

A pesar de su diversidad todas ellas tienen en común dos puntos:

- 1) Rechazan, explícita o implícitamente, el reduccionismo conductista, según el cual la conducta puede ser explicada exclusivamente tomando como base a los estímulos físicos y las respuestas motoras
- 2) Señalan la necesidad de contar con el organismo y con su capacidad de “elaborar” la información del medio en términos que trascienden lo puramente físico, para alcanzar niveles superiores. Así la Psicología Cognitiva se adhiere a la concepción de sistema de tratamiento de información (Engel, 1993; Ortiz, 1995)).

Desde mediados de los años 70 y, hasta finales de los años 80, el enfoque cognitivo dejó de ser una alternativa para convertirse en dominante. Este período podría designarse como de promiscuidad cognitiva, en el sentido de que se produce una mezcla o una confusión de orientaciones, tendencias y actitudes denominadas como cognitivas, pero bastante alejadas de las metas originales. Lo cierto es que esa etapa de promiscuidad cognitiva significa la disolución y el fracaso de las metas originales de la Psicología Cognitiva; y no es hasta finales de los 80 y principios de los 90 cuando se puede observar en algunos autores cognitivos, un intento de volver a las actividades originales pero debidamente adaptadas y transformadas a los tiempos actuales (Seoane, 1995).

2.3.2. SUPUESTOS FUNDAMENTALES DE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA

Los grandes supuestos o axiomas que han marcado las grandes líneas de acción del cognitivismo son:

- 1) El supuesto mentalista, que se concreta en la creencia de que la actividad humana no puede ser ni entendida ni explicada científicamente sin apelar

a constructos internos (mentales); es decir el objeto de estudio de la psicología cognitiva es el estudio de la mente.

- 2) El supuesto funcionalista, que entiende que la mente no es una sustancia distinta del cerebro, sino el resultado de la organización peculiar de éste que le confiere determinadas propiedades funcionales (Putman, 1960, 1967; Fodor, 1968).
- 3) El supuesto computacional que implica las dos siguientes proposiciones:
 - a) los humanos son seres autónomos e intencionales que procesan información para interactuar con el mundo externo; es decir son procesadores activos de información (Cerezo y Pérez.Delgado, 1989; Mora, 1993), y b) la mente es un sistema de propósito general que procesa símbolos (Newell, 1980, 1990). Como apunta M. De Vega (1984), se distinguen dos versiones, la versión fuerte que admite una equivalencia funcional entre el funcionamiento de un ordenador y el de la mente humana, y una versión débil que acepta el lenguaje y los conceptos de las ciencias del ordenador pero sin admitir la equivalencia entre el funcionamiento de los sistemas artificiales y el sistema humano de procesamiento de la información.
- 4) El supuesto restrictivo. La mente es un procesador de capacidad limitada tanto a nivel estructural como de recursos (Broadbent, 1958; Kahneman, 1973; Norman y Bobrow, 1975), así como que ésta depende de un sustrato neurológico, aunque no está totalmente constreñida por el cerebro. El cerebro limita en cuanto a cantidad y tipo de procesos, pero no en su contenido.

Estos supuestos, de los cuales, sólo los dos últimos son derivados básicamente de la idea de que la cognición humana puede ser comprendida si se contrasta con el funcionamiento de los ordenadores, pues el primero ya formaba parte de la Gestalt y el segundo está influenciado por la Fisiología, constituyen el núcleo original o clásico del enfoque de procesamiento de la información o del llamado paradigma simbólico.

Después de casi cinco décadas de desarrollo, la Psicología Cognitiva del procesamiento de la información se caracteriza por tener diferentes metas y enfoques. Si bien son muchos los autores que no coinciden totalmente en sus categorizaciones, sus puntos de vista son perfectamente integrales bajo la disciplina denominada Ciencia Cognitiva.

2.3.3. TECNICAS DE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA

Algunas de las técnicas más empleadas para el estudio de los procesos cognitivos son:

- Análisis del sistema de procesamiento de información. Esta técnica nos la ofrece el denominado "modelo de procesamiento de información". Este modelo se basa en que los humanos somos procesadores de información: la información penetra a través de nuestros sentidos; con el empleo de diferentes operaciones mentales somos capaces de modificar esta información; luego aplicamos otra operación que vuelve a modificarla, y así sucesivamente hasta que llegamos a un resultado que estará disponible para que pueda ser almacenado en memoria o generar una conducta específica. El modelo de procesamiento de información se refiere a las diferentes operaciones (o procesos) que emplea una persona en una determinada situación. Dicho de otra manera, hace referencia a las diferentes organizaciones a que se somete la información a medida que pasa a través del sistema. Como se puede comprobar, este modelo se basa parcialmente en una analogía con el ordenador. Los humanos son como ordenadores, en el sentido de que ambos recogen información, operan con ella y generan una respuesta apropiada. Como los ordenadores pueden hacer gran parte de las cosas que hacemos los humanos, podemos describir algunos de los procesos que ocurren dentro de la mente utilizando los mismos términos que empleamos para describir los procesos que ocurren dentro del ordenador (Mayer, 1985)

- **Análisis de procesos cognitivos.** Además del modelo general de procesamiento de información existen otras técnicas que se utilizan para representar lo que ocurre dentro de la cabeza de alguien cuando ejecuta una determinada tarea. En general, esta técnica de análisis consiste en que una vez elegida una tarea intelectual como podría ser la multiplicación de dos números con bastantes cifras; observar como una persona resuelve el problema y preguntarle sobre lo que hace; en analizar el proceso en pequeñas partes consistentes en procesos (manipulación de cosas) y decisiones (comprobaciones de algo); y después en confrontar el modelo de proceso que se ha construido con la conducta humana real. El modelo de los procesos empleados en la tarea estudiada (en este caso multiplicar dos números de muchas cifras) podrá describirse de diferentes maneras: en forma de un programa de ordenador, o de un diagrama de flujo en que quedan representadas las estructuras y proceso implicados, etc. (Mayer, 1985).

- **Verbalización del conocimiento.** Otro tipo de conocimiento que también se puede representar empleando las técnicas analíticas de la psicología cognitiva es la verbalización del conocimiento: la declaración sobre algún tema concreto, por ejemplo, sobre una historia.

- **Análisis de estrategias.** Técnicas que utilizan las personas para gestionar los distintos recursos de operación sobre información que poseen. Estas técnicas se conocen con el nombre de estrategias cognitivas. Ejemplo en la resolución del siguiente problema: "Pedro recorrió en coche los 300 Kms existentes entre Barcelona y Zaragoza en tres horas", ¿A qué velocidad/hora iba el coche de Pedro?. Para responder a esta pregunta es necesario activar un conocimiento, es decir, saber que la velocidad/hora es igual a la distancia recorrida dividida por el tiempo empleado, un conocimiento sobre un procedimiento aritmético, en este caso, dividir, y una operación cognitiva que permita retener ambos conocimientos. Pero además, es imprescindible un plan de ataque, otra estrategia que le ayude a acceder al objetivo, a la

meta. En general los psicólogos cognitivos han intentado descubrir las estrategias que emplea las personas presentándoles problemas complicados, pidiéndoles que los resuelvan en voz alta, intentando hacer una descripción meticulosa de la estrategia (o heurística) que utilizan, y, después, contrastando el modelo de la estrategia con la actuación humana real.

2.4. CIENCIA COGNITIVA

Los investigadores de los diferentes campos (Lingüística, IA, antropología, filosofía y neurociencias), observaron que se estaban planteando las mismas o parecidas cuestiones sobre la naturaleza de la mente humana y, por tanto, tenía sentido unificar esfuerzos para conseguir un objetivo común: entender cómo percibimos, pensamos, recordamos, usamos y comprendemos el lenguaje, aprendemos, etc. El resultado fue la aparición en la década de los 70, de un nuevo campo interdisciplinar llamado Ciencia Cognitiva que se define como la "ciencia de la mente" (Stilling y Cols, 1987).

La Ciencia Cognitiva busca la comprensión de la cognición, sea ésta real o abstracta, humana o mecánica. Su meta es comprender los principios de la conducta cognitiva e inteligente. El objetivo de todo ello es que nos permita una mejor comprensión de la mente humana, de la enseñanza y aprendizaje, de las habilidades mentales y el desarrollo de aparatos inteligentes que puedan aumentar las capacidades humanas de manera importante y constructiva.

Según Simon hasta hace muy poco la idea de inteligencia estuvo siempre asociada con mentes y cerebros y, en especial con la mente humana. Pero los programas de investigación en I.A. y en Simulación del pensamiento humano por ordenadores nos han enseñado a construir sistemas inteligentes que no son humanos, y cómo sacar los requisitos y las características de la inteligencia del "Hard" de los cerebros y de las cajas electrónicas que los exhiben (Norman, 1981).

Por tanto, creo que la mayor parte de nosotros hoy preferiríamos definir la Ciencia Cognitiva como el dominio de investigación que intenta estudiar los sistemas inteligentes, indistintamente de que estos sean naturales o artificiales, y la naturaleza de la inteligencia. De esta forma, el objeto de estudio de la Ciencia Cognitiva son los fenómenos que habitualmente designamos como "inteligencia", "funciones intelectuales" o "cognición". Sin embargo, lo hace de forma diferente a como lo hacen otras disciplinas que también han tratado el tema (Psicometría, etc.), como a continuación tendremos ocasión de ver.

En primer lugar la Ciencia Cognitiva trabaja desde una perspectiva multidisciplinar. La Ciencia Cognitiva intenta englobar las aportaciones de las diferentes disciplinas, (Inteligencia Artificial, Psicología, Filosofía, Lingüística, Neurociencias y Antropología), en su marco integrador.

En segundo lugar la Ciencia Cognitiva implica una dimensión de estudio abstracto de la cognición, de análisis de sus mecanismos con independencia de las características de los sistemas que les sirvan de substrato (seres humanos, animales, máquinas o sistemas formales). Una meta de primer orden de la Ciencia Cognitiva es precisamente el establecimiento de leyes y teorías que sean igualmente aplicables a la actividad de cualquiera de estos sistemas (Posner, 1989).

En tercer lugar, la C. Cognitiva aborda las funciones intelectuales desde una perspectiva teórico-explicativa. Es justamente esto lo que más la diferencia, por ejemplo, de la psicometría clásica o de la Psicología Comprensiva, y se concreta en un énfasis especial en la concepción de la investigación como un proceso de modelado de los fenómenos cognitivos, es decir, de creación de modelos teóricos de los mismos.

La C.Cognitiva tiende a abordar la teorización desde una manera más clásica: los modelos teóricos han de ser mecanismos formales, es decir, deben estar expresados en lenguajes cuyas reglas sean enteramente precisas, tales como los cálculos matemáticos-lógicos o los lenguajes de programación.

Para la C.Cognitiva el ordenador es algo más que una simple herramienta conceptual y formal. La analogía se lleva a sus consecuencias extremas. Es la versión fuerte de la analogía que anteriormente hacíamos referencia (Searle, 1980).

Dentro de la C.Cognitiva, el criterio que se ha impuesto a una teoría para que ésta sea realmente explicativa y no una mera externalización de nuestras intuiciones es que la teoría sea descrita en la forma de un procedimiento efectivo (Johnson-Laird, 1983; Boden, 1984). Cabe recordar que un proceso efectivo especifica todos los pasos y conductas que llevan a la solución de un problema lógico, de forma que sí una máquina simple efectuara estos pasos, inevitablemente solucionaría el problema.

2.4.1. MARCO TEÓRICO DE LA CIENCIA COGNITIVA

Aunque algunos autores sitúan los orígenes de la C.Cognitiva en la Grecia Clásica (ejemplo, Gardner, 1985), puede decirse que tal y como hoy la conocemos, comienza a gestarse a mediados de este siglo, y alcanza un reconocimiento explícito amplio hacia los años 70 (Adárraga, 1994).

Entre los 50 y los 70 tuvo lugar un proceso de creación y fortalecimiento de vínculos entre diversas disciplinas previamente independientes, que terminarán por acogerse al marco común.

En su estado actual, tal y como ya ha sido indicado anteriormente, la C.Cognitiva está constituida por partes sustanciales de la Psicología, la I.A, la Filosofía de la mente, la Lingüística y la neurociencia. A ellas se unen otras áreas de conocimiento que han encontrado fructífera la aplicación del enfoque cognitivo a algunos problemas propios como la Etología y la Antropología.

2.4.2. METODOLOGÍA

La Ciencia Cognitiva propone que el sistema cognitivo debe entenderse por su analogía con el ordenador y por ello utiliza cada vez con más frecuencia la metodología de la Simulación. Esta postura contiene tres supuestos fundamentales:

- 1) Todos los sistemas cognitivos son sistemas de símbolos y alcanzan su inteligencia a través de hechos internos en símbolos, y mediante la manipulación y combinación de estos símbolos (Norman, 1981).
- 2) Todos los sistemas comparten un conjunto básico de procesos manipuladores de símbolos. Por lo tanto el sistema cognitivo humano es igual al sistema artificial (Winograd y Flores, 1986).
- 3) Una teoría sobre la cognición se puede implementar en un programa de ordenador con un formalismo simbólico apropiado (Winograd y Flores, 1986).

En este sentido los programas representan teorías que intentan replicar la conducta humana.

2.4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CIENCIA COGNITIVA

La más significativa de las características de la C.Cognitiva es que aborda su objeto de estudio (las funciones cognitivas), desde el supuesto de que son concebibles en términos de cómputo, (cálculo). Realizar una actividad cognitiva (p.e. percibir, razonar, producir lenguaje, tomar una decisión..) puede describirse y analizarse como una forma particular de cálculo. Los sistemas que se encargan de esto son casos

particulares de sistemas de cómputo y tales descripciones se aplican indistintamente a los programas, a los animales y a las personas.

La palabra cómputo para cualquier miembro de nuestra cultura sugiere la visión de un tipo especial de tecnología, la de los actuales computadores digitales, que se asocia a su vez a conceptos como "binario", "silicio", "transistor", "programado", "secuencial", etc.. La C.Cognitiva no trata de comparar a las personas (o a las mentes) con el hard o el soft de los ordenadores corrientes. Lo primero que hay que destacar es que la noción de cómputo abarca mucho más que los ordenadores a que estamos acostumbrados. Incluso hay computadores analógicos, que funcionan en paralelo diseñados para introducir tareas simbólicas no aritméticas, etc.. ¿Qué es entonces lo que caracteriza los sistemas de cómputo?. En general puede decirse que son sistemas cuyas funciones de intercambio con el medio se describen óptimamente como funciones de manejo sistemático de información simbólica (o "procesamiento de información"), por las cuales ésta es tomada, almacenada, transformada y retornada al entorno. Computar = manipulación + simbolización.

2.4.4. PSICOLOGÍA COGNITIVA Y CIENCIA COGNITIVA

El estudio de los fenómenos cognitivos no puede ser objeto exclusivo de una sola disciplina; por el contrario, para dicho estudio es necesaria una cooperación entre varias disciplinas. En este sentido me parece, pues plenamente justificado hablar de ciencias de la cognición, además no hay que olvidar que una nueva ciencia entró en acción hace sólo algunos años (la I.A.). Si el objetivo fundamental de la informática, como hemos visto en el primer capítulo, era el de aplicar algoritmos a datos inferenciados, la I.A. como tendremos ocasión de ver seguidamente, mostrará la eficacia de procedimientos de inferencia (heurísticos y programables) aplicados a datos estructurados.

En conclusión, las Ciencias cognitivas o Ciencia cognitiva implican el estudio teórico y experimental de los mecanismos de codificación, de almacenamiento, de manipulación y de transferencia de la información en sistemas naturales y artificiales que aseguran de manera integrada funciones de percepción, de razonamiento y de Producción (Engel, 1993). A diferencia de la Psicología Cognitiva que sólo trabaja con sistemas naturales.

