perceptiva y motora sin abarcar el campo completo del procesamiento humano de información. Como muestra de estas tendencias, se puede observar a continuación el modelo de Memoria Jerárquica Activa de Deffenbacher y Brown (1973).



Tomado de DEFFENBACHER y BROWN, 1973

En el modelo de Deffenbacher y Brown se denominan «subprogramas» a las principales funciones de procesa-

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

miento del organismo. Por otro lado, la división de almacenes de memoria es más compleja; la memoria a mínimo plazo (MMP) cumple la función de registro sensorial, de muy breve duración, y se supone que existe una para cada modalidad sensorial. El reconocimiento de formas se realiza gracias a la permanencia de los datos en la memoria a muy corto plazo (MMCP), permanencia que es superior en tiempo de MMP, pero sólo lo indispensable para la tarea de reconocimiento. De la MMCP, los datos pasan a la memoria a corto plazo (MCP), de características análogas a las ya descritas anteriormente, con una duración de segundos. La novedad aquí radica en que los datos pueden pasar directamente de la MCP a la memoria a largo plazo (MLP) o bien introducirse primero en la memoria de plazo intermedio (MPI), cuya duración puede variar desde unos minutos hasta horas, con la finalidad de realizar un procesamiento previo para facilitar la entrada de datos en la MLP.

Al margen de esta mayor complejidad de memorias, puede observarse en el organigrama una serie de conexiones motoras que actúan sobre los efectores del organismo. Es decir, la actividad cognitiva no se limita aquí a una reestructuración de la información, sino que también repercute sobre la conducta manifiesta del organismo.

Comentario final

Al igual que le ocurrió en sus tiempos a la Cibernética, el campo de la Inteligencia Artificial no está bien definido ni en sus límites ni en sus contenidos. En la actualidad sólo se puede realizar una descripción de sus principales métodos y tareas, así como de los resultados que hasta ahora ha conseguido.

Sin embargo, bajo el punto de vista psicológico, la Inteligencia Artificial ha proporcionado un nuevo lenguaje teórico, extraído principalmente de la analogía del computador, que impulsó una orientación cuyas posibilidades todavía no se pueden valorar en su conjunto: el procesamiento de información en psicología.

Lo que ya parece más claro es que la orientación de procesamiento de información proporciona una alternativa sin polémica directa al modelo conductista. Resulta sor-

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

prendente que las críticas al asociacionismo conductista se vienen realizando durante varias décadas, sin conseguir, sin embargo, una eficacia real en las tendencias de investigación psicológica. Ya Popper nos comenta en su autobiografía intelectual (Popper, 1974, pág. 102), que ya hacia los años treinta pensaba que «la psicología de la asociación —la psicología de Locke, de Berkeley y de Hume— era meramente una traducción, a términos psicológicos, de la lógica aristotélica de sujeto-predicado». Más adelante (pag. 104) añade: «Así, incluso los aparentemente empíricos resultados de Pavlov, la reflexología de Bechterev y la mayor parte de los resultados de la moderna teoría del aprendizaje, se materializan, a esta luz, en una malinterpretación de sus hallazgos bajo la influencia de la lógica de Aristóteles; porque la reflexología y la teoría del condicionamiento eran meramente una psicología de la asociación traducida a términos neurológicos».

La permanencia de modelos conductistas en la práctica y teoría de la psicología actual, quizá sólo se pueda explicar por la inexistencia de otra teoría general que pueda ocupar su vacío. Es posible que la orientación cognitiva y los modelos de procesamiento de información puedan convertirse en esa teoría general que haga innecesaria toda polémica con el conductismo.

REFERENCIAS

ANDERSON, J. R.: *Language, Memory and Thought.* Erlbaum, 1976.

ARBIB, M.: «Memory Limitations of Stimulus-Response Models», Psychological Review *76* (1969), 507-510.

BADDELEY, A. D.: *The Psychology of Memory.* Basic Books, 1976.

