

FUNDAMENTOS Y ORÍGENES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Francisco Rodríguez Gutiérrez
Departamento de Filosofía
I. E. S. Tacoronte

INTRODUCCIÓN

“La inteligencia artificial es el estudio de cómo construir y/o programar ordenadores para hacer los tipos de cosas que la mente humana puede hacer: usar el lenguaje, reconocer rostros, identificar objetos semiescondidos en la sombra, asesorar en problemas científicos, legales o de diagnósticos médicos. Provee muchas ideas acerca de los procesos psicológicos y ha dado así origen a un nuevo enfoque en el estudio de la mente: La psicología ‘computacional’”.

(Boden, 1991, 22)

La inteligencia artificial (de ahora en adelante IA) no es otra cosa que el intento de producir máquinas y programas que sean en sí mismos inteligentes. Es, en parte, una rama de la tecnología e ingeniería, pero como disciplina tecnológica requiere de modelos comprensivos sobre la clase de fenómenos que intenta reproducir. Y es en este ámbito, el de los modelos teóricos sobre la vida mental, en el que se hallan las dificultades. No existe una teoría unitaria sobre los procesos mentales; para decir la verdad, no tenemos una visión homogénea



y compacta sobre cómo lograr que la máquinas hagan una clase determinada de comportamientos y procesos mentales que nosotros consideramos naturales. La dificultad no se centra en fabricar máquinas más rápidas, con más memoria, o con un diseño determinado; lo difícil es disponer de un modelo científico aproximado y fiable sobre cómo secreta el cerebro un conjunto de funciones inteligentes.

Decir que no disponemos de una teoría científica homogénea y completa de la mente es cierto, pero no debe interpretarse como si no tuviésemos buenas teorías. En la actualidad, la imagen científica del cerebro y de las funciones mentales es uno de los intereses más importantes de la comunidad de investigadores, neurocientíficos y científicos cognitivos –las dos ramas más recientes de la investigación sobre el asunto– y gracias a ellas, disponemos de aproximaciones más que sugerentes del tema de la inteligencia. En esta ponencia, trataremos de hacer un análisis de cómo se han desarrollado estos modelos en la inteligencia mecánica o artificial, hasta casi nuestros días.

Antes me gustaría advertir al lector sobre algunas consideraciones. Es fácil perderse en este tipo de trabajos, sobre lo que significa la noción de inteligencia, como si tuviese que encontrar una definición invariante y universal el investigador que la busca. No existe ningún planteamiento definitivo en la actualidad sobre la inteligencia animal y humana en especial. En este trabajo citaremos algunas de las habilidades que reciben el calificativo de “inteligentes”. Al respecto, expondré algunos puntos de partida que considero vitales para una exploración de las capacidades humanas:

- a) la inteligencia es una propiedad evolucionada de los animales y que por tanto, es lícito plantearse su origen,
- b) es una propiedad natural de los sistemas nerviosos de cierta complejidad,
- c) la inteligencia humana es un caso de lo anterior y que no interviene ningún factor que no sea material, y
- d) es posible reproducir la inteligencia humana dado un dispositivo material con complejidad equiparable al cerebro humano.

Las tres primeras consideraciones son de tipo general e incuestionables para una persona documentada. La última cuestión requiere de una demostración por menorizada.

1. MECANICISMO Y ORGANICISMO EN EL TEMA DE LA INTELIGENCIA

¿Es posible hacer que las máquinas sean inteligentes? La respuesta a esta pregunta depende en gran medida del pensar de cada momento histórico. La IA



es heredera de los modos de razonamiento en la cultura occidental. En su interior palpita una polémica sobre los dos grandes esquemas lógicos de pensamiento: el mecanicismo (reducción a agregados de elementos físicos y sus leyes) y el organicismo (propiedades no reducibles a leyes físicas, pero sí a otras leyes de un nivel más alto). La historia de la IA ha sufrido la tensión entre los dos modelos interpretativos de la naturaleza preexistentes en nuestra cultura.