Tal como hemos podido ver con anterioridad, podríamos decir que la Psicología Cognitiva y la Ciencia Cognitiva no sólo difieren en cuanto a la amplitud de su objeto de estudio, sino también en la metodología utilizada. La Psicología Cognitiva fundamentalmente emplea la metodología experimental como tal; mientras que la Ciencia Cognitiva emplea un aspecto concreto dentro de esta metodología experimental: la simulación.

La Ciencia Cognitiva, que debe considerarse como una categoría por encima de la Psicología Cognitiva, ha tenido consecuencias muy diversas sobre ésta, aunque la que nos interesa resaltar en este momento hace referencia a la diversificación que ha producido, en el seno de la Psicología, de los modos o enfoques para abordar el estudio y modelado de la mente.

En una primera gran división, los psicólogos cognitivos actuales podrían agruparse en torno a dos categorías, la de los que trabajan dentro del paradigma simbólico, como es el caso de este trabajo, y la de los que recientemente lo hacen dentro del paradigma conexionista, (redes neuronales).

Frente a la idea central del paradigma simbólico (o enfoque clásico del procesamiento de información) de que la mente es un sistema que procesa símbolos físicos significativos, el paradigma conexionista considera que la cognición no implica la manipulación de símbolos con significado

Los psicólogos cognitivos del paradigma simbólico consideran que el nivel apropiado de explicación es el nivel algorítmico o simbólico, mientras que los

psicólogos cognitivos del paradigma conexionista entienden que el nivel adecuado para el análisis de la cognición es el subsimbólico (Smolensky, 1988).

Entre los posibles criterios diferenciadores de estos dos enfoques, hay tres que destacan: la simulación con ordenador, la adopción de una estrategia sintética versus analítica y la perspectiva racionalista versus empirista. En este sentido, los formalistas se caracterizan porque (1) siguen fielmente la metáfora computacional y tienen como objetivo básico la síntesis de modelos o la construcción de modelos 'unificados' de la cognición, mediante herramientas informáticas; (2) sus teorías o modelos, al ser de rango general (ejemplo, Anderson y Bower, 1973; Kintsch, 1974; Newell y Simon, 1972; Gillund y Shiffrin, 1984; Hintzman, 1986), representan el valor tradicional de la síntesis, y (3) representan, más claramente que nadie, la corriente racionalista de la Psicología cognitiva dado que asumen que la construcción de sistemas formales (computables) es el camino más adecuado para avanzar en ciencia.

Por lo que concierne a los Psicólogos experimentales cognitivos, su compromiso laxo o implícito con la metáfora del ordenador, el no empleo de la simulación como metodología y su énfasis en el trabajo experimental de laboratorio presenta a los psicólogos experimentales cognitivos como los más claros continuadores de la corriente empirista en su versión más genuinamente experimentalista.

2.5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Este punto que hace referencia a la Ciencia denominada Inteligencia Artificial será tratado de forma muy breve, aunque no por ello deba considerarse menos importante. El motivo se debe básicamente a la poca incidencia que pueda tener con el objetivo principal de esta tesis; aunque sí me considero obligado a comentar algunos aspectos de esta nueva ciencia, que serán ampliados en el próximo gran apartado de este capítulo, por la estrecha relación que ésta mantiene con la Simulación por ordenadores.

El principal mecanismo de inteligencia que hemos observado en (personas o ordenadores) al operar en medios problemáticos es la búsqueda heurística. Los dispositivos heurísticos que capacitan a un sistema inteligente para llevar a cabo búsquedas con gran selectividad, implican 1) utilización de la información almacenada en la memoria para elegir los caminos más prometedores; y 2) atracción, del medio que plantea el problema, de nueva información sobre regularidades de estructura que puedan igualmente guiar la búsqueda.

La idea de que los sistemas inteligentes son altamente adaptativos y flexibles en su conducta, bien puede hacernos concebir la idea de que sus invariantes no han de encontrarse en la conducta, si no en los mecanismos de más largo alcance que producen la adaptación: sus mecanismos de aprendizaje.

Con relación a la I.A., tengo la impresión de que muchos que se dedicaban a ella tenían la idea de que era más fácil lograr que un sistema se organizara a sí mismo (a partir de un esquema general y exponiéndolo a una secuencia apropiada de experiencias de entrenamiento) que proporcionarle el conocimiento necesario para una ejecución eficaz. Lo que caracteriza a la nueva generación de programas de aprendizaje es que en su mayor parte son básicamente programas de resolución de problemas, capaces de emprender búsquedas heurísticas a través de métodos del tipo generación-y-prueba y análisis de medios-fines.

El estudio de la I.A. se inició con el estudio de la inteligencia de la máquina, el diseño y la construcción de máquinas inteligentes. Desde entonces la I.A. ha madurado hasta convertirse en una metodología eficaz para el estudio de las conductas consideradas inteligentes en humanos. Imitan comportamientos (supuestamente inteligentes) a través de procesos diferenciados. A veces, asumen que si el comportamiento es el mismo, el proceso ha tenido que ser el mismo (es decir, una relación unívoca entre proceso y producto).

En los orígenes de los ordenadores, las capacidades más básicas de éstos, consistentes en realizar operaciones aritméticas y en tomar decisiones lógicas, eran consideradas como signos de inteligencia (Alvarez, 1990).

Poco a poco aparecía un nuevo patrón, era más fácil programar un ordenador para que realizara tareas más complejas, que programar éstas máquinas para realizar operaciones que incluso un niño pequeño o un adulto con deficiencias podría llevar a cabo: comprensión del lenguaje o reconocimiento de objetos o situaciones.

Así, originalmente la inteligencia de la máquina era considerada básicamente una alternativa a la inteligencia humana (Sternberg, 1986).

Para la primera clase de problemas, el empleo de un ordenador dará como resultado respuestas más rápidas (y/o un mayor número de éstas); para la segunda clase de problemas, de nada sirve cualquier desarrollo tecnológico concebible. Por esta razón la I.A. intenta cada vez más simular los métodos humanos.

El paso de los algoritmos a los heurísticos constituye el punto en el que la I.A. comenzó a formar un campo distinto del resto de la ciencia informática. Debido a ello, prácticamente toda solución de problemas inteligentes (formales e informales) es realizada de forma heurística.

Es difícil dar una definición exacta del término IA, más si se tiene en cuenta que el concepto de inteligencia humana ya resulta problemático. A pesar de las muchas definiciones existentes, después de 40 años de su invención está totalmente consolidado como forma de programar ordenadores, es decir, de utilizarlos como herramientas para realizar tareas y resolver problemas, en este sentido es una rama de la informática, pero se distingue de la informática convencional tanto por el tipo de problemas que trata como por la forma en que lo hace.

Cuando problemas muy interesantes como (la visión artificial, el aprendizaje, procesamiento del lenguaje natural, etc..) se mostraron resistentes a ser tratados mediante estrategias algorítmicas, fue cuando los científicos que trabajaban en Informática Convencional se dieron cuenta de que había que explorar otras aproximaciones en la programación de los ordenadores si se quería tener algún tipo de éxito en el tratamiento de dichos problemas. La mejor idea era la propuesta por Newell

y Simon, tratar de analizar cómo lo hace la mente humana, para emular ese funcionamiento mediante programas de ordenador.

Para ello era importante dar dos pasos:

- 1) Que los investigadores informáticos se pusieran en contacto con los que estudiaban estos temas (psicólogos, lingüistas, neurólogos, biólogos) y trataran de utilizar los conocimientos obtenidos en dichas áreas con la finalidad de diseñar nuevas estrategias para tratar los problemas.
- 2) Diseñar herramientas informáticas (lenguajes) capaces de implementar esas nuevas estrategias.

La profundización de ambos aspectos es lo que constituye el desarrollo de la I.A., dando lugar a los distintos campos de investigación que la constituyen.

No serán tratados más aspectos de la I.A., como podrían ser los relacionados a los campos de investigación de la I.A. el marco histórico en que tuvo lugar esta nueva Ciencia o bien las características principales de ésta, pues pienso que la exposición de ello no es suficientemente relevante para el propósito de este trabajo, aunque se remite al lector interesado a consultar las correspondientes obras, (como por ejemplo, Simons, (1983, 1984); Mishkoff, 1988; Castelló y Cladellas, (1995); Cladellas, (1993, en prensa); Russell y Norvig (1995); Trillas (1998) y otras referenciadas en la bibliografía).

2.6. PSICOLOGÍA COGNITIVA, C. COGNITIVA E I.A.

La Psicología Cognitiva, la Ciencia Cognitiva y la I.A. hace 20 años eran campos distintos, con objetivos, metodología y presupuestos teóricos no del todo coincidentes, en el momento actual han llegado a solaparse de tal manera, que sus límites o fronteras empiezan a coincidir, no se sí peligrosa o afortunadamente para la

Psicología puesto que sus objetivos, métodos y presupuestos llegan a confundirse (Pylyshyn, 1981).

Las relaciones entre Psicología e I.A. empiezan a mediados de este siglo, con el nacimiento prácticamente simultáneo de la I.A. y la Psicología Cognitiva. Durante estas décadas, las relaciones entre ambas disciplinas han adoptado diversos formatos, desde la más estrecha relación hasta la crítica mutua. A veces incluso las mismas teorías han guiado tanto los intentos de aclarar la naturaleza de las funciones intelectuales humanas como los esfuerzos por crear sistemas artificiales capaces de reproducirlos.

Según Morton (1981) la Ciencia Cognitiva es un intento de unir a la Psicología Cognitiva con la I.A. y las neurociencias, o una nueva ciencia que incluiría tanto a la I.A. con la Psicología Cognitiva y partes importantes de la Lógica y la Lingüística (Colins, 1977; Gardner, 1985; Mandler, 1981; Norman, 1980; Posner, 1989; Pylyshyn, 1984; Rumelhart, 1982; Varela, 1990; Riviere, 1991).

Sólo últimamente la relación entre ambas se ha plasmado en el campo práctico. La I.A. está en condiciones de ofrecer a la Psicología y a las ciencias sociales una tecnología capaz de solucionar problemas de su práctica profesional (diagnóstico, la interpretación de datos o la formación). A la inversa, algunas técnicas desarrolladas por las ciencias sociales empiezan a resultar necesarias para el desarrollo de aplicaciones de la I.A. (ej: entrevistas, Márquez y Muñoz, 1994).

Hay que suponer que la mente humana, además de realizar cálculos, es capaz de operar con otro tipo de estrategias diferentes. La respuesta a la cuestión de si ¿sería posible programar los ordenadores de esa “otra forma” es lo que dio origen a la I.A., puesto que dicha respuesta pasaba, en primer lugar, por profundizar en cómo resuelven estas situaciones los seres humanos (Psicología Cognitiva) y, en segundo lugar, exigía imaginar una nueva forma de programar los ordenadores, la cual fuera capaz de recoger la forma de pensar de la mente humana (programación de heurísticas). Ambas cosas junto con el nombre de I.A. aparecieron por primera vez en 1956 en el famoso congreso de Dartmouth.

La Ciencia Cognitiva es una ciencia que proporciona un marco integrado para la I.A. y para una parte esencial de la Psicología, así como para otras disciplinas y subdisciplinas. Como primera aproximación decir, tal como hemos tenido ocasión de ver a lo largo de este mismo capítulo, que la ciencia cognitiva se ocupa del estudio de aquellos sistemas que poseen, actual o potencialmente, alguna forma de inteligencia o capacidades intelectuales, en sus diversas facetas y manifestaciones reales o concebibles. Se puede decir que se sitúa en un plano más abstracto que la I.A. o la Psicología ya que ambas restringen más su objeto de estudio (la primera a la implementación de capacidades intelectuales en máquinas, y la segunda a manifestaciones en seres humanos).

Los psicólogos cognitivos, por su tradición como psicólogos experimentales han utilizado como aproximación metodológica fundamental la experimentación. Sin embargo, pienso que para entender la cognición necesitamos de la utilización de todas las metodologías ofrecidas por las distintas disciplinas cognitivas. Johnson-Laird (1983) propone que tanto la metodología de la simulación como la experimentación son indispensables para la Ciencia Cognitiva.

2.7. SIMULACIÓN

2.7.1. ORIENTACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La aparición de la Inteligencia artificial y sus hallazgos tuvo una importante repercusión, como hemos visto en anteriores apartados de este capítulo, en el campo de la Psicología Cognitiva y de forma especial en la investigación de la inteligencia. La nueva disciplina representaba una serie de problemáticas novedosas para el psicólogo cognitivo (Norman, 1981).

Los teóricos de la inteligencia artificial defendían la posibilidad de dotar de inteligencia a las máquinas, mientras que el ámbito de dicha característica había estado reservada al hombre y, para algunos, también a los animales (o a ciertos animales, por lo menos).

La nueva disciplina aportaba una serie de conceptos y de términos igualmente novedosos, que afectaban las operaciones y procesos cognitivos propios del dominio de la psicología cognitiva.

Los trabajos y programas referidos a la reproducción de conductas consideradas como inteligentes (o como muy inteligentes) realizadas por las máquinas, llegaban a la conclusión de que dichas conductas podían estar controladas por algoritmos, es decir, desarrollarse de forma mecánica.

En cualquier caso la incidencia de la nueva disciplina entraba en conflicto con algunos de los axiomas y supuestos más importantes del enfoque psicológico de este tipo de conductas, generando una cierta crisis en esta área de conocimiento (Schank, 1984). La investigación de la inteligencia humana se encontraba en un estado de poca orientación fruto de la poca claridad de los modelos y de los principios subyacentes. Si ni tan sólo se había conseguido unificar una definición de este ámbito de conocimiento, mucho menos el dominio completo del mismo.

La aparición de la inteligencia artificial supuso una vía de solución para algunos psicólogos y un ataque directo para otros. Mientras los primeros optaban por una línea de trabajo próxima a la inteligencia artificial, identificando los procesos de la misma con los de la mente humana, (Gardner, 1985), los segundos intentaban demostrar que la inteligencia era siempre lo que no podían hacer las máquinas (Calvo, 1985).

Probablemente se pueda asimilar las aportaciones de la disciplina computacional sin perder la identidad ni el dominio científico de la Psicología. De hecho, las aportaciones son claras en tres sentidos, y todas ellas perfectamente integrables, (Newell, 1973; Reitman, 1965; Uhr, 1973).

En primer lugar, la aportación de una nueva terminología y conceptualización es un elemento enriquecedor de la disciplina psicológica, dado que, por una parte desvela operaciones y conceptos que pueden ser válidos en el hombre y que no habían sido suficientemente considerados; por otra parte, la necesidad de operatividad y de claridad de definición no aporta más que ventajas a la investigación en inteligencia.

En segundo lugar, debe contemplarse lo que representa la crisis central del proceso: la noción de inteligencia. La variación habida en este sentido ha manifestado la debilidad de las concepciones clásicas y ha ampliado tanto los sujetos poseedores de la misma como las propiedades de los sistemas inteligentes, funcionando como forma de validación y de conexión entre disciplinas.

Finalmente, la tercera aportación debe conectarse con la investigación: la posibilidad de manipular los procesos internos, es decir, de superar las medidas directas, insalvables en humanos. Quizá este punto, desde la óptica de la investigación, sea el más revolucionario, ya que facilita enormemente el trabajo de búsqueda y verificación de modelos (aunque éste último formaría parte de la simulación de procesos cognitivos).

