

## **La mente computacional. Orígenes y fundamentos de la Ciencia Cognitiva.**

Rosa Icela Ojeda Martínez<sup>1</sup> y Merit Nefernefer Becerril Tello<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estancia Postdoctoral, Posgrado en Ciencias Cognitivas, Facultad de Humanidades, Universidad Autónoma de Morelos. Dirección: Av. Universidad # 1001 Col. Chamilpa, C.P. 62210, Cuernavaca, Morelos, México. E-mail: monkeyproject@hotmail.com.

<sup>2</sup> Estudiante del Posgrado en Antropología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. E-mail: meritbt@hotmail.com.

**Resumen:** En el siguiente trabajo se analizan los principales factores epistemológicos e históricos que dieron lugar al surgimiento de la Ciencia Cognitiva. Se explican los fundamentos del paradigma de procesamiento de información y se analizan las bases matemáticas de la inteligencia artificial. Al mismo tiempo se exponen las relaciones conceptuales que surgieron entre la psicología cognitiva, las ciencias computacionales y la lógica matemática al dar paso a la conformación de la Ciencia Cognitiva como un campo de estudio interdisciplinario.

**Palabras clave:** Ciencia Cognitiva, psicología cognitiva, paradigma del procesamiento de información, Inteligencia artificial, PDP.

**Abstract:** This paper examines the main epistemological and historic factors that gave birth to Cognitive Science. The paper explains the foundations of the paradigm of information processing and it also examines the mathematical basis of artificial intelligence. This paper also shows the conceptual relations that emerged between cognitive psychology, computer sciences and mathematical logic that consolidated Cognitive Science as an interdisciplinary field of studies.

**Keywords:** Cognitive Science, Cognitive Psychology, Paradigm of Information Processing, Artificial Intelligence, PDP.

## **Definiendo la Ciencia Cognitiva**

Definir a la Ciencia Cognitiva representa ya un problema de base, pues no existe una definición unívoca al respecto; en las universidades raramente encontraremos una licenciatura con esa designación. Pues generalmente cuando hablamos de Ciencia Cognitiva, nos referimos a un grupo de disciplinas que trabajan juntas para tratar de entender cómo opera la mente humana.

Es posible que, a pesar del notable interés que este campo ha suscitado recientemente, así como la apariencia de gran cohesión, puede suceder que la ciencia cognitiva no posee un fundamento único, sino que se trate más bien de un título que sirve para amparar bajo él mismo a unas cuantas ciencias distintas, todas las cuales intentan comprender el funcionamiento de la mente (Fodor y Pylyshyn, 1988: 9).

Dukas (1999) define la ciencia cognitiva como un nuevo campo formado por la interacción entre programadores, psicólogos y neurobiólogos, el cual combina la investigación del procesamiento de información en animales, humanos y máquinas. Entre algunas de las principales disciplinas que se consideran parte de las ciencias cognitivas se encuentran, la psicología, la inteligencia artificial, las ciencias computacionales, la etología y las neurociencias. Gardner (1987) incluye también la antropología y la lingüística.

Una característica que comparten todas las disciplinas y enfoques que forman parte de la Ciencia Cognitiva es el llamado “paradigma informacional” o “paradigma del procesamiento de información”, el cual generalmente es explicado como el marco conceptual que describe la mente como un sistema procesador de símbolos. Este paradigma tiene su origen en la revolución científica y tecnológica protagonizada por la psicología y la inteligencia artificial (IA) a mediados del siglo pasado; este cambio implicó la caída del conductismo como sistema dominante en las ciencias del comportamiento, la revaloración de los mecanismos subjetivos implicados en el comportamiento y el estudio científico de la mente a través del análisis de los procesos cognitivos.

La mente desde la ciencia cognitiva es vista como un sistema formado por subsistemas, un todo funcional que sólo puede tener sentido a partir de la constitución de sus partes:

De acuerdo con el “paradigma informacional de la mente” propio de las ciencias llamadas “cognitivas”, la mente es un: sistema limitado de capacidades intelectuales, afectivas y volitivas de los organismos que los facultan para captar, evaluar, transformar, almacenar, recuperar, recrear y emitir información. [...] la información propia de las actividades mentales es de tipo representacional; es decir que tiene contenidos, es acerca de algo, tiene “intencionalidad”. En el paradigma informacional se dice que la mente es un sistema de procesamiento de símbolos. Un símbolo sería una pauta (estructura, esquema o configuración) que designa una estructura fuera de sí misma. [...] la información mental pue-

de ser procesada de manera automática implícita e inconsciente o deliberada, explícita y consciente<sup>1</sup>.

Para la Ciencia Cognitiva el sistema cognitivo es un sistema de comunicación entre un medio interno y otro externo, la cognición bajo el esquema del paradigma del procesamiento de información es esencialmente un diálogo o un intercambio, donde la unidad básica son los símbolos y los seres humanos son concebidos como sistemas decodificadores de símbolos.

### **El primer fundamento de la Ciencia Cognitiva: La teoría matemática de la comunicación**

La teoría matemática de la comunicación fue desarrollada por Claude Shannon en 1948 en Estados Unidos de Norte América. Esta teoría es considerada una de las influencias más notables sobre a la ciencia cognitiva, debido a que la IA y la psicología cognitiva retomaron algunos conceptos claves de ésta para explicar los procesos simbólicos de los seres humanos y las computadoras.

La teoría de la comunicación desempeña un papel importante en el surgimiento del paradigma cognitivo [...] La teoría de Shannon proporciona a los primeros psicólogos cognitivos (Miller, 1956; Broadbent, 1958) Su primera metáfora: la mente como canal de información. A pesar de que pronto se abandonó esta metáfora, permanecen sus aportaciones, relativas a las limitaciones de las capacidades humanas (límites atencionales, limitación de la memoria inmediata, Etc.) (Valiña y Martín, 1997: 32).

Esta teoría de la comunicación, muchas veces citada como teoría matemática de la información, fue generada dentro del ámbito de la ingeniería de las comunicaciones, por lo tanto es importante recordar que no considera elementos de la comunicación como el significado o la intencionalidad.