El MECANICISMO FISCALISTA, representado por el gráfico de abajo, ha sido hasta no hace mucho la forma dominante de percibir la naturaleza. En síntesis, los modelos mecanicistas usan un tipo de explicación por el que la complejidad de los fenómenos se reduce a las propiedades físicas. Se propone la física como el ideal de investigación y auténtica ciencia que sirve como punto de gravedad para las demás. El fiscalismo considera que la visión desde la leyes físicas, aporta una perspectiva universal y ejemplar para las ciencias en desarrollo, y este es el punto crucial, pues niega que puedan existir leyes y principios universales no físicos. Para nuestros propósitos en psicología de los procesos mentales, nos interesa destacar varias ideas: a) que el fiscalismo identifica y caracteriza los procesos mentales como sucesos lógicos y deductivos, b) se identifica proceso mental con pensamiento consciente, c) desde sus orígenes en la época moderna, el mecanicismo está asociado con algún nivel del dualismo mente-cerebro, dicotomía latente en términos usuales como razón, racionalidad, mente, y d) son por lo general, partidarios del discontinuismo entre la especie humana y las demás.

El uso de la analogía de los seres como máquinas no es un error. Si hemos de buscar algún error, éste se encuentra en concebir los mecanismos sólo como dispositivos físicos, olvidando que existen también mecanismos materiales como los químicos y los psicológicos. El recurso a la máquina no induce a equívoco si pensamos que existen otras lecturas de la realidad. Más adelante, resumiremos las diferentes concepciones prototípicas del concepto máquina.





El *ORGANICISMO* ha sido la visión perdedora en sus diferentes enfrentamientos con la concepción dominante. En sus diferentes versiones, se había comprometido con una imagen del mundo donde lo material no coincidía con lo físico. Su error fue plantear la complejidad de la estructura material, los niveles físico, químico y psicológico, como si se trataran de fuerzas ocultas, plenas de tendencias y fines. Ciertamente es que en el siglo XVIII, y en especial en el XIX, las tendencias antifisicalistas utilizaban un conjunto de conceptos de dudosa aplicación en el campo de la ciencia. Sin embargo, la visión de un mundo en el que circulan realidades complejas, a veces dependientes de estados de energía, de campos electromagnéticos, etc., ha resultado ser más comprensiva para descifrar la complejidad del universo. Excepto en el caso de la mecánica de la luz de Huygens, las tendencias antirreduccionistas no han tenido éxito, en especial si excluimos el presente siglo, en el que el criterio de existencia pasa más por ser una necesidad matemática que un hecho observable.

Es tradicional aceptar como verdadera la afirmación “el organicismo, constituye la introducción de factores irracionales en la ciencia”. En esta ponencia explicaremos por qué esta afirmación es incorrecta. En lo básico, el organicismo en psicología ha aportado algunas ideas capitales a la investigación psicológica como: a) que la realidad mental hay que entenderla a la luz de los descubrimientos biológicos, b) que pueden existir leyes sobre la organización y funciones del SNC no reducibles a enunciados físicos, c) que los procesos inconscientes son fundamentadores de las capacidades cognitivas, y d) que existe un nivel energético, motivacional, sin el cuál no se pueden explicar las conductas y procesos mentales.

2. LA METÁFORA DEL ORDENADOR

A. FUNDAMENTOS HISTÓRICOS

Esta tensión esencial puede observarse en el seno de la IA. y ha caracterizado la historia del pensamiento occidental. Posiblemente, no sean ambas más que dos lecturas de los ilimitados enfoques que admite la realidad material. Podría admitirse, que en el campo de la investigación, en el que los investigadores se arrojan en ESQUEMAS DE PENSAMIENTO coherentes y bien organizados, la búsqueda de soluciones e hipótesis de trabajo está controlada por una de estas dos matrices del pensamiento, o, al menos, por una modificación de ellas.