La inteligencia artificial en sentido estricto emplea procedimientos realizados sobre sistemas informáticos dirigidos a la solución de problemas en los que se considera que, para llegar a dicha solución, hace falta la utilización de comportamientos o procesos inteligentes, al menos en los humanos (Shanck, 1984; Pazos, 1987).

Este tipo de trabajos que, de hecho hasta la fecha, suelen ser la gran mayoría, no muestran preocupación alguna por la reproducción de procesos humanos, a diferencia de las estrategias de simulación como tendremos ocasión de ver a lo largo de este trabajo. Así a la I.A. sólo le preocuparía que el laberinto fuera solucionado de forma correcta; mientras que para la Simulación puede tener tanto interés que el laberinto sea resuelto como que no.

No obstante, tal y como ya ha sido indicado con anterioridad, la I.A. presenta una serie de elementos de gran valor. Por una parte permite clarificar la noción de

inteligencia y de otras ideas asociadas, además de ampliar el grupo de entes que pueden poseerla (Sternberg, 1986). Por otra parte ha aportado una serie de conceptos y terminología que, debidamente asimilada por la Psicología, permite ampliar el dominio de conductas inteligentes o implicadas en la inteligencia artificial (Shanck, 1986). En este sentido, la inteligencia artificial no realiza aportaciones directas a la Psicología, pero ésta puede beneficiarse indirectamente de los avances de aquella (Humphreys, 1971).

La validez de la inteligencia artificial viene determinada por el tipo de conducta final (Shanck, 1984). Si se considera que para resolver un determinado problema se necesita un procesamiento inteligente de la información y una máquina es capaz de resolver dicho problema, la consecuencia lógica es que la máquina posee inteligencia o, por lo menos, que es capaz de comportarse inteligentemente. De hecho este ejemplo es una reproducción del test de Turing, según el cual, si una máquina es capaz de reproducir ciertas conductas humanas, de forma que no se pueda distinguirla de una persona ejecutando las mismas conductas, se puede hablar de comportamiento inteligente en la máquina.

La conclusión del simple razonamiento expuesto en el anterior párrafo solamente puede ser falsa en los siguientes casos:

- Que la conducta resultante de la máquina no sea equivalente a la humana, y.
- que el comportamiento elegido no sea considerado inteligente en la conducta humana.

La posición de ciertos autores (dentro y fuera de la Psicología) que defendían el argumento de que la inteligencia es aquello que no puede realizar una máquina (Simons, 1984), resulta destructiva para la propia inteligencia. Si se eliminan los comportamientos que han sido reproducidos de alguna manera en sistemas informáticos, el dominio de la inteligencia queda reducido, discrepa de lo que se ha considerado como inteligencia, a lo largo de la historia de la Psicología, y es prácticamente irrelevante científicamente.

Una posición mucho más razonable, a la vista de los resultados es la de que la inteligencia es una propiedad de los sistemas procesadores de información y de respuesta (Baron, 1986). Por consiguiente, no se trata de un atributo estrictamente humano.

Desde este punto de vista, se pueden generar expectativas más esperanzadoras para todas las disciplinas que estudien este tema y, muy especialmente, para la psicología cognitiva o de la inteligencia (Norman, 1981). De alguna forma, resulta provechoso para la investigación en la inteligencia humana y no humana el conocimiento de los avances y aportaciones recíprocas, de la misma manera que así lo han sido el intercambio de la terminología y conceptualizaciones entre las citadas disciplinas.

A modo de resumen, tanto de la I.A. como de la Simulación podemos obtener abundantes beneficios a la hora de realizar investigación psicológica, aunque se han de contemplar muy bien las diferencias para no caer en errores.

El desarrollo de programas de computadora que utilizan inteligencia, del tipo que sea, para resolver problemas o para mantener una conversación, es el campo que domina la inteligencia artificial (Mayer, 1983).

Un subcampo de gran interés para la investigación en Psicología es el desarrollo de sistemas que tengan el mismo comportamiento y sigan los mismos procesos internos que los seres humanos, es decir que simulen el comportamiento humano. A este subcampo se le ha llamado simulación por ordenador.

Algunos científicos opinan que no hay diferencias cualitativas entre la Inteligencia Artificial y la Simulación por ordenadores (Pylyshyn, 1978; Cohen, 1977). Existe en efecto, una notable similitud entre simulación e I.A. En ambos casos, se trata de construir programas de ordenador que cuando se ejecutan producen un comportamiento "inteligente" análogo al humano en tareas comparables.

Sin embargo, es evidente que existen diferencias entre ambas, pues la filosofía e intenciones de los dos tipos de investigación son diferentes:

La idea fundamental de la simulación por computadora es que si un programa reproduce fielmente los procesos cognitivos implicados en el comportamiento humano, las operaciones internas de este programa son una representación de las que realiza el ser humano para llevar a cabo este comportamiento (Castelló, 1988; Castelló y Cladellas, 1995),

La Simulación pretende elaborar un programa que sea una buena teoría psicológica, mientras que el objetivo de la I.A. es que los programas funcionen de forma satisfactoria, sin importarle que el programa sea una fiel reproducción de los procesos cognitivos humanos (De Vega, 1984).

Por tanto, la primera tendría una mayor dependencia de los datos empíricos procedentes de sujetos humanos y de las formulaciones psicológicas que la I.A.

Pero suele ocurrir, y esta es también una fuente de limitaciones, que los programas que se realizan en inteligencia artificial estén relacionados con la inteligencia humana, Ocurre en ocasiones que los programas tienen el valor de antimodelo para los psicólogos, es decir, constituyen un buen ejemplo de lo que no debe de ser una teoría psicológica (De Vega, 1984). Por contra, en otras ocasiones pueden dar lugar a conceptos e ideas que tienen importancia psicológica (Castelló, 1988).

Probablemente con un ejemplo quede más claramente expuesta la diferencia entre simulación e inteligencia artificial.

Los seres humanos utilizan diferentes juegos como entretenimiento. Entre estos hay un grupo que implican la puesta en funcionamiento de buena parte de los recursos cognitivos de que disponen los seres humanos. Uno de estos puede ser la solución de un laberinto. Al igual que el ser humano resuelve un laberinto e utiliza sus recursos cognitivos para ello, se puede conseguir que un sistema artificial (ordenador) resuelva el laberinto poniendo en funcionamiento una serie de dispositivos de los que dispone:

Para que ello sea posible se adoptarían una serie de planteamientos:

- Desde la inteligencia artificial se realizaría un programa cuyo objetivo sería el que el ordenador resolviese de la forma más rápida y correcta el laberinto, independientemente de que los procesos que tenga que utilizar para ello se parezcan o no a los humanos.
- Desde la simulación se realizaría un programa que replicase los procesos cognitivos que pone en funcionamiento el ser humano para solucionar un laberinto. Es decir, seguiría los procesos humanos aunque esto no necesariamente suponga resolver el laberinto. Utilizando los procesos que utiliza un experto debería resolverlo como él.

2.7.2. SIMULACIÓN POR ORDENADOR

El uso moderno de la palabra simulación se remonta a finales de 1940, cuando Von Neuman y Ulam acuñaron el término de "análisis de Monte Carlo" para aplicarlo a una técnica matemática que usaban entonces para resolver ciertos problemas de protección nuclear que eran, o demasiado costosos para resolverse experimentalmente o demasiado complicados para ser tratados analíticamente.

Con la aparición de la computadora de gran velocidad, a principios de 1950, la simulación tomó otro significado, ya que surgió la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos que describan algún sistema de interés en una computadora. Por primera vez, los investigadores de las ciencias humanas, encontraron que podían realizar, como los físicos, experimentos controlados de laboratorio; sin embargo, usaron para esto computadoras electrónicas en lugar de dispositivos como el reactor nuclear. Al crearse la simulación en computadoras, surgieron incontables aplicaciones y con ello, un número mayor de problemas técnicos y prácticos.

Estas técnicas de simulación permiten la experimentación sobre modelos teóricos en lugar de la realidad misma, consiguiendo fundamentalmente con ello realismo y simplicidad.

Podría hablarse de diferentes tipos de simulación (Lehman, 1977).

- Simulación hombre-hombre. En este tipo de simulación no interviene ninguna máquina. Se trata de una interacción entre personas con una finalidad, habitualmente instruccional. Por ejemplo, el juego de roles, los juegos de gerencia, etc..

- - Simulación hombre-máquina. En este caso la función de las máquinas es la de recoger y tratar la información según un modelo que posteriormente proporcionará a los sujetos humanos datos a partir de los cuales tomar cierto tipo de decisiones. La finalidad suele ser la investigación y la exploración. Por ejemplo, la comprobación de eficiencia de los sujetos ante un radar, distintas simulaciones bélicas mediante ordenador, habilidades para negociar (O'Neil, Allred y Denis, 1997), etc.

- Simulación máquina-máquina. Es la simulación mediante ordenador. El funcionamiento de una determinada máquina (por ejemplo: un motor) en una de diferente (un ordenador).

- Simulación máquina-proceso físico. Como cuando los ordenadores simulan el comportamiento de la atmósfera para predecir el tiempo..

2.7.2.1. SIMULACIÓN Y MODELO DE SIMULACIÓN

El término simulación ha sido empleado con diferentes matices, y utilizado indistintamente con los conceptos de modelado (modelling), modelo de ordenador, simulador y experimentación con el modelo, según Jañez (1981).

- a) Modelado es el proceso de elaboración del modelo.
- b) Modelo de simulación, programa de simulación, o simulador, es el modelo representado en un programa de ordenador.
- c) Simulación es la experimentación con el modelo.

Así se suele entender por simulación un acontecimiento estructurado que establece relaciones causales entre elementos, acontecimiento que representa una situación del mundo real. Si manipulo, mediante ciertas instrucciones sencillas, el movimiento de un coche en un circuito, pudiendo modificar su dirección y su velocidad a través de una situación que reproduce las relaciones entre velocidad, dirección, aceleración, fuerza centrípeta, adherencia, etc. estoy actuando en una situación de simulación. Aunque la fidelidad (del modelo con la realidad) suele ser una de las características de las simulaciones, no siempre es necesario reproducir los elementos y las relaciones que tienen lugar en una situación real determinada. Se puede, por ejemplo, imaginar un modelo que relacione las emigraciones que se producen en un país imaginario con una serie de causas posibles (económicas, sociales, ideológicas); según el tipo de relaciones escogidas, los datos relativos a la emigración (número de personas, condición socioeconómica, momento y progresión de la emigración, etc..) cambian (Carretero, Pozo y Asensio, 1989). En este caso se Construye un modelo que funciona según determinadas características sin que éstas tengan necesariamente que referirse a datos o situaciones reales. El fenómeno general presente en todas estas situaciones, es por tanto la modelización (crear un modelo causal con determinados parámetros

interrelacionados) siendo la simulación (con su requisito de fidelidad) un caso particular.

A pesar de lo expuesto anteriormente, cabe pensar que en determinadas situaciones, la fidelidad entre el modelo y la realidad es de gran importancia. Pensemos, por ejemplo, en las posibilidades de instrucción de pilotos o de expertos en funcionamiento de cualquier máquina compleja o peligrosa; así como en la previsión de ciertos acontecimientos climáticos.

2.7.2.2. ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE UNA SIMULACIÓN

En principio, la realización de una simulación puede desarrollarse a través de diferentes vías, no sólo basándose en los objetivos para los que ha sido realizada (por ej: instruccionales, predictivos, teóricos), sino también a causa de las particularidades del problema a estudiar, o de las necesidades del propio investigador. Por ello a continuación, analizaremos una serie de etapas típicas (a partir de Abelson, 1968) por las que sucede la elaboración de una simulación.

1. Elección del problema teórico.
2. Formulación detallada de un modelo de los procesos implicados.
3. Transformación del modelo en una secuencia ordenada de pasos.
4. Determinación de sí la simulación es una estrategia apropiada.
5. Estimación de los parámetros.
6. Elección de un lenguaje de ordenador adecuado.
7. Escritura del programa de simulación.
8. Contrastación del modelo.

1. Elección del problema teórico. En algunas disciplinas es preciso desarrollar los planteamientos de la simulación dentro del contexto de alguna teoría. Pues de lo contrario, nos hallaríamos, más bien, ante un

programa de ordenador que realiza cierto tipo de tareas, sin conexión alguna con el resto de conocimiento científico (Kieras, 1985), quedando más dentro del ámbito de la I.A. que de la Psicología.

Para optimizar las posibilidades de la simulación, es conveniente que el problema sea demasiado complejo para ser tratado por los métodos tradicionales, pero que no sea global e inespecífico (Abelson, 1968).

2. Tal formulación dependerá, en gran medida, de la naturaleza del problema a estudiar. No obstante, hay que tener en cuenta una serie de consideraciones sobre los modelos de simulación (Abelson, 1968):

- a) El modelo ha de ser dinámico, y no estático. Es decir, los sucesos han de ocurrir en el tiempo.
- b) Las variables que intervengan, y sus relaciones, han de estar bien especificadas.
- c) El modelo ha de ser cerrado. Ello indica que todas las circunstancias han de estar definidas en el propio sistema.

3. Consiste en transformar los enunciados provenientes de la especificación del modelo en una concatenación lógica y secuencial de pasos, representados a través de diagramas de flujo.

Antes de la programación en ordenador del modelo es preciso plantearse la viabilidad de tal proyecto por si es posible una solución más sencilla mediante otros métodos (ej: experimentación), la capacidad de la simulación para proporcionar respuestas significativas y fáciles de interpretar, etc..

4. Para estimar la viabilidad del proyecto se puede recurrir a distintas técnicas estadísticas, por ej: los métodos de máxima verosimilitud, de mínimo ji cuadrado, entre otros (Naylor y cols., 1966).

5. En este punto se ha de escoger entre los distintos lenguajes de programación, ya sean lenguajes específicos para la simulación, o bien los lenguajes versátiles de programación (Basic, Pascal, Fortran, C, Lisp).
6. Escritura del programa de simulación. Se aconseja que el tipo de programación sea estructurada y modular (Reynolds, 1987), con el fin de facilitar el desarrollo de la tarea como la depuración de posibles errores.
7. Consiste en averiguar hasta que punto la simulación refleja fielmente el sistema real.

Los datos que se obtienen en la realización de un experimento de simulación han de ser contrastados con las hipótesis, subhipótesis u expectativas que, en el marco de una teoría, se han debido de realizar previamente. De esta forma, el criterio de validación no es único ni está puesto a priori (Fodor, 1968), sino que su exigencia en la exactitud de los datos depende de los objetivos marcados en cada simulación, tal y como defienden autores como Lehman (1977).

2.7.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN

Una teoría de la cognición se puede plasmar en un programa de ordenador con un formalismo simbólico apropiado de forma que cuando el programa se ejecute en las circunstancias apropiadas produzca la conducta observada (García-Albea, 1993). El programa de simulación ha de describir paso a paso todo lo que ha sido descrito en la teoría (Pylyshyn, 1984).

A continuación se presentan una serie de ventajas y desventajas del empleo de la simulación en la investigación científica (Apter, 1970; Kieras, 1985; Lehman, 1977).

a) Ventajas teóricas

1. El hecho de realizar un programa de simulación obliga a la clarificación de la teoría subyacente, haciendo explícitas las funciones que relacionan las variables, definiendo los parámetros y fundamentalmente, resolviendo todas las contradicciones y ambigüedades que se dan en la formulación verbal de la teoría. Es una excelente manera de convertir en una específica y precisa teoría lo que era un conjunto de vagas ideas.
2. Obliga a explicar los datos empíricos obtenidos sobre fenómenos y procesos de gran complejidad. A pesar de ser ésta la meta de todo sistema teórico, habitualmente los modelos no han de proveerse de datos ajustados a la realidad, debido en muchas ocasiones, a la dificultad en modelar con detalle el sistema real objeto de estudio.
3. Facilita el control de las fuentes de variación de las que depende el sistema.
4. Debido a su simplificación facilita una manipulación y comprensión más inteligible de las variables de las que depende el sistema.
5. El modelo puede ser usado para generar nuevas hipótesis e implicaciones de la teoría. La relación modelo vs teoría resulta, entonces, interactiva. Habría una influencia recíproca y positiva modelo-teoría.

b) Ventajas prácticas

1. Una vez que el programa de ordenador funciona correctamente, es fácil la realización de muchos experimentos de simulación, sin que sea precisa la presencia de humanos.
2. Como consecuencia de lo anterior, una simulación suele resultar menos costosa que un experimento.