Comunicación en este contexto tiene que ver más con el intercambio de energía entre dos estados energéticos e información: es la medida de la probabilidad de tal intercambio. Aunque las ciencias sociales y de la comunicación humana retomarán y simplificarán este modelo en el sentido de que la comunicación es el intercambio de mensajes entre emisores y receptores, la teoría no fue pensada con este fin (Montes, 1976).

La teoría matemática de la comunicación tiene sus orígenes en el cálculo de probabilidades, estadística, teoría de juegos y en los principios de la optimalidad. No existe una preocupación sobre el contenido del mensaje ni de ningún mensaje concreto, sino más bien sobre el carácter estadístico de un conjunto

---

<sup>1</sup> Díaz, José Luís: La mente y sus atributos. Material didáctico para el curso postcongreso "Neurociencia Cognitiva" del XLI Congreso Nacional de la Sociedad de Ciencias Fisiológicas, celebrado en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí del 25 al 26 de septiembre de 1998.

de ellos. Bajo estas premisas, un sistema de comunicación debe ser capaz de transmitir todos los mensajes posibles basándose en el carácter estadístico de emisión de mensajes de la fuente.

Según Abramson (1986) una idea esencial para esta teoría es el concepto de entropía, el cual Shannon (1948) obtiene de la mecánica estadística y de la segunda ley de la termodinámica. Entropía en este contexto significa el grado de aleatoriedad o “desorden” que se expresa en términos de las distintas probabilidades que pueden presentarse en una situación comunicativa; bajo todos estos supuestos Shannon (1948) equipara información con entropía. La información implica un grado de libertad de elección, el cual se tiene a la hora de emitir un mensaje. Así, un sistema de comunicación funciona como un sistema termodinámico: una situación no presenta demasiada entropía cuando la cantidad de información es pequeña, por eso se dice que para la teoría matemática de la comunicación, el significado de un mensaje específico no tiene importancia. Lo que es realmente valioso para la teoría es la naturaleza estadística general de la fuente de información. Como podemos observar, ésta es, en el último de los casos, una teoría matemática de la elección y de la decisión.

Como se recordará, medimos el contenido informativo de un mensaje dentro de cualquier conjunto de mensajes por el algoritmo de su probabilidad de aparición. Esta forma de definir la información tiene su precedente en la mecánica estadística, donde la medida de la entropía es de forma idéntica a la de la información. No es ninguna casualidad, por lo tanto, que exista entre ellas dos una relación bastante estrecha. Para empezar, ambas, la teoría de la información y la mecánica estadística, son estadísticas (Abramson, 1986: 86).

Todo sistema de comunicación según Shannon y Weaver debe contener los siguientes componentes: fuente de información, mensaje, transmisor, señal, receptor, mensaje y destino. El canal trasmite la información que la fuente emite y todo canal posee una capacidad determinada para transferir información. El transmisor usa un código para cifrar el mensaje que es enviado a lo largo del canal en calidad de señal, por lo tanto la función del emisor consiste en codificar el mensaje y la del receptor en decodificarlo.

Tomando en cuenta que pueda haber emisores y receptores que posean una memoria, de tal modo que la forma de codificar un cierto símbolo del mensaje no dependa sólo de éste símbolo sino también de los símbolos anteriores y de cómo han sido codificados, al mismo tiempo esto último representa ruido que afecta a la información, pues cuanto mayor sea la cantidad de información y la libertad de elección, mayor será la incertidumbre. Para poder obtener de la señal recibida la información útil, se necesita eliminar la “ambigüedad” o equivocación producida por el ruido. Si la capacidad de un canal con ruido es igual o mayor que la entropía equivale a un grado de equivocación o ambigüedad pequeño, pero si la capacidad del canal es menor que la entropía, enton-

ces la ambigüedad es alta. Para contrarrestar este efecto Shannon propuso el concepto matemático de redundancia, el cual en términos matemáticos significa restar 1 a la entropía relativa.

### **Continúan las matemáticas: el código binario**

La teoría de Shannon parte de la idea de que la mayoría de las elecciones son una función logarítmica natural, lo cual significa que si el número de mensajes en un conjunto es finito o representa alguna función monótonica de ese número, puede ser considerada una medida de la información; de esta manera cuando un mensaje sea elegido de un conjunto, todas las elecciones serán equivalentes. La elección de una base logarítmica corresponde a la elección de una unidad por medida de información. Si la base 2 es usada, las unidades resultantes pueden ser llamadas dígitos binarios o *bits*. Un dispositivo con dos opciones estables, tal como un circuito abierto-cerrado puede almacenar un bit de información.  $N$  aparatos pueden almacenar  $N$  *bits*, donde el número total de estados posibles es  $2^N$  y el logaritmo  $2^N = N$ . Si la base 10 es usada las unidades deben ser llamadas dígitos decimales, un dígito decimal es alrededor de  $3 \frac{1}{2}$  bits (Abramson, 1986).

Bajo estos preceptos el código binario se convirtió en el director de la circulación de los datos en el interior de un centro automatizado de información, pues cualquier lenguaje puede reducirse a un código binario, en el cual se basan la mayoría de los procesos de telecomunicación, el telégrafo, el teléfono, la radio, la televisión y las computadoras. Los bits se pueden transmitir a través de señales eléctricas, electromagnéticas y ópticas que se envían por conjuntos o paquetes de señales, finalmente el sistema de recepción vuelve a decodificar la señal en bits para obtener las instrucciones originales. La entrada (*input*) del transductor y su salida (*output*) son una secuencia de símbolos, como el transductor puede tener una memoria interna sus datos de salida no dependen sólo de los símbolos de entrada, sino también de la historia pasada.

De esta manera, la teoría matemática de la comunicación repercutió sobre la IA en dos aspectos: uno técnico o de ingeniería y otro que tiene más que ver con el aspecto teórico y con el esquema de información como modelo para la explicación de la inteligencia. En el aspecto técnico las investigaciones de Shannon permitieron el diseño de circuitos más apropiados para las computadoras y aparatos procesadores de datos basados en la codificación binaria y su correspondencia con formas de energía física, tales como las ondas electromagnéticas, lo cual permitió el paso de las computadoras analógicas a las computadoras digitales.