La psicología científica tradicional, excluyendo el mentalismo anticientífico del psicoanálisis, ha desarrollado una perspectiva racionalista que afirma que



los procesos mentales son racionales y lógicos, separados de lo corpóreo. En ella, el humano actúa guiado por reglas lógicas, o si se prefiere, por procesos controlados por reglas y principios. Estos principios psicológicos universales deben ser describibles en un lenguaje abstracto, y por tanto, en reglas lógicas. Al conjunto de principios los conocemos como razón, o racionalidad si hablamos de las conductas. La psicología científica racionalista, en la versión dominante hasta finales del XIX, está estrechamente relacionada con los desarrollos de la matemática y la lógica, que son entendidas como ejercicios de la razón humana universal. La mente, armada de un complejo de facultades independientes, es accesible a la inspección de la conciencia, la introspección; y todo aquello que escape a la revisión consciente es secundario, una interferencia de lo pasional, lo emocional, lo animal.

La IA clásica –de aquí en adelante IAC– nace como disciplina en la década de los cincuenta de nuestro siglo, y se fundamenta en la visión racionalista que hemos descrito: El humano es un sistema racional, tiene un *LENGUAJE DEL PENSAMIENTO* que es lógico, que está conducido por reglas abstractas. La inteligencia, concebida como facultad, emerge de la validez universal de las reglas racionales. Somos inteligentes porque generamos comportamientos conforme a ese código lógico e interno que nos separa de las demás especies.

B. DESCRIPCIÓN DE LOS SUPUESTOS DE LA IAC: LA CIENCIA DE LO ARTIFICIAL

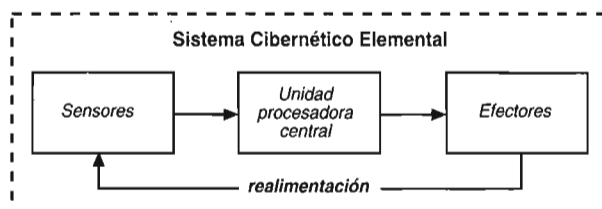
Entendemos en esta ponencia que la IAC es aquél núcleo de pensamiento que defiende la llamada *METÁFORA COMPUTACIONAL DE LA MENTE*: la mente humana puede ser caracterizada como una máquina lógica. Este ingenio natural, que es la razón, viene provisto de un lenguaje básico de ideas, “el lenguaje del pensamiento”. Este código del pensamiento está hecho con reglas explícitas de tipo sintáctico. Pues bien, si lo anterior es cierto, entonces los computadores podrán ser agentes racionales y por tanto, si se construyen con las mismas reglas lógicas del pensamiento humano, habrá que concluir que son inteligentes. Como se observa, la IAC equipara pensar con usar reglas racionales.

Para entenderlas es necesario introducir la idea de que los organismos son casos de *SISTEMAS PROCESADORES DE SÍMBOLOS* (SPS). Somos casos especiales de SPS y representamos el medio mediante el procesamiento de símbolos. Somos organismos que a partir de los sensores, extraemos información del medio y fabricamos representaciones de él.

El modelo de SPS en los años 50, no se inspira en el modelo real del cerebro, sino en las “*ciencias de lo artificial*”, las ingenierías de la información y el cálculo, las matemáticas computacionales, y la cibernética. Los modelos ciber-



néticos fueron introducidos por N. Wiener en la década de los 40. Estos modelos identifican los procesadores por la función lógica que desempeñan sus elementos, no por la clase de materia: orgánico, metal, plástico o silicio. En 1947 N. Wiener, doctor en Harvard a los 18 años de edad, publica una obra de referencia “Cibernética”. En ella, se usan términos como servomecanismos de control, noción de Feed-back, control de la energía. Wiener describía sus investigación como “*Estudio comparativo del control y la comunicación en el animal y la máquina*”. La primera piedra para la IAC estaba puesta.