3. Plantea menos problemas prácticos que las investigaciones empíricas clásicas, (por ej: error de medida, problemas con el registro de la variable dependiente, control de variables extrañas, etc), es decir una mejor validez interna.
4. Permite hacer replicas, tanto de resultados experimentales como de otras simulaciones.
5. El experimento de simulación se puede obtener en cualquier momento.
6. Permite que el sujeto se enfrente a muchas situaciones donde la realidad es demasiado cara, peligrosa o compleja. (Ej. el simulador de vuelo).

c) Desventajas

1. En el caso de sistemas complejos, como los procesos psicológicos humanos, como sucede en este trabajo, resulta difícil describir de forma adecuada y exhaustiva un modelo de simulación.
2. El mayor problema es cómo juzgar si la simulación de un sistema complejo encaja con la dinámica del sistema que se ha modelado. En este sentido la atención tan sólo a los outputs de la simulación no garantiza la adecuación del modelo de simulación con el sistema a simular (García-Albea, 1981).
3. Se ha criticado a los modelos de simulación porque ofrecen demasiados "grados de libertad" debido a que siempre se pueden variar adecuadamente los parámetros del mismo para que se puedan adecuar a los datos experimentales. Para evitarlo, es necesario que el modelo haya sido construido según un código arquitectónico (en contraposición a arbitrario), y rechazar las modificaciones que vayan en contra de ello (Kieras, 1985).

2.7.3. EXPERIMENTACIÓN Y SIMULACIÓN

Cuando un investigador o científico, quiere conocer algo acerca de algún fenómeno recurrirá fundamentalmente a la utilización, más o menos ortodoxa del método científico. Destaca la parte dedicada a la experimentación. Esta depende en buena parte y en muchas ocasiones el que los resultados del trabajo del investigador, del científico, proporcionen los resultados esperados, es decir, que este pueda conocer algo de aquello que está estudiando, constatándolo empíricamente.

Así podemos decir que buena parte del conocimiento científico se fundamenta en la experimentación. Dentro de las muchas clasificaciones que se pueden hacer de las ciencias y atendiendo por supuesto a criterios diferentes, existe la que los clasifica en aquellas que estudian al hombre o cuestiones relacionadas con éste, denominadas ciencias humanas y aquellas otras que estudian otros temas no relacionados directamente con el hombre. Algunos de los aspectos que hacen que se diferencien las unas de las otra son:

Si bien ambos tipos de clasificaciones deben enfrentarse con un problema fundamental a la hora de realizar investigación y experimentación en su campo de estudio y de trabajo, como es el control de las variables que intervienen en cualquiera de los procesos o fenómenos que son su objeto de estudio y conocimiento. Para las ciencias humanas, además de las dificultades de control que pudieran tener las llamadas ciencias no humanas, se añaden aquellas que se derivan del hecho de tener un objeto de estudio tan complejo como es el ser humano, siendo precisamente esta complejidad la responsable de generar un conjunto de variables tan elevado que hace prácticamente imposible su absoluto control.

Asimismo también hay que considerar que por ser el objeto de estudio de las ciencias humanas precisamente el hombre, cabe añadirle otro tipo de problemáticas, en concreto del tipo moral, pues es de todos conocido que algunas actividades y

procedimientos de uso común en las ciencias no humanas, difícilmente pueden ser llevadas a la práctica con humanos.

Es por ello, que deban recurrir a metodologías que permitan a través de actividades indirectas, extrapolar resultados y conclusiones hacia aquellos aspectos y temas relacionados con el ser humano pero que no pueden ser tratados directamente.

Las ciencias humanas han sabido encontrar algunas metodologías y procedimientos que salva, al menos, en parte, estas dificultades. Aunque ello no signifique que desaparezcan estas dificultades o que no siga existiendo una clara desventaja con respecto a las ciencias no humanas.

Constituyéndose la simulación, como vimos en anteriores apartados de este capítulo como el método que va tomando cada vez más fuerza e insistencia como método de la Ciencia Cognitiva.

Así como existen diversas categorías de simulación atendiendo a su posible utilización, también podríamos encontrar con varias categorías de simulación atendiendo a los grados de complejidad que presentan o al grado de realidad que incorporan.

Podríamos hablar de aquellas simulaciones que replican un aspecto muy concreto y parcial, aquellas otras que replican todo un fenómeno e ir aumentando de complejidad hasta aquellas que ponen a prueba todo un modelo (González, 1993).

Ello puede ser visto con el siguiente ejemplo: Es conocido que en la investigación que llevan a cabo los constructores de automóviles en el campo de la seguridad se emplean a menudo simulaciones. Pues bien, dentro de este campo nos podemos encontrar con algunos de los niveles de simulación indicados previamente.

Tomemos el caso del experimentador que toma la maqueta de un automóvil, en la que se reproducen de forma proporcional, pero con exactitud, los parámetros que se van a someter a estudio y la lanza a una determinada velocidad (que también estará en

proporción a la relación maqueta-automóvil real) contra un objeto como pueda ser una pared, filmando los resultados. En este caso podemos hablar de que el investigador ha utilizado, dentro de su experimentación, una simulación. Y esto es así porque se ha utilizado para el estudio un objeto (maqueta) que aún no siendo el objeto real del que se quiere conocer algo, si que reproduce con exactitud (de forma relacionada con el hecho de que se trata de una maqueta de menor tamaño, peso, etc.. que el automóvil real), los parámetros que son objeto de estudio. Por tanto, se está realizando una simulación de lo que le ocurriría a ese automóvil (al real ya que la simulación nos permite extrapolarlo) en una colisión para una serie de aspectos tales como la deformación de la plancha, resistencia del chasis, rotura de cristales, resultados de los elementos pasivos y activos de resistencia al impacto y evitación de lesiones (cinturones, airbag, etc..).

Otro grado de simulación lo podría representar la utilización, en automóviles reales, de maniqués que reproducen los parámetros de peso, volumen, flexibilidad u otros de los que corresponden a los seres humanos que ocuparán este modelo de automóvil en el futuro. De nuevo se está utilizando un objeto que no es real pero que nos permite extrapolar sus resultados porque tiene en común con el objeto real de estudio, los parámetros que nos interesa estudiar.

Por último esos investigadores pueden simular que les ocurriría a toda una serie de automóviles y sus ocupantes en una colisión múltiple, teniendo en cuenta todo el conjunto a la vez (probablemente mediante la simulación asistida por ordenador), para poder analizar cuales son los mejores métodos para mejorar la seguridad.

Evidentemente para esta última simulación, se requerirían toda una serie de datos recogidos previamente (probablemente mediante experimentación), para poder llevar a cabo una simulación realista. En este caso lo que decididamente es imprescindible, como en este trabajo, es un modelo teórico claro.

Pero estas son simulaciones al fin y al cabo de procesos físicos que atañen al comportamiento de una serie de fuerzas, que se comportan según una serie de leyes.

En las simulaciones anteriores, existía tanto un grado de realidad alto, el automóvil realmente se estrellaba, como un grado de complejidad alto, la simulación de varios automóviles accidentados era replicada por el ordenador sin necesidad de producir un accidente en cadena real. En el caso de la simulación más compleja, la de los procesos cognitivos humanos, a la vez coincide que es la menos real ya que no es un ser humano el que realiza esos procesos, sino que es una máquina que intentamos que lleve a cabo una serie de procesos que repliquen con el mayor grado de fidelidad posible los procesos cognitivos (que hemos inferido) lleva a cabo el ser humano.

2.7.4. SIMULACIÓN EN PSICOLOGÍA

Distintos modelos computacionales se han ido sucediendo con más o menos fortuna a lo largo de los años para explicar los procesos cognitivos, así en su tiempo (Selfridge y Neisser, 1960) intentaron explicar el reconocimiento perceptivo, (Collins y Quilliam, 1972; Rumelhart, Lindsay y Norman, 1972; Anderson y Bower, 1973) la memoria, (Bobrow y Collins, 1975; Schank, 1976; Winograd, 1972, 1975), la comprensión del lenguaje y (Newell y Simon, 1972) la resolución de problemas.

A pesar de ello, la Simulación en Psicología, aún hoy en día, sigue siendo un campo novedoso y con bastante menos literatura que otros campos de estudio, como por ejemplo: las ingenierías.

Actualmente no existen demasiadas referencias de simulaciones aplicadas a la Psicología en diferentes ámbitos, como en Psicología Social (Epstein y Axtell, 1996; Greenfield y Cols, 1996; Johnson y Feinberg, 1997), en Neurología (Geller y Reynolds, 1997), en la enseñanza (Rieber, 1996), en el aprendizaje (Ohlsson, 1996).

La simulación alcanza su máximo grado de complejidad cuando se refiere a los procesos cognitivos que lleva a cabo el ser humano; si bien este tipo de trabajos destacan por su escasez, algunos de ellos son: las transformaciones de los componentes

del color en el reconocimiento de patrones (Kober y Cols, 1997); o el papel de la memoria de trabajo en la adquisición de habilidades complejas (Perlow, Jatusso y Moore, 1997), todas ellas simulaciones de funciones o procesos de alto nivel; mientras que cada vez están teniendo un mayor auge, con la introducción del conexionismo, las simulaciones de redes neuronales (Nishina y Hagiwara, 1997), que a diferencia de las anteriores intentan simular estructuras o, en el mejor de los casos, procesos de bajo nivel.

Los trabajos llamados de simulación se basan en que los sujetos humanos verbalicen el tipo de procedimientos y operaciones que realizan mientras resuelven un determinado problema (Mayer, 1983; Gardner, 1985; Pazos, 1987; Castelló, 1988). Seguidamente se intenta reproducir el proceso en el ordenador, observándose los resultados.

Este tipo de procedimiento es poco útil para la Psicología, en el sentido en que la información aportada por la simulación no es superior que la que proporciona verbalmente el sujeto. En cambio permite verificar la veracidad de lo dicho por los sujetos y ponerlo a prueba en otras situaciones. Por otra parte estos procedimientos padecen ciertas debilidades como la dificultad de verbalización de ciertas operaciones, ambigüedad de la definición de las mismas o, simplemente falta de consciencia de alguno de los pasos intermedios.

Por consiguiente, las estrategias de simulación de comportamiento humano, de las cuales se pudiera obtener alguna información psicológicamente relevantes, deberían tener otro ámbito de interés: comprobar si los procesos que se supone realiza la mente humana, en el procesamiento de la información, son reproducibles y conducen, efectivamente a la conducta observada (García-Albea, 1993).

Este tipo de estrategias conlleva una serie de problemas: en primer lugar no se tiene una referencia clara de cuáles son los procesos intermedios en la mente humana; y en segundo lugar, por limitaciones de capacidad y potencia, solamente se pueden reproducir ciertos procesos. Así un buen programa de percepción visual puede agotar la

memoria y recursos de un potente ordenador (Pylyshyn, 1978). Actualmente y gracias a la construcción de grandes ordenadores cada vez va siendo menos probable.

Estas limitaciones conducen a un replanteamiento de lo que puede ser la simulación: reproducción en el ordenador de los modelos formales de funcionamiento cognitivo humano. Esta matización es muy importante en lo que afecta a la validez, dado que, si un determinado modelo funciona en el ordenador, esto no implica que sea correcto en su descripción de la inteligencia humana. Para constatar esta corrección del modelo, siguen siendo imprescindibles los criterios de conexión de dicho modelo con otros, sean o no de la propia disciplina, y de verificación del mismo en los sujetos humanos (Meili, 1981)

Ahora bien, con mucha frecuencia, diferentes modelos resultan igualmente explicativos de la conducta intelectual observable en el hombre (Vernon, 1979). Por consiguiente, es necesario encontrar una vía de contrastación de los mismos que permita dilucidar cual es el modelo correcto.

Para este tipo de actividades de investigación y de verificación, la simulación en ordenadores puede aportar soluciones adecuadas. Por una parte fuerza a la operativización de las estructuras implicadas en los modelos, con lo que se evita la utilización de estructuras ambiguas, insuficientes o erróneamente definidas (Dehn y Schank, 1982; Mayer, 1983). Por otra, permite constatar el funcionamiento global y por partes de los diferentes componentes de un determinado modelo, apreciando la importancia de cada uno de ellos. Finalmente, permite comparar dos o mas modelos en parámetros tales como rapidez de procesamiento, complejidad, utilización de ciertas estructuras - como la memoria- flexibilidad, etc..

La base de validez de esta metodología reside en las posibilidades de generalización de las estructuras de funcionamiento, en este caso intelectual de un sistema procesador y de respuesta a otro. Por consiguiente, las limitaciones que se pueden encontrar son las que afectan a las diferencias entre uno y otro sistema de respuesta (Mayer, 1983). Por, definición, cuando no se cumplen los criterios de reproducción de la conducta humana, dejamos de hablar de simulación y lo hacemos de

inteligencia artificial. En este sentido, podemos afirmar que las condiciones para que se respete la validez en la simulación de la conducta intelectual humana por ordenador, son las siguientes (Gardner, 1985):

1. Que la conducta de respuesta del sistema informático sea igual, o equivalente, a la humana; y
2. Que los procesos reproducidos y las estructuras implicadas, sean los definidos en los modelos de inteligencia humana.

El cumplimiento de estas dos condiciones, especialmente de la segunda, supone modificar algunos de los aspectos estructurales de los sistemas informáticos a través de la programación. En este sentido, y parafraseando la denominación de la disciplina, se debe utilizar una informática artificial, lo que significa apartarse frecuentemente de las vías y estrategias de solución más adecuadas para los ordenadores, a fin de conseguir la simulación fiel del comportamiento humano, tanto en el procesamiento de la información como en la conducta resultante (Castelló, 1988). De todas formas, la flexibilidad de los sistemas informáticos permite, en muchos casos, esta utilización.

En algunos casos, las diferencias entre uno y otro sistema pueden impedir la simulación de ciertos modelos o conductas (Minsky, 1981). Este no es un argumento que afecte globalmente la validez de una simulación, debe ser entendida como un instrumento, no como una panacea de la investigación en inteligencia.

La simulación en psicología requiere un programa complejo de investigación con varias etapas, de las cuales sólo algunas están relacionadas con el empleo material del ordenador.

Si bien casi todas ellas ya han sido comentadas en el apartado correspondiente a las etapas de la elaboración de una simulación de este mismo capítulo, creo oportuno volver a tratar las etapas específicas en la realización de cualquier simulación psicológica.

- Investigación empírica

Esta fase se realiza con sujetos humanos y proporciona los patrones típicos de comportamiento de un determinado dominio. Por ejemplo, la memoria humana con listas de aprendizaje serial. Los datos así obtenidos sirven para elaborar una teoría psicológica.

- Teoría psicológica

En este punto se postulan procesos, estructuras y representaciones. La formulación de esta teoría puede ser más o menos detallada; desde un simple esbozo verbal hasta un diagrama de flujo muy articulado. Si bien cuanto más precisa sea esta mejor.