Por otro lado, la IA retoma el “paradigma de procesamiento de información” para enarbolar la idea de que un sistema inteligente es básicamente un procesador de información o símbolos.

Shannon y Weaver influyeron sustancialmente en el desarrollo de la IA, pero es difícil delimitar hasta qué grado la influencia fue sólo en esa dirección, pues Shannon era alumno de Norbert Wiener y contemporáneo de John von Neumann y Alan Turing, personajes importantes en la primera fase constitutiva de la IA.

El paradigma del procesamiento de información también incidió sobre la psicología cognitiva, pues ésta retomó el esquema de comunicación Shannon-Weaver como modelo para explicar los procesos cognitivos en el ser humano, así como los conceptos de memoria interna, codificación y decodificación simbólica.

La teoría matemática de la comunicación es el principal fundamento en el que está basada toda la Ciencia Cognitiva: la visión de la mente como un sistema procesador de información. El esquema de comunicación de Shannon y Weaver, fue retomado como modelo funcional de los procesos cognitivos, es decir un procedimiento lineal regulado por la memoria.

### **La Cibernética**

Desde principios de los años treinta, Wiener y Arturo Rosenblueth se habían dedicado a la investigación de los mecanismos de retroalimentación mecánicos y biológicos. Juntos fundaron la cibernética: “ciencia del control y la comunicación en las máquinas y en los seres vivos” (Wiener, 1981).

Wiener y Shannon trabajaron por separado distintos aspectos de la comunicación y la información con la cibernética. Wiener intentaba crear un vocabulario común para todos los que ya comenzaban a creer en la futura IA. Se tenía como propósito desarrollar una lengua y unas técnicas que permitieran establecer un repertorio adecuado de ideas y métodos sobre la comunicación y su regulación, ya fuera de ser humano a ser humano, de ser humano a máquina o de máquina a máquina.

Wiener se centró en la búsqueda de los procesos por medio de los cuales las máquinas tuvieran la capacidad de retroalimentarse los datos acumulados, por medio de una especie de “órganos sensoriales”, es decir, mecanismos de recepción de mensajes que provinieran del exterior. Wiener comparó los mecanismos de los seres vivos con los mecanismos de las máquinas y creía que se asemejaban en que ambos trataban de regular la entropía (desorden) mediante la retroalimentación, es decir mediante la capacidad de ajustar la conducta futura a hechos pasados.

Estas ideas representaron una contraposición para el conductismo que ya reinaba en la psicología norteamericana de esa época, pues las ideas de Wiener hacían tambalear la teoría conductista basada en la relación estímulo-respuesta. Wiener proponía algo muy distinto que finalmente también contri-

buiría a la crisis del conductismo, la idea de que el comportamiento se basa en procesos de retroalimentación, planificación, intención y analogía, presentes no sólo en los seres vivos sino también en las máquinas. Con la cibernética se comenzó a consensuar un vocabulario técnico, por ejemplo, se empezó a hablar de datos de entrada y datos de salida, mismos que se fueron usando cada vez más en los textos de cómputo. Además el concepto de retroalimentación de Wiener estaría después bastante ligado al de memoria y aprendizaje en psicología cognitiva y al de memoria interna en I.A.

Sí bien Wiener diseñó servomecanismos que tenían la capacidad de autorregularse, fueron los avances de John von Neuman y Oskar Morgenstern (1947), los que permitieron la construcción de las primeras computadoras digitales, desarrollando la idea de un programa almacenado para la máquina de Turing. Esto dio la posibilidad de construir una máquina de Turing con un programa o conjunto de instrucciones alojado en una memoria interna, lo cual permitió que ya no fuera necesario reprogramar la máquina en cada nueva tarea. Von Neumann demostró que la lógica binaria y la aritmética podrían unirse en la creación de programas computacionales. Además de tener la genial idea de decodificar las instrucciones dadas a la máquina en el mismo código utilizado para los datos, mezclar las instrucciones y los datos en el mismo programa y almacenarlos en la memoria (Gardner, 1996). Esto se conoce como arquitectura von Neuman, en la cual están inspiradas todas las computadoras convencionales o digitales como la que usamos para escribir este trabajo.

## **La inteligencia artificial**

El matemático estadounidense John McCarthy fue el primero en utilizar el término inteligencia artificial (IA) para referirse a la disciplina encargada de estudiar la inteligencia en las máquinas. McCarthy fundó y dirigió el primer laboratorio de inteligencia artificial en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Por ello, es considerado como uno de los fundadores de la IA en la década de 1950 junto con Allen Newell, Herbert Simon y Marvin Minsky, todos ellos especialistas en matemática, lógica y neurociencias (Gardner, 1996).

La inteligencia artificial, como su nombre lo indica, es aquel campo de conocimiento dedicado a reproducir características de la inteligencia humana en las computadoras. Para ésta, la inteligencia es sinónimo de capacidades cognitivas involucradas en la solución de problemas. La IA defiende la idea de que las computadoras y la mente humana, antes que todo y en esencia, son sistemas de procesamiento de información o sistemas procesadores de símbolos. Por lo tanto, la capacidad de razonamiento se convierte en sinónimo de un proceso computacional lógico llevado a cabo paso por paso y secuencialmente, donde las leyes de la causalidad lineal gobiernan implacablemente. Así, la razón es sobre todo capacidad de cómputo, cálculo, uso de reglas o algoritmos, deducción e inferencia.

Protrepis, Año 3, Número 6 (mayo - octubre 2014). [www.protrepis.cucsh.udg.mx](http://www.protrepis.cucsh.udg.mx)

Según los cánones de la IA todo procesamiento de símbolos implica un sistema simbólico, soporte lógico o software y un soporte físico o hardware, así como unos datos de entrada, otros de salida y una memoria.