Sobre el importante giro conceptual de la cibernética en el contexto de la investigación psicológica, es importante hacer constar que se produce una sustitución del paradigma físico de máquina por el de sistema procesador:

“La Cibernética constató el cambio de un modelo dominante, o un conjunto de explicaciones para los fenómenos, a otro. La energía –el concepto central de la mecánica newtoniana– fue sustituido por la información. Las ideas de la teoría de la información, tales como codificación, almacenamiento, ruido, etc., proporcionaron una explicación mejor para todo un conjunto de eventos, desde el comportamiento de los circuitos electrónicos hasta el de una célula replicante. Una de las razones de esto es que la vieja mecánica newtoniana se había ocupado de sistemas cerrados, conservativos, mientras que el modelo de la teoría de la información podía tratar con sistemas abiertos, esto es, sistemas relacionados con el mundo exterior tanto para recibir impresiones como para realizar acciones, y en los que la energía no es, sencillamente, la cuestión central. No es de extrañar que la línea dominante en psicología, aún embebida con los conceptos extraídos de la mecánica newtoniana, no estuviera, en primer lugar, atenta, y además fuera reticente, a un cambio de paradigma tan drástico” McCorduch, P. (1991, 59)

Desde sus orígenes, los partidarios de la IAC, al tomar como modelo las ciencias formales y la ciencia de lo artificial, pensaron que podría encarnar los procesos mentales sin necesitar un tipo de materia específico. La mente esta



determinada por procesos de símbolos, sin que el tipo de materia concreta sea relevante para determinar el pensamiento. El hardware, todo aquello que es soporte material del programa, es dispensable para la ciencia.

C. LA LÓGICA Y EL ÁLGEBRA DEL PENSAMIENTO

Un supuesto básico de la IAC es que el sentido común, es un caso especial del razonamiento lógico, que las leyes del pensamiento son una extensión de las leyes de la lógica. El conocimiento tiene una estructura lógica, una trabazón sintáctica.

La tradición racionalista ha hecho hincapié en la idea de que una operación mental es un caso de operación, en la terminología de la IA, un cómputo. La mente y los computadores, computan, hacen cálculos. Esta idea, ya tenía una sólida tradición en el pensamiento de T. Hobbes. Hasta ahora, hemos subrayado dos ideas:

- a) que los humanos y las máquinas somos casos concretos de SPS, y
- b) que la inferencia humana, es una cadena de cómputo instanciado en un sistema de símbolos primitivos.

En el desarrollo de la matemática de los dos últimos siglos aparece nuevamente la idea de la lógica como álgebra del pensamiento. Analizaremos con brevedad la obra de G. Frege, B. Russell, Whitehead y Turing.

Las primeras concepciones de IAC ponían el énfasis en concebir la inteligencia humana como un proceso describable en secuencias lógicas, con decisiones simplificadoras. Frege en su obra conocida como "*Begriffsschrift*", afortunadamente traducida como "*Una notación de conceptos*" (1879), consideraba la empresa lógica como compensadora de los fallos del sentido común. Puesto que la verdad lógica de las proposiciones es una y atemporal, no evolucionada, los humanos podrían utilizar el pensamiento formal para establecer proposiciones indiscutibles. Frege, fue el primero en pensar que los lenguajes formales debían de sustituir y corregir al lenguaje ordinario, por ser ambiguo.

El proceso disociador que separa la lógica de la psicología mundana y del lenguaje natural, va ha ser reforzada con la obra de los lógicos Russell y Whitehead. La obtusa terminología fregeniana, y las ideas platónicas implicadas en la lógica pura, se vieron corregidas en los "*Principia Mathematica*", la obra capital de comienzos de siglo. Ambos autores intentaban construir un sistema axiomático completo libre de contradicciones y paradojas. El resultado fue una consolidación en la cultura occidental de la idea que hemos estado desarrollando: que la lógica se mueve en el ámbito de la razón pura, ajena al mundo de los



hechos. En la obra de los lógicos se muestra el interés por estrechar la razón humana en una serie de proposiciones descritas con una gramática artificial, ajena a la organización mental, y abierta a la contundencia del cálculo lógico. Establecieron la idea de que si bien la lógica no es estrictamente el lenguaje del pensamiento, debería sin embargo, utilizarse como si lo fuera. Toda persona racional debería de reducir la capacidad del pensamiento a una lógica de predicados de n-grados. Pensar el computador como una mente está contenido en la semilla de nuestra cultura lógica y matemática