- Diseño del programa de ordenador

Aquí es donde empieza la simulación propiamente dicha. Las dos anteriores etapas también son típicas de cualquier tipo de experimentación. En este punto se trata de reformular la teoría psicológica en el lenguaje apropiado de un programa de ordenador. La similitud entre la teoría y el programa no es literal. Los programas pueden ser escritos en un lenguaje convencional arbitrario (ej: LISP, BASIC, C, etc.), que no se parece a los conceptos psicológicos. La descripción abstracta del programa (funciones, estructuras, etc..) es la que debe reproducir la teoría (Kosslyn, 1980; Pylyshyn, 1978). No es suficiente con la semejanza, es necesario conseguir la identidad entre la teoría psicológica y las funciones y estructuras reproducidas en el ordenador. La semejanza por sí sola introduce error.

- Ejecución del programa

Los modelos de simulación tienen la enorme ventaja de que se someten a prueba a sí mismos. La ejecución debe acomodarse a los parámetros básicos del comportamiento humano en la misma tarea (ej: probabilidad de recuerdo, tiempos

de reacción, errores o confusiones, etc..). Esta fidelidad psicológica permite una auténtica validación formal de la teoría simulada. En caso de ajuste la teoría psicológica se habrá fortalecido; en cambio si existen diferencias entre el comportamiento del ordenador y el humano, habrá que reformular la teoría, el programa o ambos.

- Planteamiento de hipótesis y nuevas predicciones

Si la simulación obtiene éxito puede facilitar o sugerir el planteamiento de nuevas hipótesis y predicciones psicológicas que no resultaban obvias en la teoría original. Posteriormente pueden verificarse esas hipótesis o partes de estas hipótesis con el diseño de nuevos experimentos con sujetos humanos.

Tal y como ya ha sido comentado a lo largo de este trabajo, la simulación hoy en día juega un doble papel en el ámbito de la Psicología (Apter, 1970; García-Albea, 1981; Lehman, 1977; Martínez Arias, 1981).

- a) Utilización del modelo de simulación como teoría psicológica o bien la simulación de procesos cognitivos, (el llamado criterio fuerte de la simulación).

- b) Utilización de la simulación como instrumento para poner a prueba las derivaciones que conlleva una teoría psicológica, es decir, el contrastar la teoría psicológica con los resultados provenientes de la simulación, (versión débil).

A partir de esta distinción, a continuación se estudiará el uso instrumental que la Psicología puede hacer de la simulación y el uso teórico de la simulación realizado en la psicología del procesamiento de la información.

2.7.4.1. SIMULACIÓN DE PROCESOS COGNITIVOS

Distintos autores consideran que el modelo de simulación no sólo puede ser utilizado como un instrumento para el desarrollo de teorías científicas, sino que el modelo de simulación es, en sí mismo, una teoría (Newell y Simon, 1972). Así, el ordenador se usará para construir modelos, sugerir hipótesis, desarrollar otras teorías, etc.. (García-Albea, 1981).

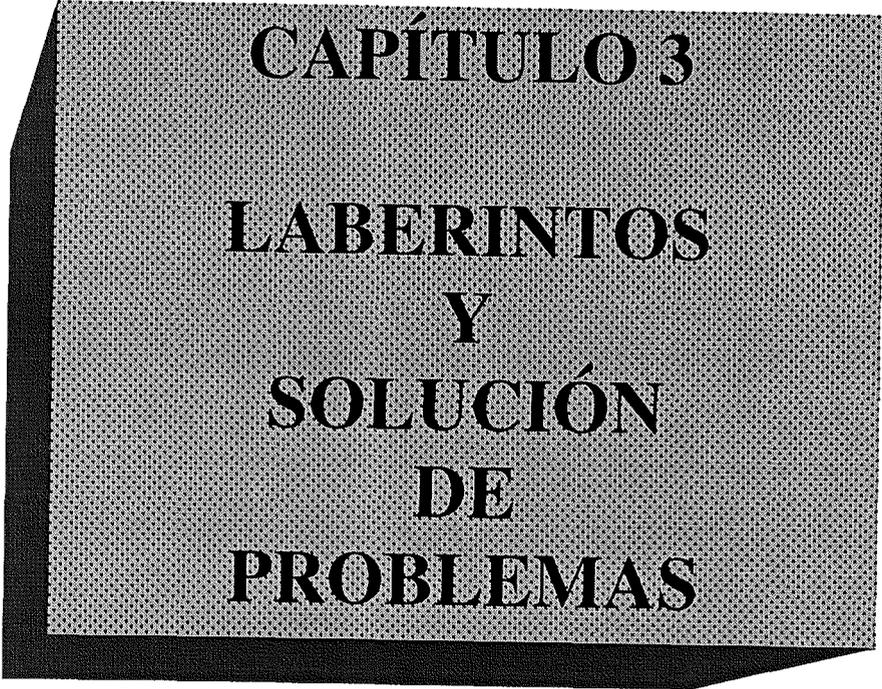
Algunos de los argumentos que debe cumplir todo modelo psicológico simulado son:

- a) La simulación ha de centrarse en las conductas relevantes, cuyas condiciones serán empíricas (ej. a partir de las conductas observadas por los sujetos en la solución de laberintos), y no a priori como en la prueba de Turing (1950).
- b) Tanto la conducta del simulador como del sistema modelado (organismo humano) han de ser idénticos en los aspectos restantes. (ej: errores, tiempo de visualización, tiempo de ejecución, etc..)
- c) Los procesos por los que el modelo de simulación produzca su conducta sean los mismos que los que utiliza el organismo, con lo que " a cada proceso psicológico que esté presente en la producción de una conducta le corresponde un proceso de datos, presente en la producción de una máquina" (Fodor, 1968). Es decir que entre dichos procesos haya una equivalencia funcional, no sólo de la conducta.

Por tanto podemos decir que el objetivo de la simulación es el desarrollo de modelos que realicen tareas funcionalmente equivalentes del mismo modo que el sujeto humano. Ello implica tanto la similitud de respuestas como una similitud en los procesos implicados en dichas respuestas. Esta es precisamente la principal

característica que distingue a la I.A. de la Simulación psicológica. El objetivo de la I.A. es conseguir programas que realicen tareas similares a las que llevan a cabo los seres humanos, pero sin tener en cuenta los procesos implicados en las respuestas ni las posteriores repercusiones que puedan tener sobre una teoría de carácter psicológico. En cambio, tal como ya ha sido apuntado, la simulación psicológica sí pretende considerar los procesos existentes entre la entrada y la salida, con el fin de averiguar los procesos cognitivos sobre los que se fundamenta la conducta.

A pesar de ello, las relaciones entre la I.A. (una rama de la ciencia de los ordenadores) y la simulación de procesos cognitivos (una área de la Psicología), en la práctica son bastante estrechas, pudiéndose hablar no sólo de influencias mutuas, o de programas comunes entre ambas áreas, sino también de acercamientos entre ambas disciplinas debido al tratamiento de fenómenos comunes (p. ej. reconocimiento de patrones, resolución de problemas, etc.), y en los métodos y lenguajes de programación empleados (ej: el Lisp). De ahí la aparición en los últimos años, como ya ha sido comentado anteriormente, de una nueva ciencia, la Ciencia Cognitiva que intenta el aprovechamiento heurístico de ideas entre varias disciplinas.



CAPÍTULO 3
LABERINTOS
Y
SOLUCIÓN
DE
PROBLEMAS

- 3.1. Laberintos
- 3.2. Problema y tipos de problemas
 - 3.2.1. Introducción
 - 3.2.2. Definición de problema
 - 3.2.3. Modelos teóricos en la resolución de problemas
 - 3.2.4. Tipos de problemas
 - 3.2.5. Métodos de solución de problemas
 - 3.2.5.1. Métodos de búsqueda algorítmica
 - 3.2.5.2. Método heurístico
 - 3.2.6. El problema del laberinto y clases de laberintos
 - 3.2.6.1. Procesos cognitivos en la solución de un problema
 - 3.2.7. Comentario final

3.1. LABERINTOS

Dado que el objetivo central de este trabajo es observar algunos procesos implicados en la representación y resolución de laberintos, es lógico aportar algunos datos referentes a los mismos.

La literatura referente a los procesos cognitivos que emplean los humanos en la resolución de laberintos ha sido poco tratada; entre estos pocos cabe destacar a (O'Connor y Glassman, 1993) comparando la capacidad de la memoria a corto plazo en humanos en la resolución de laberintos con respecto a la mostrada por ratas. La mayor parte de la literatura sobre laberintos proviene de los diferentes estudios realizados desde la vertiente conductista o neoconductista con animales, con abejas (Zhang, Bartsch y Srinivassa, 1996) o en su mayoría con ratas (ejemplo, Olton, Collison y Werz, 1977; Pellis, Pellis y Teitelbaum, 1991; Porter, Pellis y Meyer, 1990; Cho y Kesner, 1996; Glassman y Cols., 1994; Franke y Cols., 1997), o bien de los diferentes estudios realizados con humanos desde una perspectiva neuropsicológica o psiquiátrica (Eagger y Cols., 1992; Jacob y Cols., 1992;

Si bien en castellano se emplea un sólo término para referirnos a los laberintos, en inglés cabe distinguir entre lo que se conoce como "maze" y "labyrinth". E incluso para algunos autores, entre "maze", "labyrinth" y "puzzle". De forma genérica un laberinto es un modelo de caminos conectados entre sí que a menudo cambian de dirección, creando un acertijo para el ojo y un desafío para la mente, (traducido directamente del inglés).

¿Cuál es la diferencia entre "maze" y "labyrinth"? Actualmente los dos nombres son sinónimos. Sin embargo, la palabra "maze" es usada con una mayor frecuencia, debido quizás a los populares laberintos con cercos de setos ubicados en numerosas plazas y jardines (Matthews, 1970; Pennick y Hale, 1990).

Cuando se menciona la palabra “maze” mucha gente piensa en los laberintos de acertijos localizados en jardines o parques (Wilson, 1996) o también en rompecabezas para que puedan ser solucionados por niños (Kenner, 1986). Estos divertidos laberintos tienen varios caminos que conducen a la salida del mismo, con lo que se requiere adivinar el mejor camino para alcanzar la meta. Algunos de estos laberintos tienen varias entradas y salidas. Los diferentes puntos muertos convierten a estos laberintos en problemas misteriosos para su posterior solución. Son complicadas redes de caminos y, a veces, de senderos de setos, produciendo una apariencia de puzzles gigantes. Algunas características comunes en muchos “mazes” son la existencia de esquinas con trampa, así como de callejones sin salida.

Por otra parte, cuando se habla de “labyrinths” mucha gente recuerda la leyenda de Theseus y el minotauro (Morris, 1992; Lonegren, 1996). Estos verdaderos laberintos no contienen falsos caminos o salidas. Contienen un sólo camino que nos permite dirigirnos hasta el centro del mismo y regresar otra vez por el mismo camino. Estos laberintos no tienen trampa, no tienen puntos muertos, así como tampoco caminos que interseccionen entre ellos.

A pesar de la distinción existente entre unos y otros, el objetivo es común, encontrar el camino a través del cual se pueda alcanzar la meta o salir del laberinto.

A lo largo de la historia de los laberintos, es necesario distinguir los laberintos “ficticios” propios de la mitología griega, de los “reales”. Las leyendas e historias asociadas con “mazes” y “labyrinths” provienen de más de 3500 años, y su origen y propósito han sido llevados en misterio.

El laberinto como símbolo y la mitología que ha rodeado a éste, ha sobrevivido en diferentes culturas de varias maneras. Aunque pocos son familiares con el laberinto como símbolo, éste aparece en diferentes culturas, situadas en regiones tan distantes, como son Perú, Arizona, Islandia, Creta, Egipto y Sumatra. Incluso algunos países tienen símbolos, tradiciones folklóricas y patrimonios arquitectónicos basados en

laberintos (Fisher y Gerster, 1990), (ejemplo el laberinto instalado en Sussex (Inglaterra), que reproduce de forma más o menos fidedigna la silueta de un dragón).

Los historiadores creen que el primer laberinto fue creado en la isla de Creta donde un legendario monstruo fue puesto prisionero en un laberinto de confusos caminos. Este laberinto ha dado origen a la leyenda del laberinto de Creta:

“Dédalo fue el inventor y arquitecto que diseñó el laberinto de Creta para el rey Minos donde estaba encerrado el Minotauro, el monstruo mitad hombre, mitad toro que se alimentaba con los que tenían la mala suerte de caer en desgracia del rey. Durante mucho tiempo el cruel Minos exigió que Atenas le pagase como tributo, y de manera periódica cada año, con un grupo de siete hombre y siete mujeres jóvenes para ser sacrificados al Minotauro. Teseo, el hijo pródigo del rey Egeo de Atenas, (aunque esta paternidad estuvo bastante discutida por una de las esposas del rey Egeo, Medea, debido a que Egeo no llegó a conocer de pequeño a Teseo y le proclamó su hijo basándose solamente en el hecho de que Teseo se presentó en Atenas llevando puestas unas sandalias y una espada que Egeo había dejado para su hijo en Trozen) quiso acabar con esta práctica por lo que se ofreció voluntario para ser incluido en uno de estos grupos de víctimas. Así pues, allá se fue el valiente Teseo a deshacer tamaño entuerto y tan apuesto y bien parecido era que cuando llegó a Creta, Ariadna, la hija de Minos, se enamoró perdidamente de él y viendo que le iban a sacrificar al Minotauro se propuso salvarle de tan cruel destino, pero el laberinto estaba tan bien diseñado que nadie había escapado nunca de él.

Ariadna consiguió que Dédalo le revelara la manera de salir del laberinto y así ayudó a Teseo, su amante, a escapar dándole una madeja de hilo que éste fue desenredando al entrar en el laberinto de tal manera que cuando mató al Minotauro pudo, siguiendo el hilo, volver a encontrar la salida.

Cuando salió del laberinto Teseo se llevó a Ariadna con él y sus compatriotas atenienses. Mientras su barco se acercaba a las costas de su amada tierra se le olvidó poner la bandera blanca que señalaba el éxito de su misión. Egeo al ver en el barco

donde tenía depositadas todas sus esperanzas una bandera negra y pensando en la muerte de su hijo, se arrojó desesperadamente al mar desde un acantilado, mar que, desde entonces, se conoce con su nombre.

Al conocer la traición, Minos encarceló a Dédalo y a su hijo Icaro en el laberinto. Para escapar, Dédalo construyó unas alas de cera para ambos que les permitieron salir volando del mismo, pero Icaro, cegado por el poder y el orgullo quiso volar tan alto que se acercó demasiado al sol y sus alas se derritieron, cayendo contra tierra y matándose”, reproducido en (Fisher, 1990; Morris, 1992; O’Brien, 1991).

La historia del laberinto no sólo va asociada a la Mitología Griega (Matthews, 1970; Artres, 1992; Morgan, 1995), así se tienen referencias de lo siguiente:

- Arqueólogos que descubrieron la existencia de monedas romanas con la grabación de laberintos en uno de sus lados.
- La idea del laberinto fue propagada por los soldados romanos cuando invadieron Europa y las islas británicas
- Cientos de laberintos de piedra fueron construidos por toda Escandinavia para cercar plazas sagradas.
- En algunas culturas, las novias dibujaban símbolos en forma de laberintos en los umbrales de sus casas para proteger a sus novios de la maldad.
- A finales de 1800 una de las más populares atracciones fue el famoso laberinto Mirror.
- El superlaberinto, desarrollado en Australia, fue el primer laberinto fabricado de madera, cristal y alambre.

Actualmente, los laberintos tridimensionales son creados como juguetes con fines educativos para los niños.