La creación de la primera máquina inteligente en la historia de la IA suele atribuirse a Alan Turing; ésta era muy diferente de las computadoras digitales contemporáneas, la máquina de Turing existió sólo en la teoría y sirvió de base para la construcción de las primeras computadoras. Así, en 1936 Turing propuso la idea de estructurar una máquina teórica que fuera capaz de resolver cualquier problema que pudiera ser descrito en una serie finita de pasos, en otras palabras, resolver cualquier problema que pudiera describirse en un algoritmo, esto implica que todo problema que puede ser ordenado en una secuencia de instrucciones puede ser resuelto (Gardner, 1996).

La computadora teórica u “ordenador de datos” de Turing se compone forzosamente de unos datos de entrada, de unas reglas de paso bien definidas y de un resultado o datos de salida. La máquina de Turing es muy importante para la historia de la IA pues hizo posible la definición lógica del proceso “paso por paso” como principio básico de cualquier clase de plan o programa que se expresara en un código binario. La idea del método “paso por paso” o algoritmo constituyó la base de la teoría de la computabilidad.

Casi al mismo tiempo que Turing, como ya hemos visto, Claude Shannon creó la teoría matemática de la comunicación, la cual contribuyó también de forma bastante importante en la materialización de máquinas computadoras. Por otro lado, el aporte de Shannon a la IA fue doble: primero, en el aspecto técnico, demostrando que los circuitos electrónicos pueden traducirse a operaciones lógicas, específicamente a la lógica booleana, es decir a un código de tipo binario, que puede representarse en circuitos electrónicos. Esto último representó un avance sin precedentes en la ingeniería electrónica. En segundo lugar, repercutió fuertemente en el estudio de los fenómenos de la comunicación, como vimos en un principio, muy ligado a las matemáticas, la estadística, el cálculo de probabilidades y a la física. En esta visión, la información debe servir idealmente para reducir el grado de incertidumbre, pues los datos entran masivamente a los sistemas inteligentes (sea humanos o computadoras) los cuales deben elegir entre todos los correctos para poder solucionar un problema. Bajo esta filosofía, la mayoría del tiempo estamos eligiendo. Debido a que al reducir las opciones se reduce la incertidumbre, Shannon conceptualizó la información dentro de un sistema de codificación binario, para disminuir las posibilidades de elección independientemente del contenido y el contexto. Aplicó las operaciones lógicas del cálculo proposicional a los circuitos electrónicos lo que se conoce como relé de conmutación. De esta manera se pensó que los circuitos electrónicos podrían transportar operaciones básicas del pensamiento, retomando la antigua idea de “las leyes del pensamiento” de George Boole (1854) donde se compara el pensamiento

con el cálculo. Ésta es la idea principal en la que se fundamentan la IA y una gran parte de la ciencia cognitiva.

Dentro de la IA han existido diferentes corrientes y versiones, una de ellas es la llamada versión fuerte. Ésta defiende que la computadora es en sí la simulación de una mente humana, al ambas funcionar exactamente igual, e incluso puede comprender y experimentar estados cognitivos ajenos. De esta manera el software es un modelo que sirve para explicar cómo funciona la mente. Para la versión fuerte, la mente y las computadoras son y funcionan exactamente igual, en este sentido las computadoras son una versión artificial de la mente humana. Por otro lado la versión suave de la IA considera que las computadoras son sólo una herramienta que ayuda a entender los procesos mentales humanos. Esta parte de la IA centra más su interés en obtener resultados inteligentes en las computadoras, no en tratar de simular exactamente los procesos cognitivos humanos, sino únicamente lograr resultados inteligentes y poner a prueba el funcionamiento de las máquinas (Gardner, 1996).

Otras líneas de pensamiento opuestas dentro de la IA que tienen que ver más con los problemas prácticos de instrumentación y programación, son las llamadas corrientes de los generalistas y los expertos. Los generalistas por su lado, apuestan más a la elaboración de programas comunes o globales que permiten resolver una amplia gama de problemas por medio de principios generales aplicados en distintos contextos. Dichos programas no están destinados a resolver problemas de un ámbito específico, más bien tienen que ver con la resolución de tareas y problemas generales. Los expertos por el contrario, como su nombre lo dice, están enfocados en la fabricación de programas basados en el conocimiento de expertos en un tema específico, por lo que tienen un uso más restringido y proveen una solución más detallada y exacta (Gardner, 1996).

Otra división dentro de la IA aún más radical, es la que tiene que ver con los grados de similitud que pueden encontrarse entre una computadora y la mente humana. Así, por un lado están aquellos investigadores que no consideran una similitud anatómica entre el soporte mecánico (*hardware*) de las computadoras y el sistema nervioso humano, ellos abogaban más bien por una similitud a nivel funcional. Esta corriente encabezada en un principio por Newell y Simon (1981) buscaba crear una teoría sobre cómo resolvemos los problemas los seres humanos, sin tomar en cuenta los procesos neurobiológicos que ocurren en el cerebro o los procesos electrónicos que ocurren en las computadoras; para ellos la similitud a nivel de estructura anatómica era irrelevante y debería de incumbir a otro tipo de investigaciones. Pero convencidos de lo contrario existe otra versión, que fue encabezada en sus inicios por Warren McCulloch y Walter Pitts, quienes pensaban que la base para crear una teoría de la mente humana estaba en el discernimiento de la estructura neuronal del cerebro, lo cual ofrecía un modelo perfecto para crear

Protrepis, Año 3, Número 6 (mayo - octubre 2014). [www.protrepis.cucsh.udg.mx](http://www.protrepis.cucsh.udg.mx)

computadoras más potentes con un procesamiento de información lo más parecido al humano (Gardner, 1996). Esta corriente ha tenido mucho éxito y es uno de los enfoques más fuertes en la IA además McCulloch y Pitts fueron los primeros en proponer a la neurona como modelo para la creación de las redes neuronales artificiales, la computación neural y la teoría conexionista (Gardner, 1996).