BEVER, T. et al.: «A Formal Limitation of Associationism», en T. Dixon y D. Horton (eds.): *Verbal Behavior and General Behavior Theory.* Prentice-Hall, 1968.

COFER, Ch. N. (ed.): *The Structure of Human Memory.* Freeman, 1976.

DEFFENBACHER, K. y BROWN, E.: «Memory and Cognition: An Information Processing Model of Man». Theory and Decision *4* (1973), 141-178.

FEINGENBAUM, E.: An Information Processing Theory of Verbal Learning. P-1817, october, Santa Mónica, Calif. RAND Corporation, 1959.

FEINGENBAUM, E.: «The Simulation of Verbal Learning Behavior». Proceedings of the WJCC, *19*: 121-132, 1961.

Colección Ensayos.Fundación Juan March(Madrid)

FEINGENBAUM, E.: «Information Processing and Memory». Proc. Fifth Berkeley Symp. in Math. Statistics and Probability, vol. 4, Biology and Problem of Health; Univ. of California Press, 1967.

FEINGENBAUM, E.: *Panorama de Inteligencia Artificial: Segunda década.* Cuadernos Teorema, 1978 (original, 1968).

FEINGENBAUM, E. y SIMON, H. A.: «Forgetting in an associative memory». Proceedings of the ACM, *16*: 2C2-2C5, 1961.

FEINGENBAUM, E. y FELDMAN, J. (eds.): *Computers and Thought.* McGraw-Hill, 1963.

FEINGENBAUM, E. y SIMON, H. A.: «Performance of a Reading Task by Elementary Perceiving and Memorizing», Behavioral Science, vol 8, 1963.

GUILFORD, J. P.: *The Nature of Human Intelligence.* McGraw-Hill, 1967.

HABER, R. N. (ed.): *Information-processing Aproaches to visual Perception.* Holt, 1969.

KLATZKY, R. L.: *Human Memory: Structures and Processes.* Freeman, 1975.

LOFTUS, G. R. y LOFTUS, E. F.: *Human Memory. The Processing of information.* Erlbaum, 1976.

MACKENZIE, B. D.: *Behaviourism and the Limits of Scientific Methods.* Routledge & Kegan Paul, 1977.

MILLER, G.: «The Magical Number Seven, Plus or Minus Two». Psychol. Review, *63* (1956), 81-97.

MINSKY, M.: «Steps toward Artificial Intelligence», en Feingenbaum y Feldmann (eds.): *Computers and Thought.* McGraw-Hill, 1963.

MINSKY, M. (ed.): *Semantic Information Processing.* MIT Press, 1968.

NEWELL, H. A. (ed.): *Information Processing Language V Manual.* Prentice-Hall, 1961.

NEWELL, H. A.: «Artificial Intelligence and the Concept of Mind», en Schank y Colby (eds.): *Computer Models of Thought and Language.* Freeman, 1973 (traducido en Cuadernos Teorema, 1978).

NORMAN, D. A. (ed.): *Models of Human Memory.* Academic Press, 1970.

PEW, R. W.: «Human Perceptual-Motor Performance», en Kantowitz (ed.): *Human Information Processing: Tutorials in Performance and Cognition.* Wiley, 1974.

POPPER, K.: *Búsqueda sin Término. Una autobiografía intelectual.* Tecnos, 1977 (original, 1974).

RAPHAEL, B.: *The Thinking Computer.* Freeman, 1976.

SEOANE, J.: «El conocimiento cibernético en las ciencias del comportamiento». Teorema (1971), 127-137.

SEOANE, J.: «El conocimiento automático: la Cibernética». Saitabi XXIII (1973), 11-20.

SHIFFRIN, R. M. y ATKINSON, R. C.: «Storage and retrieval processes in lon-term memory». Psychol. Review, *76* (1969), 179-193.

SIMON, H. A.: *The Sciences of the Artificial.* MIT Press, 1969.

SUPPES, P.: «Stimulus-Response Theory of Finite Automata». Journal of Math. Psychology, *6* (1969), 327-355.