Directamente relacionado con los laberintos nos encontramos con la Topología, una rama de Matemáticas creada por el matemático suizo Leonhard Euler (1707-1783) para solucionar el puente Königsberg. Localizado en el río Preger, Königsberg contenía dos islas conectadas por siete puentes. Los ciudadanos querían conocer si podrían pasear por su ciudad mientras cruzaban cada puente una sola vez.

Euler dibujó un diagrama o circuito del problema y, como un topologista, estudió los arcos y vértices. Descubrió que para que una red fuera fácil de seguir, esta sólo podía tener dos vértices impares. Un vértice es considerado impar o par dependiendo del número de arcos que interseccionan con este. En la red Königsberg, hay cuatro vértices impares, resultando imposible que cada puente sólo fuera cruzado una sola vez (Pappas, 1989; Schattschneider, 1990).

Las redes o diagramas de arcos y vértices de un problema se encuentran presentes en distintos lugares de nuestras vidas, como en el mundo de la electricidad y de las líneas de teléfono utilizadas en las redes de ordenadores o bien para los mismos ordenadores. Cuando se piensa en ello, el impacto que los laberintos y su estudio tienen en nuestras vidas es verdaderamente apasionante.

Ahora bien, no todo es historia, actualmente y poniendo un ejemplo muy trivial, podríamos decir que cada vez que acudimos a un gran centro comercial nos encontramos inmersos dentro de un laberinto, sin tener mucha idea de hacia donde girar para encontrar una salida, de tal manera que vayamos vagabundeando de un sitio para otro, justamente lo que quieren los diseñadores de estos grandes centros comerciales (maximizar el número de secciones que un paseante llega a atravesar, para que, por casualidad y casi como el que no quiere la cosa, éste vea algo que le llame la atención, se acerque, y compre).

Por último comentar que los primeros trabajos llevados a cabo en Psicología fueron realizados a primeros de siglo por Small y Watson con ratas que aprendían respuestas para llegar hasta donde se encontraba la comida (Chamizo, 1990).

3.2. PROBLEMA Y TIPOS DE PROBLEMAS

3.2.1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el objetivo prioritario de este trabajo: modelización de procesos cognitivos en la solución de un determinado problema, cabría plantearse el tipo de problema que mejor nos pudiera ayudar a conseguir este propósito.

Después de barajar diferentes posibilidades, al final nos decidimos por el problema de resolver un laberinto por varios motivos:

- Es posible presentar el estímulo en un formato 2D para que posteriormente pueda ser resuelto de forma 3D, posibilitando que se puedan estudiar algunos de los procesos cognitivos implicados en la representación y solución del mismo,

- La extrapolación, desde un punto de vista cognitivo, que se pueda realizar de los resultados obtenidos en la solución de laberintos en tres dimensiones a la solución de problemas con características parecidas existentes en el mundo real,

■ La posibilidad de crear, implantar y solucionar el problema por ordenador. Aprovechando que tanto el autor como uno de los codirectores de este trabajo disponen de conocimientos informáticos, la construcción del software diseñado para este trabajo ha sido realizado pensando en los objetivos a conseguir en el mismo. Así, en el diseño de los diferentes laberintos empleados en la fase experimental se han tenido en cuenta muchas de las características inherentes a los mismos, y

■ La posibilidad de implementar un programa de simulación por ordenador, con el fin de poder estudiar el comportamiento de algunos de los procesos cognitivos implicados en la solución de laberintos, así como analizar y verificar la interconexión existente entre cada uno de ellos.

3.2.2. DEFINICIÓN DE PROBLEMA

Un problema es una situación en la que se intenta alcanzar un objetivo y se precisa encontrar un medio para conseguirlo. En términos generales se puede describir que existe un problema cuando un organismo no logra alcanzar la meta propuesta en un primer momento, existiendo diversos caminos alternativos para hacerlo (Reitman, 1965; Newell y Simon, 1972). En esta definición pueden observarse los tres principales elementos implicados en la resolución de problemas como:

- a) Una situación inicial o situación de partida
- b) una situación final o situación meta, y
- c) una secuencia o serie de acciones que permiten pasar de la situación inicial a la situación meta.

Cabe apuntar que la anterior definición de problema es un tanto reduccionista pues únicamente se está refiriendo a problemas bien definidos, es decir con una sola solución. Aunque estos no sean los únicos tipos de problemas existentes, tal y como tendremos ocasión de ver a lo largo de este capítulo, si son del mismo tipo que el problema planteado en este trabajo.

Por consiguiente, la resolución de problemas, (en problemas bien definidos y que contengan una sola solución), es aquella actividad o proceso mediante la cual los sistemas descubren la secuencia de acciones necesarias para pasar de una situación inicial a otra situación final o meta, teniendo siempre en cuenta las restricciones impuestas por el contexto.

Así es fácil deducir que los problemas utilizados en los laboratorios de psicología experimental están muy bien definidos y siempre es posible descubrir de forma clara la situación de partida y la meta que se pretende conseguir. Ello ha hecho que a lo largo de los años haya resultado más difícil el estudio de problemas mal definidos o ambiguos, como por ejemplo, la creatividad, de ahí que estos hayan sido menos estudiados, si bien no resultando por ello menos interesantes.

3.2.3. MODELOS TEÓRICOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

■ Modelo Conductual

Para los conductistas la solución de un problema radica en la conexión entre un estímulo (input) y una respuesta (output) sin tener en cuenta los procesos internos que intervienen.

Este enfoque puede identificarse con todos aquellos trabajos realizados en el contexto propio de la psicología conductista, cuyos orígenes pueden localizarse en los

trabajos realizados sobre psicología animal dentro de la orientación funcionalista. Este modelo conductual se caracteriza por:

- a) considerar que la resolución de un problema consiste en la ejecución de una respuesta adecuada (nueva o previamente aprendida) que permite el paso de la situación de partida a la situación final, y
- b) adoptar una posición asociacionista fundamentada en el modelo E-R en donde se pretende ampliar los principios generales del aprendizaje por condicionamiento al contexto específico de la resolución de problemas.

Así la explicación del proceso de resolución de problemas ofrecida desde este modelo conductual es válida para explicar cualquier situación experimental diseñada dentro del contexto del aprendizaje conductista (laberintos, runways o corredores, cajas de Skinner). Si bien los sujetos experimentales más frecuentemente empleados han sido los animales, siempre ha sido con objeto de aplicar los principios teóricos descubiertos al ser humano. En definitiva, la resolución de problemas, lejos de entenderse como una actividad netamente cognitiva, se reduce a simples procesos asociativos responsables de la emisión de una respuesta adecuada para la situación, siendo ello aplicable a cualquier organismo, incluido el ser humano.

■ Modelo Gestáltico

La Gestalt, tanto para el estudio del pensamiento en general como de la solución de problemas en particular, rechaza de forma contundente los principios asociacionistas. Como consecuencia de ello entiende que para explicar la resolución de problemas no es necesario recurrir a principios de aprendizaje de respuestas graduales por ensayo y error, sino que más bien el proceso de resolución consiste en reestructurar perceptualmente una situación que se encuentra alterada.

Para la Gestalt, existe un problema cuando el organismo se encuentra en una situación inicial que genera un desequilibrio en el campo perceptual; la solución

consiste precisamente en reorganizarlo o reestructurarlo de tal manera que se obtenga una nueva forma o campo perceptual organizado (Gestalten). Al mecanismo responsable de la reestructuración de la situación-problema se le denomina “insight”. El insight es el proceso responsable del descubrimiento de una nueva organización perceptual de la situación que permite alcanzar la meta, y cuya característica más relevante es su aparición repentina, lo cual contradice lo expuesto en el modelo conductual: Ej. de ello es observar como los chimpancés de Köhler descubren de repente una nueva reorganización de la situación, en contraste con el “aprendizaje progresivo” de jerarquías de respuesta por ensayo y error de los gatos de Thorndike.

Actualmente, esta experiencia de insight está volviendo a ser centro de interés de los investigadores, a la vez que se intenta relacionar con los procesos de recuperación no intencional de información de la memoria implícita. Trabajos recientes proponen entender el insight como un proceso no intencional, en donde los contenidos o experiencias anteriores almacenadas en nuestra memoria ayudan a descubrir las soluciones ante situaciones-problema, sin que el ser humano sea consciente de ello (Dorfman, Shames y Kihlstrom, 1996).

■ Modelo Cognitivo

Para los defensores del procesamiento de la información, tal y como tuvimos ocasión de observar en el capítulo 2 de este trabajo, tiene una enorme importancia los procesos que intervienen entre el input y el output y que nos dirigen a obtener la ansiada meta.

Si el enfoque conductista hacía especial énfasis en el ensayo y error, y la Gestalt en el Insight, el modelo cognitivo entiende que la resolución de un problema consiste en un proceso de búsqueda en el denominado espacio-problema.

Como ya ha sido apuntado anteriormente en este mismo trabajo, la aparición del paradigma cognitivo o procesamiento de la información supuso una revolución en psicología al reivindicar el papel activo del sujeto en el procesamiento de la

información, aunque la Gestalt ya lo venía haciendo, y como consecuencia de ello proceder a estudiar desde una nueva perspectiva los procesos cognitivos humanos, reducidos hasta entonces a simples cadenas asociativas, lineales, y mecánicas constituidas por estímulos y respuestas.

El modelo cognitivo se fundamenta en que para solucionar un problema el punto de partida del operador humano es la creación de una estructura mental denominada espacio-problema (Newell y Simon, 1972). El espacio-problema es una representación mental construida por el sujeto en la que se incluye:

- a) la situación inicial o situación de partida
- b) la situación final o meta que se pretende conseguir,
- c) las posibles soluciones alternativas que no son sino un conjunto de operadores que permiten transformar la situación inicial en situación final, y
- d) el conjunto de restricciones que conlleva el problema (por ejemplo, movimientos permitidos, tiempo del que se dispone, reglas o normas de juego, etc..)

Así pues, el modelo cognitivo entiende que resolver un problema consiste en buscar en el espacio-problema el(los) mejor(es) operador(es) que permita(n) pasar de la situación inicial a la final, teniendo en cuenta las restricciones impuestas. (Vuelvo a insistir en que muy parecido a lo que venía haciendo el enfoque de la Gestalt).

De esta manera no es de extrañar que los psicólogos cognitivos hayan empleado un gran esfuerzo intentando descubrir cuales son los principales métodos de búsqueda que los sujetos utilizan para solucionar problemas (Schmeck, 1988; Chipman, Segal y Glaser, 1985; Mayer, 1998).

En el caso que nos ocupa en este trabajo, y que no es otro que la resolución de laberintos, la situación inicial consistiría en localizar el punto de partida o entrada; la

situación final: el punto de meta; restricciones: caminos sin salida, avanzar cada vez un sólo paso, limitado número de pasos visibles, seguir un determinado plan de acción, etc. Ante este problema existen diversas estrategias de búsqueda de soluciones, es decir, búsqueda de operadores que permitan pasar de la situación inicial a la meta y que también quedan incluidos en su espacio-problema.

Ahora bien, aunque tanto para el problema que presenta este trabajo como para los demás problemas existen diferentes estrategias de solución (Bernad, 1988, 1990; Román, 1991; Beltrán, 1993), algunas son bastante más eficientes que las otras, (tanto en economía de recursos como en accesibilidad a la solución).

3.2.4. TIPOS DE PROBLEMAS

La investigación psicológica sobre la solución de problemas se ha dividido tradicionalmente en investigación sobre puzzles (problemas sin adversario) e investigación sobre juegos (problemas con adversario). Sin embargo, la importancia de esta distinción no radica tanto en los métodos utilizados sino en el hecho de que la mayor parte de las investigaciones sobre los puzzles ha sido llevada a cabo con novatos, mientras que muchos de los trabajos sobre el juego han investigado la manera en que los expertos se enfrentan con juegos como el ajedrez, y cómo ésta se diferencia de la de los novatos, (Garnham y Oakhill, 1996).

Ejemplos de problemas sin adversario son:

- El problema de los misioneros y caníbales: *“Transportense tres misioneros y tres caníbales a la otra orilla del río, utilizando un barco que puede llevar tan sólo a dos personas, y que necesita al menos una persona que lo dirija a través del río. Nunca debe haber más caníbales que*

misioneros en ningún sitio, puesto que los caníbales se comerán a los misioneros”.

■ Problemas de jarras: ejemplo, *“dadas tres jarras, A, B y C, que pueden contener 8, 5 y 3 litros, respectivamente y suponiendo que A está inicialmente llena, B y C vacías. Encontrar una manera para que al final queden 4 litros en A y 4 litros en B”.*

■ Torre de Hanoi: *“tres clavijas con dos (o más) discos de tamaño progresivo apilados en una clavija. Trasládense todos los discos a la tercera clavija, moviendo sólo un disco cada vez, y sin colocar nunca un disco encima de otro más pequeño”.*

■ La solución de laberintos propuesta en cualquier revista de pasatiempos: *“a partir de un punto de entrada encontrar el camino que conduzca a la solución del mismo”.*

Ejemplos de problemas con adversario serían juegos, como tres en raya, las damas, el ajedrez, etc.. En estos problemas no existe control sobre todo los operadores y el espacio final no está bien definido.

Otra clasificación de problemas es la mostrada por Greeno (1978), en concreto se basa en problemas de transformación, problemas de inducción de estructuras y problemas de ordenación.

■ Problemas de transformación: un problema de transformación es aquel compuesto por un estado inicial, una meta y un conjunto de operaciones cuya ejecución transforma el estado inicial en la meta. Dado que el número de transformaciones posible es muy grande, el sujeto emplea estrategias para seleccionar los movimientos o cambios a realizar. Ejemplos de estos problemas son: el de Misioneros y Caníbales y el de la torre de Hanoi.

■ Problemas de inducción de estructuras: Son problemas en que los sujetos para hallar la solución deben descubrir analogías estructurales, no de contenido, entre elementos pertenecientes a dominios dispares (De Vega, 1984). Dos problemas de inducción de estructuras son:

- Analogías verbales: Los problemas más simples son los de analogías verbales. Dado el siguiente formato A:B::C:D, los dos primeros términos (A y B) mantienen una relación explícita en el problema, y el sujeto debe averiguar un término incógnito (D) que mantiene una relación con C, análoga a la primera relación. Por ejemplo, “*caballo es a yegua, como toro es a (vaca)*”.
- Analogías complejas: En estos problemas mucho más sofisticados se precisa de una solución verdaderamente creativa.

■ Problemas de ordenación: En estos problemas el sujeto recibe una serie de elementos, y su tarea es reorganizarlos de modo que se alcance un criterio. Ejemplos de estos problemas son los anagramas, es decir series de letras que el sujeto debe reordenar para obtener una palabra y el criptoaritmético, en la que el sujeto dispone de 3 series de letras, que deberá sustituir por cifras numéricas de manera que la operación aritmética resultante sea correcta.

A pesar de la anterior clasificación, muchos de los problemas además de pertenecer a alguna de las categorías, también comparten propiedades de otras.

A modo de resumen los problemas de transformación y de ordenación tienen en común el empleo de unas reglas explícitas y a menudo, limitadas. En cambio el número de combinaciones u operaciones a realizar con estas reglas es muy grande. Así la dificultad para poder implantar estos problemas informáticamente viene determinada por el elevado número de operaciones posibles, (lo que se conoce como explosión combinatoria), y no por el tipo de operaciones, que suelen estar muy bien definidas. En cambio, los problemas de inducción presentan dos complicaciones informáticamente

complejas: disponer de mucha información local (referida a los objetos con que se trabaja) y poder aplicar un conjunto muy extenso de operaciones.