### **El poder de la lógica**

Se puede decir con seguridad que la madre de la IA y de la ciencia cognitiva es fundamentalmente la lógica simbólica, sin ésta no existiría la otra. Aunque los teóricos de la IA se remontan a finales del siglo XIX con los trabajos del filósofo alemán Gottlob Frege, ya desde Aristóteles la lógica era considerada la ciencia de las ideas. Para él, las ideas son producto de la mente humana y guardan una correspondencia con la realidad. Aristóteles elaboró el primer sistema de lógica de términos, que también consideraba el análisis de los principios según los cuales se encuentra ordenada la realidad. Esta lógica se basaba en el razonamiento silogístico, o sea en el razonamiento deductivo, expresado en la fórmula de tres proposiciones donde la tercera proposición o conclusión se deduce de las dos primeras. La lógica aristotélica era un instrumento para pensar y razonar como, según el filósofo griego, era la forma correcta de hacerlo. Ésta prevaleció sin cambios durante mucho tiempo hasta Frege, quien propuso una nueva lógica moderna que terminaría influyendo en la consolidación de la IA y en la Ciencia Cognitiva en general.

Influenciado por Leibniz y Boole, acerca de que todas las ideas de la razón pueden ser reducidas a un tipo de cálculo, Frege dedicó gran parte de su vida a crear lo que hoy se conoce como lógica simbólica. Para crear esta nueva lógica, Frege tuvo que elaborar previamente un nuevo sistema de símbolos, a los cuales llamo ideografía. La elaboración de ésta implicó un trasfondo filosófico: la visión del lenguaje como poseedor de una estructura formal con características comunes y universales a todas las lenguas. Por otro lado, también influyó en la consolidación de la idea de las primeras computadoras, pues su trabajo permitió resolver la dificultad de representar lenguajes naturales por medio de un lenguaje lógico. Los lenguajes lógicos depuraron las cargas de sentido de los lenguajes naturales, tratando de hacer un lenguaje exacto que no variara con el contexto. Aunque el programa logicista de Frege, cuyo fin último era reducir toda la aritmética a la lógica, presentaba una inconsistencia teórica advertida por Bertrand Russell y Alfred North Whitehead (quienes después publicarían el *Principia mathematica*), la IA tomaría los aciertos de todos ellos para continuar con el diseño de las primeras computadoras.

Con la invención de las primeras computadoras se logró la demostración automática de algunos teoremas, lo cual dio a la IA poco a poco un *status* como desarrollo tecnológico avanzado y a la vez cumplía el sueño de crear máquinas

pensantes, al menos en el sentido de pensamiento como manipulación de símbolos.

Pese al desarrollo tecnológico alcanzado, la IA no continuó uno teórico sobre el significado de la cognición, contentándose en la fabricación de programas y computadoras eficientes. No agotó la discusión que venía dándose desde Platón y Aristóteles sobre la relación entre el pensamiento, el lenguaje y la realidad. Salvo algunos autores, la IA se ha ocupado más de la tecnología e ingeniería de computadoras que en los aspectos teóricos de la cognición.

### **La Psicología Cognitiva**

La psicología cognitiva es la parte de la psicología que estudia los fenómenos mentales, también es conocida como psicología del pensamiento. En general, los psicólogos cognitivistas se caracterizan por llevar a cabo estudios relativos a la memoria, el aprendizaje, la atención, el lenguaje, la representación, los mapas mentales, la inteligencia y el pensamiento entre otros aspectos. Para la psicología cognitiva la realidad es producida por el ser humano que la experimenta. El medio ambiente sólo proporciona la información y el ser humano la procesa.

El procesamiento de la información comienza con la entrada de la información por medio de los órganos de los sentidos, la información se interpreta, se procesa y se almacena. La cognición es la serie de procesos mediante los cuales el ingreso sensorial es transformado, almacenado, recobrado o utilizado, aun cuando no haya estímulo. La psicología cognitiva parte de las premisas de que todo fenómeno mental es un procesamiento de información y que el cerebro humano puede ser comparado con una computadora. La primera idea es retomada de la teoría matemática de la comunicación y la segunda de la IA. La idea más importante de la psicología cognitiva es que los fenómenos mentales son el producto de un proceso computacional, es decir representacional.

El desarrollo de la máquina de Turing por John von Neumann, la teoría de la información de Shannon y el desarrollo de Wiener de un sistema cibernético constituyeron los cimientos de lo que hoy conocemos como psicología cognitiva. Desde la perspectiva cognitiva del procesamiento de la información, la mente se va a entender como análoga a un sistema activo que procesa información (González et al. 1998: 27).

Los psicólogos cognitivistas convierten a la computadora en un modelo explicativo de la cognición y así, aunque usan la metáfora del ordenador, esto no implica que tenga que suponerse una correspondencia total entre la computadora y el sistema nervioso. Más bien podemos decir que hacen una metáfora de la lógica o el programa del ordenador. Lo que importa son los procesos o los pasos que se llevan a cabo en la mente humana, no los circuitos o las neuronas necesarios para llevarlos a cabo. Para la psicología cognitiva es po-

sible estudiar el funcionamiento de la mente sin necesidad de atender el nivel neurofisiológico, pues para ésta mente y cerebro son independientes. Este tipo de psicología considera que los seres humanos somos característicamente procesadores de información; los estímulos ambientales proporcionan la información que entra en el sistema para que éste lo procese resultando en el comportamiento observable.

La psicología cognitiva heredó el método objetivo y estadístico del conductismo así como la tradición experimental de la psicología comparada y animal buscando siempre un rigor científico sustentado en la estadística. Algunos teóricos consideran que dentro del desarrollo de las teorías psicológicas, la psicología cognitiva representa la evolución natural de la psicología conductista hacia un conductismo mentalista, donde a diferencia de este último los procesos mentales sí adquieren el control del comportamiento.

Tolman fue un psicólogo conductista que adelantó algunos conceptos relacionados a la psicología cognitiva, sus teorías se conocen como conductismo propositivo o intencional, contrario al conductismo de Watson (1972) y Skinner (1975). En el pensamiento de Tolman el animal construye un mapa mental por medio del aprendizaje que guía su conducta; la conducta ya no es sólo una respuesta sino que es intencional y persigue metas. Argumentos como éstos fueron llevando al paulatino surgimiento de un nuevo enfoque psicológico del comportamiento.