La lógica, parte de la máxima de que no es posible admitir una contradicción. Se trata de un sistema que opera deductivamente siguiendo un proceso serial, paso a paso, en un entorno limitado, local. Sin embargo, la mente es la totalidad de la información que revierte en cada operación. La lógica no es, pese a los esfuerzos de los matemáticos y filósofos, un sistema de conocimiento, sino un sistema parcial y limitado de información.

Es interesante destacar otra idea incorporada en los lenguajes formales: desde una perspectiva lógica, la verdad de un enunciado está vinculada a su demostrabilidad formal, al proceso puntual de su deducción. La lógica determina la verdad con una soberana independencia del contexto; desdeña la generalidad de la mente, que razona dando saltos. Si la lógica conlleva una aspiración a la completud, los sistemas mentales no son en absoluto completos; actúan por indicios semánticos, según su conexión y fuerza interna. Para los lógicos y matemáticos, la verdad de los enunciados está bajo el control de reglas formales insensibles al contexto. Veremos cómo esta idea tendrá funestas consecuencias en el desarrollo de la IA.

Las mismas ideas podrían decirse en la obra de Boole "Las leyes del pensamiento" en 1854 o en los trabajos de D'Morgan sobre los esquemas deductivos. A respecto Boole escribe:

"Las leyes que tenemos que examinar son las leyes de una de nuestras más importantes facultades mentales. Las matemáticas que tenemos que construir son las matemáticas del intelecto humano" (tomado de McCorduck, 1991, p.57)

Las aportaciones redundan en la idea de la disociación paulatina de la lógica y los procesos psicológicos intervinientes en el razonamiento. La "lógica simbólica" asume el papel motor de ideas, como un tejedor automático. Boole, llegaría a pensar que las ideas mentales, son suministradas por unos mecanismos inconscientes, que vierten sobre la razón verdades seguras, como las intuiciones cartesianas, allí donde habitan las verdades sobre el psiquismo, allí donde se encuentra la estructura generadora del pensamiento.



Las analogías computacionales, las que veremos a continuación, toman el ideal platónico, cartesiano, y logicista de Frege y Russell. Para estos últimos, los sistemas formales se concebían como una solución técnica a la *falta de fiabilidad deductiva de la especie animal humana*. Caracterizada la mente como un agente autónomo, santificada la conciencia como el proceso cumbre, subrayada la idea de que es irrelevante el tipo de concreción material que corporeice la mente, sólo queda esperar la aparición de la noción de programa. La mente queda idealizada como algo no corpóreo que sigue reglas formales de inferencia, localizadas en series, grabadas en una sintaxis que todos compartimos.