De alguna manera, los símbolos que afectan a los problemas de transformación y ordenación tienen poca importancia. Por ejemplo, el problema de misioneros y caníbales, puede ser planteado como un problema entre lobos y corderos, entre policías y ladrones o cualquier otra formulación, sin que para ello se vean afectadas las reglas de operación. En cambio, las reglas de funcionamiento entre analogías varían según el tipo de símbolo que se emplee, en concreto, según la semántica de estos. Por ejemplo, las relaciones “guante es a mano, como calcetín es a” requiere establecer la relación ropa que protege una parte del cuerpo, mientras que “coche es a carretera como tren es a.....” implica la relación vía física de movimiento. Así, el conocimiento es una parte crucial en estos últimos problemas, mientras que en los primeros se puede prescindir completamente de él. De forma especial, en las analogías complejas, las operaciones a realizar son mucho menos explícitas (implicando creatividad), aunque de hecho podemos afirmar en cualquiera de los casos de inducción, que el espacio del problema no está nunca completamente definido.

3.2.5. MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En cuanto a los métodos de solución de problemas cabe distinguir entre los algoritmos y los heurísticos.

3.2.5.1. MÉTODOS DE BÚSQUEDA ALGORÍTMICA

Estos métodos presentan la ventaja de encontrar siempre la solución del problema para el que han sido diseñados. Sin embargo, ello sólo es posible a cambio de invertir una gran cantidad de tiempo, pues supone explorar exhaustivamente todas las posibilidades hasta encontrar la solución, no teniendo en cuenta cualquier información ajena al contexto del problema que pudiera facilitarles la tarea. Es por ello que a estos métodos se les conoce como métodos de búsqueda exhaustivos y no dirigidos.

Este tipo de búsqueda es poco asimilable a los procesos humanos considerados como inteligentes, más orientados por estrategias de búsqueda heurística.

A pesar de estos inconvenientes, este método es de particular interés cuando se piensa obtener todas las soluciones de un problema y para conseguirlas se tienen unos límites de tiempo y capacidad de memoria razonables.

3.2.5.2. MÉTODO HEURÍSTICO

Los heurísticos no siempre garantizan la solución, aunque cuando se encuentra ésta suele aparecer muy rápidamente. Es así porque utilizan información externa del contexto del problema que ayudará a dirigir la búsqueda, explorando solamente las alternativas de solución más probables. Por ello, y a diferencia de los anteriores, se dice que son métodos de búsqueda no exhaustivos y dirigidos.

La investigación realizada en psicología ha puesto de manifiesto que el ser humano, en situaciones-problema que exigen respuestas novedosas raramente recurre a la utilización de algoritmos. Al ser métodos de búsqueda exhaustivos y rígidos que

analizan todas las posibilidades carecen de economía. Por ejemplo, se estima que el número total de combinaciones en el juego de damas oscila en torno a un diez seguido de cuarenta ceros. Un ordenador que propusiese tres combinaciones por milímicrosegundo necesitaría diez elevado a veintiuno siglos. Lo mismo se podría comentar con el juego del ajedrez. La máquina utilizaría una búsqueda algorítmica exhaustiva y no garantizaría siempre la mejor solución con el inconveniente de que tal vez no vivamos para verlo, el jugador de ajedrez y los seres humanos en general prescindimos de la búsqueda algorítmica y preferimos (o realizamos de forma automática) la heurística, y ello aún a riesgo de no encontrar la (mejor) solución.

En el mundo de la informática, aunque los primeros ordenadores seguían métodos algorítmicos para la resolución de sus problemas, a partir sobre todo de la aparición de la 5ª generación, estos emplean cada vez más una metodología heurística.

Dentro de los métodos heurísticos existe variedad de procedimientos que tienen en común la economía en la búsqueda de soluciones, debido a que la información que contienen les dirige a la búsqueda de aquellas alternativas más plausibles. Entre los procedimientos más estudiados de búsqueda heurística se encuentran la memorización de soluciones concretas, la abstracción de soluciones y sobre todo el análisis de medios-fines.

■ Soluciones concretas memorizadas

La idea de este procedimiento es la de aplicar la misma solución que ha sido efectiva en anteriores ocasiones.

Quizá donde se pueda mostrar mejor este tipo de soluciones sea dentro de los numerosos estudios realizados en el campo de la psicología del ajedrez. Así nos encontramos con los trabajos de De Groot (1965) en que se pusieron de manifiesto que la mayor superioridad de los maestros de ajedrez frente a los jugadores novatos radicaba más bien en el recuerdo de situaciones o combinaciones de juego significativas que se han presentado en otras partidas y no tanto en la habilidad para analizar las

combinaciones más probables. Otros trabajos posteriores fueron los realizados por (Chase y Simon, 1973), quienes con su "chunking theory", descubrieron que esta memorización no es algo mecánico o fotográfico puesto que el rendimiento mostrado por expertos y novatos es igual de mediocre cuando lo que se exige es recordar disposiciones de piezas totalmente aleatorias sobre el tablero carentes de significado ajedrecístico. Lo que distingue a los expertos de los novatos es el recuerdo de agrupamientos (chunks) de información significativa para el desarrollo del juego que se adquieren con la práctica (posiciones de ataque sobre el enroque, control de columnas y diagonales abiertas, clavadas dobles, etc.). Es por ello que, ante una determinada combinación de ajedrez, un jugador experto es capaz de descubrir el tipo de apertura utilizado, los posibles movimientos con los que se ha llegado a dicha combinación, y estar en condiciones de aventurar la jugada con la que prosiguió la partida. Sin embargo, esta teoría no ha estado a salvo de algunas críticas como así lo declaran las dos teorías recientemente aparecidas (Ericsson y Kintsch, 1995; Gobet y Simon, 1996), destacando la importancia de las limitaciones impuestas por el dominio de la tarea.

■ Abstracción y generalización de soluciones

En numerosas ocasiones no almacenamos en memoria soluciones concretas sino principios generales de resolución a partir de mecanismos de razonamiento inductivo. La inducción, entendida como generalización o abstracción de los hechos particulares, constituye un poderoso heurístico aplicado durante el proceso de búsqueda de soluciones. Así almacenamos en la memoria a largo plazo no tanto soluciones concretas a problemas singulares sino más bien soluciones generales aplicables a un dominio amplio de situaciones.

Este método de abstracción de soluciones opera en dos fases (Greeno y Simon, 1988). En la primera fase o fase abajo-arriba (bottom-up) recoge la información de los elementos específicos que componen el problema y la compara con aquella otra que se encuentra almacenada en memoria con objeto de elaborar un principio general, es decir inducción. En la segunda fase o fase arriba-abajo (top-down) se genera un principio

general que se aplica a cada uno de los casos-problema concretos, es decir deducción. Por supuesto ambos casos no son excluyentes.

■ Análisis medios-fines o descomposición en subproblemas

Debido a la complejidad de muchos problemas, no es posible la aplicación de métodos de búsqueda, por lo que es necesario dividir dicho problema en dos o más subproblemas, con lo que:

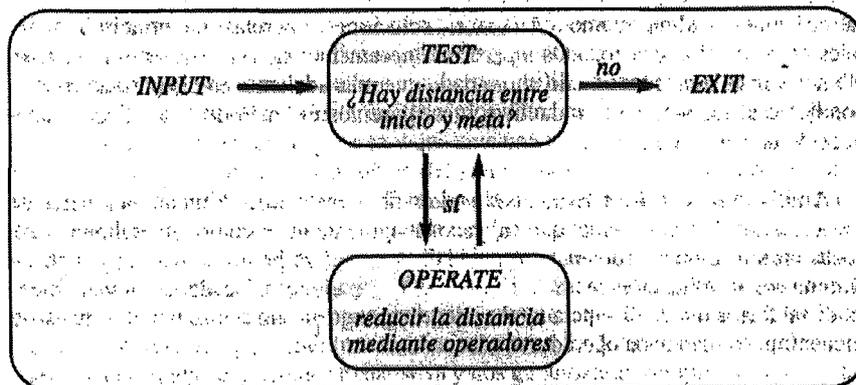
- a) Los subproblemas son más fáciles de resolver que el problema original.
- b) Si todos los subproblemas se resuelven, entonces el problema original se resolverá.

Algunos de estos subproblemas pueden a su vez descomponerse en problemas aún más simples, por lo que el procedimiento es recurrente, (Pazos, 1987; Castelló, 1988).

Así el análisis medios-fines o descomposición en subproblemas es un procedimiento heurístico de reducción de distancias, de tal manera que la distancia total existente entre el punto de partida y la meta se descomponga en sub-metas para las que sí se encuentran soluciones u operadores adecuados.

La amplia utilización de este heurístico de reducción de distancias se ha llegado a formalizar en el modelo denominado TOTE (test, operate, test, exit, es decir, comprobar, operar, comprobar, salir) desarrollado desde la Inteligencia Artificial (Miller, Galanter y Pribram, 1960). El siguiente cuadro representa en términos de diagrama de flujo la manera de operar del modelo.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO "TOTE"



Durante la solución de problemas el operador central calcula la distancia existente entre la posición actual y la posición final o deseada (test). Si no existe distancia se finaliza el proceso (exit); si existe se opera (operate) buscando una solución parcial que reduzca dicha distancia. Se vuelve a comprobar que ello efectivamente ha ocurrido (test) y caso de no ser así se vuelve a buscar otro operador (operate) hasta anular la distancia y finalizar el proceso (exit).

Probablemente una de las investigaciones más exhaustivas y clásicas sobre resolución de problemas dentro del modelo cognitivo sea el trabajo presentado por Newell y Simon (1972) y en el que se describen los resultados obtenidos con un programa de simulación por ordenador (GPS). Este programa fue diseñado a partir de los protocolos de multitud de sujetos que se enfrentaban a tareas de resolución de problemas concretos, y como consecuencia de ello se pretendió que su funcionamiento fuera análogo a la manera que opera el ser humano. En este programa se tiene en cuenta la necesidad de crear un espacio-problema definido, constituido por expresiones simbólicas, por un conjunto de expresiones lógicas que actúan como operadores, y por una secuencia de reglas en las que se especifica los márgenes correctos y/o permitidos de actuación de los mismos.

Esta secuencia de reglas que podían expresarse de una manera uniforme como conjuntos de reglas de si..... entonces....., (es decir si se cumplen ciertas condiciones, entonces realizase cierta acción es lo que constituyen los denominados producciones o sistema de producciones (Johnson-Laird, 1990). Como consecuencia de

que existen diferentes estrategias para solucionar un problema, el empleo de una producción con más condiciones específicas es preferible a una con menos condiciones específicas.

Aunque los sistemas de producción fueron desarrollados en un principio para explicar cómo soluciona la gente los problemas, posteriormente se han utilizado de una manera más general tanto en Inteligencia Artificial, (sistemas expertos), como en Psicología, (pensamiento, razonamiento, etc..). De hecho el conocimiento se codifica en reglas de codificación-acción, es decir, en fórmulas de “si-entonces”. “Si se da la condición 1, la condición 2... y la condición N, entonces se produce la acción 1, la acción 2.... y la acción N”, constituyendo ello a su vez la base de la programación informática.

De esta manera y como conclusión, se puede comentar como los seres humanos preferimos la utilización de métodos heurísticos frente a los algoritmos, debido fundamentalmente a la economía que aportan en la búsqueda de la solución los primeros, aún y siendo conscientes de que no garantizan la solución, y a que los heurísticos son métodos mucho más flexibles o potentes que los algoritmos.

Asimismo y directamente relacionado con lo anterior, tal y como menciona Kahney (1993), una de las principales motivaciones de los investigadores en el campo de la solución de problemas es desarrollar una gran teoría de solución de problemas que permita explicar la interacción existente entre la situación de un problema y el sujeto abordando el problema. Es decir, los investigadores en la resolución de problemas están muy interesados en entender y comparar las estrategias y las representaciones mentales que emplean diferentes tipos de sujetos (expertos o novatos; novatos buenos o novatos malos; niños y adultos) cuando éstos se enfrentan a diferentes tipos de problemas (problemas bien definidos o problemas mal definidos; problemas familiares o problemas desconocidos; problemas con adversario o problemas sin adversario), (Swanson, O'Connor y Cooney, 1990).

Estos investigadores no sólo están interesados en el desarrollo de teorías de resolución de problemas sino también en poder aplicar sus ideas a cuestiones o preocupaciones del mundo real. Así la investigación en la solución de problemas tiene importantes implicaciones, tales como: Entrenar y educar a la gente para que actúen eficazmente en áreas especializadas de solución de problemas; la enseñanza de habilidades creativas y de solución de problemas en general; y ayudar a la adquisición de habilidades por medio de sistemas tutorizados por ordenador (Martin y VanLehn, 1995; Mannes y Hoyes, 1996).

El investigador ante la solución de problemas se sirve de diferentes métodos para obtener información que sea relevante para alcanzar su objetivo, entre ellos:

■ Métodos experimentales tradicionales

Los cuales conciernen asignación aleatoria de aspectos para condiciones que reflejan diferentes niveles de una variable independiente (Ej. información o no de éxito, disposición de una o dos analogías previas, etc..)

■ Diseños casi experimentales

Estos normalmente involucran aspectos asignados a diferentes cuestiones basadas en variables referentes a los sujetos (ej. sujetos expertos y sujetos novatos).

■ Estudios longitudinales

Aquellos estudios en que es importante detectar la evolución de un determinado proceso o actividad, ejerciendo un cierto control sobre los elementos que van cambiando en el sujeto y en el entorno. La actividad de los sujetos es controlada de forma intermitente (ej. por medio de entrevistas o protocolos) a lo largo de un tiempo prolongado (puede variar de meses a años y en áreas muy concretas).

■ Análisis de protocolos verbales

Esta técnica consiste en que los sujetos verbalicen en voz alta aquello que están pensando mientras están intentando resolver un problema. Esta técnica puede ser empleada como un aspecto de un diseño experimental, un diseño cuasi experimental, un estudio de caso longitudinal o en la técnica que veremos a continuación, como es la simulación por ordenador.

■ Simulaciones por ordenador

Estos programas de ordenador están escritos y orientados a simular aspectos claves de aquellos procesos que emplean los seres humanos en la resolución de problemas. El programa por ordenador debería ser administrado como un problema y éste proporcionar pistas de cuáles son las operaciones que se están empleando mientras se intenta solucionar un problema (Paul y Thomas 1996). Esta referencia suministrada por el ordenador debería poder ser comparada con los protocolos verbales proporcionados por los sujetos u otras fuentes de información (por ejemplo el dibujo o análisis de errores), con el efecto de poder evaluar si los dos (ordenador y ser humano) están haciendo las mismas cosas de la misma manera.

Cabe comentar que la información proporcionada tanto por los dibujos efectuados por los sujetos, como un exhaustivo análisis de errores es mucho más fiable que la proporcionada a través de protocolos verbales, puesto que al tratarse de conductas mucho más automáticas, el sujeto las efectúa a un nivel consciente mucho más bajo que en el caso de los protocolos verbales. En éste, el sujeto puede verbalizar aquello que cree que se le está pidiendo que responda o aquello que cree que debe responder.

3.2.6. EL PROBLEMA DEL LABERINTO Y CLASES DE LABERINTOS

El tipo de problema que se presenta en este trabajo es la representación o solución de laberintos presentados inicialmente en un formato bidimensional para posteriormente tener que ser resueltos en un formato tridimensional.

La solución de laberintos formaría parte del tipo de problemas definidos anteriormente como problemas sin adversario. Seguramente la dificultad en la resolución de un laberinto vendrá determinada, tanto por la complejidad del mismo, como por la manera en que los humanos nos representamos el laberinto, es decir por la estrategia elegida para intentar solucionarlo.