Uno de los principales problemas que la psicología cognitiva intenta resolver, es el de las representaciones mentales, éste rebasa el propio ámbito de la psicología por su relación con la filosofía del lenguaje y la epistemología. La explicación de la psicología cognitiva, aunque no resuelve el problema de las representaciones, intenta dar una explicación funcional del papel de éstas dentro de los procesos cognitivos y el comportamiento. Así, para el psicólogo cognitivo, el concepto de representación se relaciona con la idea de una sustitución mental del mundo real posibilitada por los símbolos, que a su vez llevan a estados mentales que sirven para interpretar el mundo.

Junto con la representación existe otro concepto igual de controvertido: el de cómputo. Éste, como ya hemos mencionado, siempre va a implicar procesamiento de símbolos. Para la psicología cognitiva el pensamiento también es cómputo, manipulación de reglas, representación, sustitución y simbolización. Otro concepto interesante en la psicología cognitiva es el de inteligencia y está relacionado con la solución de problemas. De esta manera, la psicología cognitiva, en lugar de humanizar la mente, reafirmó las ideas de la inteligencia artificial, sólo que esta en esta ocasión en vez de aplicarse a computadoras se aplicaba a seres humanos; además, se centró en las habilidades cognitivas necesarias para ejecutar estrategias, crear planes y resolver problemas. La tecnología de computadoras y la IA ofrecieron a la psicología cognitiva un

lenguaje computacional y la metáfora del ordenador como explicación de los procesos cognitivos humanos. Finalmente, es importante señalar que durante la década de los cincuenta y sesenta las investigaciones psicológicas retomaron la mente como objeto de estudio.

### **Conexionismo y PDP. Un falso adiós a los símbolos**

El conexionismo parte de una crítica a la simulación computacional standard del pensamiento, es decir una crítica a la IA clásica, la cual se basa en el procesamiento simbólico serial. En la posición clásica se postulan estructuras simbólicas sobre las cuales las operaciones se cumplen en un orden determinado como consecuencia de una decisión; en el enfoque conexionista, en cambio, es posible prescindir por completo de cualquier noción de procesamiento simbólico y en su lugar se establece un modelo más directo de la percepción que se basa en un modelo formal de redes de neuronas artificiales (Gardner, 1996). Los sistemas computacionales conexionistas o de procesamiento paralelo son una nueva alternativa de procesamiento de información que intenta con éxito abandonar la resolución de un problema computable en una sola dirección y secuencia.

La computación paralela y las redes neuronales son dos nuevos paradigmas que han despertado, en los últimos años, un gran interés en los campos de la computación y la inteligencia artificial. El elemento clave de estos paradigmas es una nueva estructura computacional compuesta de un gran número de pequeños procesadores interconectados (neuronas) trabajando en paralelo. Esta nueva estructura paralela permite realizar muchas operaciones simultáneas, en contraposición al proceso en serie tradicional en el que los cálculos han de ser realizados en un orden secuencial (Castillo, 1999: 5).

La teoría conexionista es una teoría inspirada en el funcionamiento del cerebro y su interconectividad nerviosa que crea un modelo neurobiológico artificial de los procesos cognitivos. Surge como tal a principios de la década de los ochentas en Estados Unidos de Norte América con un grupo de investigación llamado PDP (Procesamiento Distribuido en Paralelo) dirigido por David Rumelhart y James McClelland, ambos psicólogos (Olmeda et al 1993).

Proponiendo que la IA debía simular los procesos cognitivos humanos no sólo en el plano software o de soporte lógico, sino que deberían emularse en lo posible también en el plano hardware o fisiológico, esta corriente cree que la clave de la simulación más real es aquella que sea la más parecida al cerebro. Los modelos conexionistas del pensamiento o Redes Neuronales Artificiales, surgen como alternativa dentro de la IA ante la evidencia del fracaso de ésta al tratar de resolver ciertas tareas que no pueden ser resueltas con un esquema de inteligencia artificial clásica, es decir, basado en la lógica binaria y la arquitectura computacional tipo Von Neuman.

En las tareas del mundo real, donde el número de datos es gigantesco e impreciso, un simple procesamiento basado en la solución de un algoritmo no funcionaría. Por ello éstas requieren máquinas con una capacidad de cómputo mayor. Los conexionistas advirtieron por medio de los conocimientos en neurobiología que el cerebro humano y en general los sistemas nerviosos animales poseen una gran interconectividad y que la arquitectura de red neuronal biológica podría ser la causa de que el sistema nervioso animal sea tan eficiente. Tratando de emular estas características se comenzó a experimentar con modelos matemáticos de cómputo que imitaran el procesamiento de información “distribuido en paralelo”, que suponen las redes neuronales biológicas; concibiendo la idea de que cada neurona es en sí una unidad de procesamiento de información. Los sistemas nerviosos estarían conformados por millones de procesadores funcionando al mismo tiempo, lo cual le daría una alta capacidad y rapidez de cómputo.

De esta manera, la teoría conexionista propone una nueva estructura computacional, inspirada en el cerebro humano, es decir, compuesta del mayor número posible de micro unidades procesadoras de interconexión o neuronas artificiales trabajando en paralelo. En otras palabras, se puede decir que las redes neuronales artificiales, no son más que modelos matemáticos o formales de la actividad nerviosa, fórmulas matemáticas para realizar operaciones y resolver tareas computacionales. En este sentido los científicos conexionistas utilizan algunos tipos de ecuaciones diferenciales que permiten resultados más afinados que los que se logran por medio de los algoritmos de la computación clásica.

Para el enfoque conexionista, funcionalmente las neuronas biológicas son procesadores de información porque comprenden un mecanismo de entrada de información, las dendritas, un procesador, el soma, y un canal de salida, el axón (Del Rio y Sanz, 2001). Bajo este esquema la función básica de toda neurona es la de sumar sus entradas y producir una salida siempre que la suma sea mayor que el umbral determinado (Olmeda et al, 1993).

Una red neuronal artificial se compone de un conjunto de neuronas, un patrón de actividad, una dinámica de activaciones y una regla de aprendizaje. Las redes usan procesos de aprendizaje por analogía donde los pesos de las conexiones se ajustan automáticamente para producir un patrón representativo del problema; su característica distintiva es la capacidad de hacerlo mediante ejemplos. Otra particularidad importante es la obtención de refinamiento de cómputo por medio de ecuaciones. En un modelo conexionista el resultado de una sola operación se obtiene por medio de muchos cálculos que manejan una red, donde los ítems importantes no son símbolos, sino patrones de actividad complejos entre las neuronas que forman una red (Del Rio y Sanz, 2001).