Existen diferentes tipos de laberintos, los laberintos pueden variar en su forma, así nos podemos encontrar con laberintos cuyas paredes formen entre sí ángulos rectos, o bien hexagonales en forma de panel, o bien en círculo, etc.. Asimismo pueden variar según sea su complejidad, así nos podemos encontrar con laberintos simplemente conexos, laberintos dobles, triples o múltiplemente conexos (Hernández, 1997).

Para este trabajo se han creado unos laberintos con un solo punto de entrada y salida, con un único camino de solución y cuyas paredes forman entre sí ángulos rectos, es decir, lo que se conocen como laberintos simplemente conexos.

Nos hemos decidido por este tipo de laberintos por varias razones:

- 1) Que fuera posible la solución de los mismos, en todo caso la dificultad para la resolución de los mismos vendría marcada por la estrategia empleada.
- 2) Que se pudiera visionar por ordenador el mismo laberinto en un formato 2D y en un formato 3D.

- 3) Y por que la aparente complejidad de los laberintos dependa del número de nexos, (patrones en forma de ángulo recto) y del número de elementos complementarios anexados al camino de solución.

Si bien, tanto para el diseño como para la resolución de laberintos pueden utilizarse las técnicas de la teoría de grafos, nosotros no entraremos en tales adquisiciones matemáticas puesto que no nos interesa para este trabajo.

Los laberintos conexos o laberintos sencillos se conocen como aquellos laberintos que no tienen rutas cerradas o bucles en su interior, y se puede fácilmente salir de los mismos empleando la sencilla regla de la mano derecha, (para los zurdos existe una regla de la mano izquierda). La regla consiste en seguir siempre una pared, por ejemplo la pared derecha y tomar siempre, por tanto, la derecha al llegar a cualquier bifurcación.

Esta regla no resulta eficaz para aquellos laberintos que tienen dos o más salidas, o que la salida se encuentra en el interior del laberinto, o en el laberinto que tiene bucles.

El primer laberinto con bucles en su interior del que se tiene noticia histórica se diseñó y construyó en Chevening alrededor de 1820 y tenía ocho caminos cerrados en su interior. Tenía sólo una entrada en un lateral y había que llegar al centro para resolver el laberinto (Mathews, 1970). Aunque la regla de la mano derecha nos permite salir del laberinto no nos permite llegar al centro del mismo, aunque de hecho exista un camino para llegar a él. La regla de la mano fija no es lo suficientemente potente como para permitirnos encontrar el camino correcto en un laberinto de este tipo.

Otras maneras de resolver un laberinto son las reglas que los informáticos aplican para realizar recorridos en árboles y otras estructuras dinámicas de datos.

Así por ejemplo, si contamos con alguna manera de utilizar las siguientes reglas para salir del laberinto:

- Cada vez que se llegue a una bifurcación se hace una marca en la pared o el suelo tanto en el pasillo que llevamos como con el que vamos a tomar. Esto nos indica que esta bifurcación ya ha sido visitada.

- Si llegamos a un camino sin salida, cerrado, volvemos a la bifurcación anterior.

- Si llegamos a una bifurcación ya visitada elegiremos uno de los caminos que aún no hemos marcado. Si esto no fuera posible entonces elegiremos un camino que sólo hayamos marcado una vez.

El procedimiento se conoce en informática como búsqueda en profundidad, (para un mejor conocimiento de la técnica se remite al lector a cualquier libro de Inteligencia Artificial existente en la bibliografía de este trabajo). Este procedimiento puede que nos lleve dando vueltas y más vueltas a lo largo del laberinto, pero puede demostrarse que nos garantiza el encontrar la salida aunque nos aparezcan caminos cerrados dentro del laberinto.

Todos los algoritmos y reglas que hemos comentado hasta este momento se basan en la aproximación conocida como “rata en el laboratorio” en el que se trata de resolver el laberinto desde el punto de vista de alguien que se encuentra dentro del mismo y que sólo puede ir explorando cada pasillo de manera secuencial, igual que lo haría una “rata” en uno de los infinitos experimentos de inteligencia animal tan de moda en los años 50 y 60.

No obstante, existe otra manera de resolver laberintos, (si bien no es aplicable a una rata que se encuentre encerrada dentro de un laberinto). Esta nueva forma hace uso de las propiedades de los autómatas celulares (Basem, 1993).

Supongamos que tenemos una matriz bidimensional de células que pueden estar en dos estados: PARED y PASILLO. Una célula en el estado PARED es una célula por

la que no podríamos pasar, mientras que una célula en estado PASILLO es una célula que nos permite caminar por ella. Una célula puede cambiar de estado y en cada uno de los clicks todas las células se revisan para ver si cambian o no de estado.

Según la teoría de los autómatas celulares, una vez tenemos definidos los estados nos faltan por definir las reglas de transición de los cambios de estado, es decir, bajo que condiciones pueden cambiar de estado las células. Estas reglas de transición son muy sencillas:

- Si una célula PASILLO está rodeada de tres o cuatro células PARED pasa al estado PARED, esta condición es la más importante y la llamaremos la condición de vía muerta.
- Si una célula está en estado PARED siempre será estado PARED y nunca podrá cambiar al estado PASILLO.
- Si una célula PASILLO está rodeada por menos de tres células PARED sigue estando en estado PASILLO.

Estas reglas funcionan porque una célula PASILLO únicamente puede formar parte del camino de solución si tiene un punto de entrada y otro de salida, es decir, si está rodeada por menos de tres células PARED. Así, una célula PASILLO que se encuentre en la condición de vía muerta, rodeada por tres o incluso por cuatro células PASILLO, puede cambiarse sin problemas a una célula PARED ya que estamos seguros que no puede formar parte del camino que resuelve el laberinto.

Según continúa este proceso y siguiendo la dirección de las agujas de un reloj todas las vías muertas van progresivamente cerrándose, quedando sólo el camino libre de solución. Teniendo en cuenta el diseño de las reglas de cambio, cuando en un paso no cambie ninguna célula de estado hemos acabado y ya se ha resuelto el laberinto. Esto es así porque las células sólo pueden cambiar de PASILLO a PARED y las células PARED

no cambian. De esta forma, decimos que el autómata celular converge siempre a la solución, pero no puede divergir ni oscilar en un estado infinito.

El único problema que tiene este algoritmo es que no puede aplicarse desde el punto de vista del que se encuentra dentro del laberinto. No es, al igual que los otros ya comentados, un algoritmo de “rata en el laberinto”, sino que contempla el laberinto de forma más global.

Para los laberintos planteados en este trabajo, resulta complejo determinar que tipo de técnica de solución se está empleando, pues dependerá sobre todo de la estrategia a aplicar. Así la técnica que se utiliza es una combinación de la descomposición en pasos (de forma especial en los casos más analíticos, en los cuales el sujeto tiene muy pocos indicios de a que distancia de la meta se encuentra) o de reducción de distancias en los figurativos puros y quizás una mezcla de ambos en el figurativo analítico. Además hay que tener en cuenta que en todos los casos se aplica una solución memorizada (estrategia) que tiene algunos componentes algorítmicos en las estrategias analítica simplificada, analítica pura y figurativa-analítica, tanto en la fase de adquisición como de ejecución, aunque de manera especial durante la fase de adquisición.

Es necesario tener en cuenta que las técnicas de solución descritas en este apartado son básicamente algorítmicas, (ya que han estado definidas desde la Inteligencia Artificial), no representando de esta manera una relación exhaustiva de las posibles técnicas existentes.

Por último y para terminar con este apartado de laberintos, es necesario mencionar los laberintos de Porteurs. Además de los laberintos que se encuentran en el test que lleva su nombre, también se pueden encontrar otros laberintos que normalmente forman parte de algún test, si bien en ninguno de ellos el objetivo sea el estudio o análisis de los procesos cognitivos que emplean los seres humanos en la resolución de un laberinto. Además de que la resolución en este tipo de laberintos debe efectuarse

desde una perspectiva en 2 dimensiones, disponiendo así en todo momento de una completa información del mismo.

De este modo y como consecuencia del anterior punto se desprende que los laberintos se pueden resolver, exceptuando la situación in situ real, desde diferentes perspectivas; siendo las más comunes, la denominada 2 dimensiones y la perspectiva tridimensional, simulando esta última el efecto de solucionar un laberinto real, versión mucho más ecológica y interesante desde un punto de vista cognitivo que la anterior.

3.2.6.1. PROCESOS COGNITIVOS EN LA SOLUCIÓN DE UN LABERINTO

Para la representación o solución de laberintos desde una perspectiva tridimensional se requiere un esfuerzo cognitivo, mayor o menor dependiendo de la estrategia aplicada para la solución del mismo; presentando todas ellas como punto en común un mayor empleo de los recursos propiamente cognitivos (percepción, memoria, procesamiento, etc.), y un muy bajo esfuerzo motriz. Como se podrá observar de forma mucho más detallada en los siguientes capítulos de este trabajo, la acción motriz que se requiere para llevar a cabo la solución en este tipo de problemas es muy simple (apretar unas determinadas teclas del ordenador para avanzar o bien para cambiar de sentido).

Quizás ello se pueda entender mejor si lo comparamos con otro tipo de problema, en que requiera todo lo contrario, es decir, un mayor esfuerzo de tipo motriz y muy poca elaboración cognitiva. Tomemos el problema de una de las pruebas que se aplican cuando deseas obtener el permiso de conducir. En concreto, en este problema el objetivo consiste en asegurarse de que una bola siga por un camino repleto de dificultades sin caerse.

Para nuestros propósitos los principales dispositivos son: procesador = unidad procesadora que puede ejecutar un conjunto específico de operaciones, memoria, y

maneras de introducir y extraer información del sistema, mecanismos de entrada y salida (IO por Input-Output).

■ PROCESADOR

El procesador es la parte del sistema que lleva a cabo las operaciones del mismo. Puede ejecutar operaciones tales como comparar dos unidades de memoria para ver si difieren y en qué, o decidir cuál de entre varias operaciones debe ejecutar a continuación, o poner en movimiento búsquedas en la memoria o cadenas de razonamiento. En general, el procesador controla y ejecuta las acciones del sistema. El procesador realiza sus tareas siguiendo instrucciones que están almacenadas en los sistemas de la memoria.

Un programa es una sucesión de instrucciones que realiza cierta acción específica. Así siempre que el procesador está operando está siguiendo un programa de instrucción particular. Para ello el procesador puede necesitar información adicional, que puede obtener a través de búsquedas apropiadas en el sistema de la memoria, o bien buscando la información en el medio (a través de operaciones), (Beltrán, 1993).

■ MEMORIA

Considerando la memoria simplemente como lugar de almacenamiento de la información, esta información puede ser usada de dos maneras diferentes. Primero, se puede usar como datos, como hechos que utiliza el procesador según ejecuta sus operaciones. Segundo, la información se puede usar como programas, como sucesiones de instrucciones que hay que seguir. Estas instrucciones guían las acciones del procesador.

Una propiedad importante de los sistemas de procesamiento de la información es que los programas almacenados en la memoria se pueden tratar como datos, (no siendo tan claro en el caso de los humanos): los programas se pueden examinar, evaluar y modificar. Alternativamente, los programas se pueden ejecutar, es decir, se pueden

seguir como instrucciones que guían las operaciones del sistema. La misma información puede tener distintas interpretaciones en diferentes momentos. El procesador puede examinar la información de la memoria e interpretar la información como instrucciones a seguir.

■ MEMORIA Y PROCESAMIENTO

En general, siempre hay que llegar a un compromiso entre realizar una gran cantidad de procesamiento (y tener que almacenar poca información en la memoria) y hacer poco procesamiento, pero tener que almacenar en la memoria una gran cantidad de información. Ej. En el siguiente producto $8*5$ se puede llegar a su resultado final (40) de distintas maneras:

■ Con procesamiento aritmético: Se realiza la operación de sumar cinco veces ocho, o al revés sumar ocho veces cinco.

■ Con memoria: recurrir a la información almacenada en memoria para saber que $8*5=40$.

Así pues, según el tipo de problema, e incluso para un mismo problema, según la estrategia aplicada, los procesos cognitivos más implicados pueden ser diferentes.

De esta manera es justo señalar que a menudo no existe una única solución en la resolución de un mismo problema (LeFevre; Bisanz; Daley; Buffone; y Cols, 1996). Para ello existen múltiples combinaciones, que como mínimo dependen de:

- Los recursos disponibles del sujeto
- La funcionalidad de los mismos
- Los guiones o planes de acción

3.3. COMENTARIO FINAL

A modo de reflexión cabe comentar la similitud existente entre el modelo de Newell y Simon con los procedimientos o estrategias analíticas en operaciones bien definidas (contar caminos laterales, identificar puntos de giro, actualizar contadores) que resultan ser una simplificación del problema. Los sujetos son capaces de resolver el laberinto como consecuencia de aplicar este tipo de operaciones; en muy pocos momentos durante la ejecución del laberinto disponen de información que les indique en que punto del laberinto se encuentran o cuanto les queda por recorrer. En todo caso las referencias que puedan tener para ello serán indirectas, como en que punto de la secuencia analítica memorizada se hallan en aquel momento. En cambio los figurativos operan con la imagen global del laberinto en su memoria, tiene una idea mucho más avanzada de donde se encuentran y hacia donde se dirigen. La descomposición en subproblemas es menor, ya que los operadores intermedios son más ambiguos, pero efectúan una verdadera aproximación al final. Así el disponer de una imagen mental bien definida los hace compatibles con los modelos de Kosslyn y Johnson-Laird, en la medida en que adoptan una vía de solución más holística.

Finalmente cabe tener en cuenta que el método de Newell y Simon normalmente va dirigido a algoritmos generales (la estructura en subproblemas) con más o menos heurísticos específicos (la forma de solucionar los subproblemas). En este trabajo, los métodos analíticos son casi algorítmicos.

Asimismo quisiera apuntar como en determinadas ocasiones puede ocurrir que un problema, (en este caso un laberinto) contenga una dificultad muy baja, pero la persona que lo debe solucionar no se lo represente de la manera más indicada; o bien que el mismo problema, (el laberinto) en un principio pueda parecer muy complejo, pero la estrategia elegida simplifique considerablemente la solución del mismo. Con ello quiero decir, que en la mayoría de las veces la solución de un problema no viene determinada por la complejidad del problema a resolver, sino por saber emplear la estrategia más adecuada para ello, (aquella estrategia que requiera emplear un menor

consumo cognitivo, un menor número de recursos cognitivos, el consumo de la mayor parte de los recursos en aquellos aspectos relevantes o significantes, etc.). Aunque también es justo apuntar y reconocer que ello muchas veces no depende tanto del propio sujeto sino del propio plan de acción que viene marcado y determinado.

Teniendo en cuenta, como ya ha sido previamente indicado que uno de los grandes objetivos que se propone este trabajo consiste en saber, conocer como emplean los recursos los seres humanos a la hora de resolver laberintos como los propuestos en esta tesis, como el empleo de una u otra estrategia puede simplificar considerablemente un mismo problema, como las personas ante un mismo problema somos capaces de representarnos la información de manera distinta; y es por todo ello que necesitamos profundizar mucho más de lo realizado en este capítulo, en aquellos aspectos cognitivos que están interviniendo de forma directa en la resolución de laberintos como los planteados en este trabajo. Así es como y cuando adquiere pleno sentido y significado el próximo capítulo, concerniente a cuestiones tales, como que tipo de atención emplean los humanos en la solución de laberintos; porque somos capaces de percibir determinados patrones perceptivos; como somos capaces de almacenar determinada información para que esta pueda ser tratada o recuperada; o de que manera podemos representarnos la información, para que posteriormente ésta pueda ser procesada y manipulada.