Una red conexionista típica está constituida por unidades simples interconectadas, las cuales poseen un determinado grado de activación que se extiende a través de las conexiones hacia otras neuronas activándolas o inhibiéndolas. Para que una red realice una tarea es preciso entrenarla de forma que sea capaz de cambiar los pesos de las conexiones entre las unidades, hasta lograr que obtenga una solución estable al problema. Esta forma de computación neural o procesamiento distribuido en paralelo implica en principio un nuevo marco para crear modelos cognoscitivos, lo cual implicó una revolución interna dentro de la IA, pues ya no sería posible estudiar la forma en que se dan los procesos del pensamiento, es decir analizar los procesos cognoscitivos o la estructura de lo mental, sin aludir a los mecanismos neurofisiológicos subyacentes.

Aunque el enfoque PDP intenta alejarse un poco de la IA en la forma de modelar el procesamiento de información, éste también a final de cuentas implica la idea de que el conocimiento es en esencia cómputo matemático, sustituyendo la metáfora del ordenador por la metáfora del cerebro o de la neurona. En la primera, el conocimiento se almacena en el estado de ciertas unidades del sistema, se halla explícito en los estados de las unidades; mientras que en la metáfora del cerebro, el conocimiento está en las conexiones o en las reglas para formarlas mediante la experiencia. Así, este se encuentra implícito en la estructura del dispositivo que desarrolla la tarea.

Aunque tanto para la IA como para el conexionismo el conocimiento es esencialmente procesamiento de información, en la teoría conexionista se tiene cierta cautela al hablar de representación al estilo de modelos mentales o esquemas. En cambio se piensa más en una “microestructura del conocimiento” a un nivel “subcognitivo” o “subsimbólico” donde las representaciones o esquemas son simples fuerzas de conexión almacenadas distributivamente que se pueden recrear siempre que se les necesite. Los esquemas y las representaciones no son entidades explícitas, ni copias del mundo real como lo manejan la IA convencional y la psicología cognitiva. Las representaciones serían algo implícito en el conocimiento creado por el propio entorno: no están almacenadas en algún lugar del cerebro, sino que se encuentran distribuidas por todas las interconexiones neurales. Esto ha implicado un estilo diferente de explicar la cognición comparado con los modelos convencionales de la IA.

En este capítulo queremos abordar la relación entre algunos de los conceptos claves establecidos y nuestros modelos de procesamiento distribuido en paralelo. Hay muchos conceptos importantes de la ciencia cognitiva moderna que deben explicarse dentro de nuestro marco teórico. Quizás el más importante es el concepto de esquema o conceptos relacionados como guiones, marcos, etc. Se ha propuesto que estas estructuras de datos a gran escala desempeñan una función crítica en la interpretación de los datos de entrada, en la orientación de la acción y en el almacenamiento de conocimientos en la memoria. De hecho como hemos afirmado en otra ocasión (Rumelhart, 1980), el esquema ha lle-

gado a ser para muchos teóricos el bloque constructivo básico de nuestra comprensión de la cognición. No obstante el lenguaje PDP que proponemos carece de términos como esquemas, guiones, marcos, etc. en su lugar, hemos propuesto bloques constructivos a un nivel mucho más micro, a nivel de unidades, activaciones y conceptos de 'nivel bajo' similares (Rumelhart, 1992: 253).

La teoría conexionista hace hincapié en que el entorno ofrece demasiados datos para procesarse y que esos datos sólo pueden ser eficazmente procesados bajo un sistema de cómputo sofisticadamente distribuido y paralelo, para la teoría conexionista es así como seguramente opera el cerebro humano. Se puede decir que, para el conexionismo, la mente emerge del cerebro o que la naturaleza de la mente es neurobiológica.

## **Conclusiones**

Desde sus orígenes la Ciencia Cognitiva se caracterizó por su naturaleza transdisciplinaria, navegando entre las ciencias humanas (psicología, antropología, filosofía, lingüística y las ciencias o disciplinas más duras (matemáticas aplicadas, ingeniería, programación, neurociencias) esta interrelación de saberes provocó que sus fundamentos se asentaran sobre una clara relación entre teoría y tecnología.

El paradigma del proceso de información dio a esta relación la posibilidad de materializarse a través de la construcción de computadoras. Sin embargo el enfoque cognitivista original, si se nos permite esta expresión, el cual concibe a la mente como un sistema procesador de información, fue hasta cierto punto limitado, pues puso la gran mayoría de su atención en la función y la forma, es decir se centró en entender los procesos operativos de la cognición, buscando leyes universales o reglas generales, validas tanto para sistemas biológicos como artificiales. Esta primera Ciencia Cognitiva rompió con las particularidades e individualidades en aras de una explicación universal.

Consideramos que esta postura no puede dar cuenta de algunos aspectos más individuales de la cognición, por ejemplo, no puede explicar las relaciones entre personalidad, temperamento y cognición. En un principio la Ciencia Cognitiva estudió los fenómenos mentales buscando explicaciones en modelos formales y predictivos, constriñendo excesivamente el concepto de cognición como una serie de mecanismos que controlan, depuran, organizan y procesan los contenidos mentales. Esta visión deja poco espacio para entender la creatividad, pues bajo esta perspectiva nos convertimos en una especie de consumidores y traductores pasivos de información. La Ciencia Cognitiva basada en el paradigma del procesamiento de información no explica cómo se dan los procesos creativos del conocimiento, dejando de lado la imaginación, los sueños y la producción no consciente de signos, entre otros. Se centra más bien en los procesos cognitivos que fundamentan los aspectos prácticos del comportamiento; esto tiene que ver más con una visión pragmática de la

cognición, la captación de estímulos, la percepción, la atención, la memoria, y la elaboración de planes y estrategias. Otros fenómenos menos prácticos de la cognición como las intuiciones, los sueños y las emociones son poco abordados desde este paradigma.

También hay que tomar en cuenta que Shannon (1962) elaboró su teoría sobre la información inspirado en la física termodinámica, además trató de explicar fenómenos sociales utilizando el cálculo de probabilidades. Es aquí justamente donde creemos que la teoría pierde mucho de su valor, pues no llega a ocuparse del contenido semántico de los mensajes, del significado, ni de la interpretación y el contexto social, únicamente se preocupa por buscar la manera en la cual la información fluye. Como todo modelo mecánico básico, es lineal. Sólo se interesa por el cómo (cómo se comporta un mensaje emitido desde su salida hasta su llegada y cómo le afecta la interferencia), pues Shannon no se preocupaba por los aspectos psicológicos de la comunicación, le preocupaban sus cualidades estadísticas y lógicas. Esta perspectiva tuvo mucho éxito porque organizaba la comunicación en una especie de diagrama de flujo, en un sistema conformado de partes interdependientes y, aunque no fue su primera intención, Shannon ha influido de forma seminal en las concepciones modernas de la comunicación humana.

La inteligencia artificial fue muy ambiciosa al intentar descubrir la estructura cognitiva humana tratando de imitarla con una máquina computadora, ese intento, si no logró su meta, por lo menos encontró otra manera bastante eficiente de procesar símbolos. Pero lo negativo de ese hecho es que, con el tiempo, la eficacia de la inteligencia artificial se fue convirtiendo en un prototipo de cognición, incluso superior a la humana, por lo menos en su capacidad práctica para organizar información y solucionar problemas. La influencia de la inteligencia artificial ha sido sumamente importante, sobre todo en la concepción moderna de lo que es la mente, la idea de que ésta es un sistema que organiza, ordena, controla y administra el resto del cuerpo, es una idea que ciertamente surge y se refuerza con el desarrollo de la inteligencia artificial.

Por otro lado, la teoría conexionista, a pesar de su fracaso por intentar romper con el esquema de la inteligencia artificial clásica, no logró deshacerse de los símbolos como materia prima de los sistemas inteligentes, llegando sólo a refinar y agilizar su procesamiento. Lo interesante de esta nueva forma de interpretar los sistemas cognitivos tiene que ver con la aceptación de que las tareas que parecen cognitivamente más fáciles son realmente las más complejas, cosa que llevó a poner más atención en los mecanismos básicos de la mente humana, como son la percepción visual y el control motor. El conexionismo y el PDP nos dicen: no conocemos realmente nada sobre la mente y el cerebro, y no contamos con nada artificial parecido. En este sentido la teoría conexionista y el grupo PDP humanizaron el concepto de conocimiento e hicieron relucir sus límites y misterios. 

Protrepis, Año 3, Número 6 (mayo - octubre 2014). [www.protrepis.cucsh.udg.mx](http://www.protrepis.cucsh.udg.mx)

## BIBLIOGRAFÍA

- Abramson, Norman 1963 (1986) *Teoría de la información y codificación*. 6ª ed. (Madrid: Paraninfo).
- Whitehead, Alfred North y Russell, Bertrand 1910 *Principia mathematica*. (Cambridge: Cambridge University Press).
- Boole, George 1854 *An Investigation of the Laws of Thought* [Una investigación de las leyes del pensamiento] (Londres: Walton and Maberly).
- Castillo Enrique; Cobo, Ángel; Gutiérrez, José Manuel y Pruneda, Rosa Eva 1999 *Introducción a las Redes Funcionales con Aplicaciones. Un Nuevo Paradigma Neuronal*. (Madrid: Paraninfo).
- Dukas, Reuven (Ed.) 1998 *Cognitive Ecology: The evolutionary ecology of information processing and decision making* [La ecología evolutiva del procesamiento de información y la toma de decisiones]. (Chicago: The University of Chicago Press).
- Shannon, Claude y Warren, Weaver 1962 *The mathematical theory of communication* [La teoría matemática de la comunicación]. (The University of Illinois Press).
- Skinner, Burrhus Frederic 1974 (1975) *Sobre el conductismo*. (Barcelona: Fontanella).
- Fodor Jerry y Zenon Pylyshyn 1988 "Connectionism and Cognitive Architecture" [Conexionismo y arquitectura cognitiva] en *Cognition* 28 (1-2): 3-71.
- Frege, Gottlob 1962 (1984) en Ortega, Virgilio (ed.) *Estudios sobre semántica* (Barcelona: Orbis).
- Gardner, Howard 1987 (1996) *La nueva ciencia de la mente. Historia de la Revolución Cognitiva*. 1ª ed. (Barcelona: Paidós).
- González Labra, María José 1998 *Introducción a la psicología del pensamiento*. (Madrid: Trotta).
- Martín del Río, Bonifacio y Sanz Molina, Alfredo 2001 *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*. (Madrid: Ra Ma).
- Montes, Santiago 1976 "Teoría de la información" en Cuadernos de la comunicación (Madrid: Pablo del Río). Vol. 1.
- Newell, Allen y Simon Herbert 1981 "Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search" [Las ciencias computacionales como investigación empírica: Símbolos y búsqueda]. *Communications of the Association for Computing Machinery* 19:113-26.
- Olmeda, Ignacio 1993 *Redes neuronales artificiales, fundamentos y aplicacio-*

- nes. (Madrid: Servicios de publicaciones de la Universidad de Alcalá).
- Rumelhart, David y McLelland, James 1992 *Introducción al procesamiento distribuido paralelo*. (Madrid: Alianza).
- Valiña, María Dolores y Martín, Montserrat 1997 *Psicología cognitiva, perspectiva histórica, método y metapostulados*. (Madrid: Pirámide).
- Von Neumann, John y Morgenstern, Oskar 1944 (1947) *The Theory of Games and Economic Behavior* [La Teoría de juegos y comportamiento económico], (Princeton University Press).
- Watson, John Broadus 1930 (1972) *El conductismo*. 4ª ed. (Buenos Aires: Paidós).
- Wiener, Norbert 1950 (1981) *Cibernética y sociedad*. (México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

Recibido: Abril 15, 2014. Aceptado: Junio 30, 2014.