D. TÜRING, CHURH, Y V. NEWMANN: MÁQUINAS Y ALGORITMOS

Empecemos con un problema en el campo de las matemáticas, a cargo de David Hilbert. En 1900, durante una conferencia en París, Hilbert plantea un problema capital que a su juicio debería de responder la matemática del nuevo siglo. En Bolonia, perfecciona estas demandas justo en el año 1928. Es la del llamado “EL DÉCIMO PROBLEMA” (de veintitrés problemas) o ¡simplemente! ‘*Entscheidungsproblem*’, por el cual se formaliza la necesidad de buscar un procedimiento mecánico para resolver problemas matemáticos. Hilbert consideraba que las matemáticas se debían justificar sobre un conjunto de axiomas y postulados seguros de los cuales sería posible inferir una base sólida para la inferencia matemática. De naturaleza inquieta, Hilbert se propuso elaborar una teoría última y unificada de la matemática, empezando por la geometría. Para Hilbert, que fundamentaba el razonamiento matemático sobre “pruebas de consistencia”, el empeño consistió en buscar una formalización definitiva de las matemáticas sobre la lógica. La geometría euclidiana, en su opinión, quedaría así reducida a cadenas de axiomas incontrovertibles para la razón; trabajo llevado a su fin en “*The Foundations of Geometry*”, en 1902. Buscaba procedimientos en un número finito de pasos de operaciones lógicas dispuestos de tal forma que evitaran caer en el principio de contradicción y que atrapasen la totalidad de los postulados de la geometría. Estos procedimientos formales serían la fundamentación definitiva de las matemáticas. Este “sueño romántico de la razón”, quedó en nada tras la publicación en 1932 por parte de Gödel de su famosa demostración de la incompletud de cualquier sistema formal.

El décimo problema plantea la posibilidad de buscar un procedimiento mecánico. Un artefacto, real o abstracto, que permitiera generar verdades matemáticas bien definidas sin la intervención directa de la facultad racional humana. A. Turing, publica en 1937 un artículo “*On The computable numbers, with an application to The ‘Entscheidungsproblem’*”, ideas que perfila en “*Systems of*



logic based ordinals” (1939). ¿Puede pensar una máquina? En 1950, presenta un criterio conductual para determinar si una máquina es inteligente, además de responder a las objeciones clásicas contra la IA. Sobre este texto haremos un análisis más adelante.

Turing, en 1937, diseña un procedimiento mecánico abstracto, una idealización matemática de un dispositivo que puede llevar a cabo el cometido propuesto por Hilbert. Afirma que no es posible proporcionar soluciones por un único y definitivo proceso. Su solución afirma que es posible pensar en un dispositivo mecánico en una serie de procesos finitos, sea cual sea la magnitud necesaria, pudiendo extraerse soluciones válidas. Este dispositivo es una máquina automática que trabaja en operaciones seriales, una máquina que computa independientemente de las dimensiones físicas de sus sistemas de almacenamiento, que a efectos de la validez demostrativa, considera infinita.

Si admitimos, como hace la tradición atomista occidental, que un problema matemático, o incluso una entidad física, es definible en términos finitos, y puede descomponerse en estados más pequeños y simples, entonces una máquina de Turing, –MT en adelante–, podría computarlas. Es frecuente pensar el MT como si fuese un computador digital, lo cuál es un error. Los dispositivos efectivos como los que diseñó Turing tienen el mismo valor que una demostración matemática, son un hallazgo teórico que puede ser trasladado a diferentes estructuras físicas, entre ellas, los computadores V. Neumann, o un cerebro de caracol.

Para entender la MT es imprescindible explicar qué es un *ALGORITMO*, eje central de la T.^a de la computación clásica. Hagamos un poco de historia. Sobre el siglo XI, el gran matemático persa al-Khowarizm, escribe un influyente texto titulado “*Kitab al jabr w’al-muabala*” en el que aparte de mejorar los sistemas de notación algebraica, teoriza sobre unos casos de cálculo recurrentes que llama algoritmos. Al-Khowarizm recopila procedimientos recurrentes desde la época griega, como el famoso teorema de Euclides para determinar el máximo común divisor. Los algoritmos son procedimientos mecánicos y recurrentes (cíclicos) de cálculo, en los cuales la serie ordenada de instrucciones no depende de lo pequeño o grande de los números con los que trabaja, ni depende de lo largo o corto de las operaciones. Se le ha definido como un caso de procedimiento sistemático con un número finito de casos. Para Hofstadter, son simplemente “descripciones exactas de los procesos que han de desarrollar”. (p.224). Es, en su opinión, un caso de bucle con instrucciones que puedan ser descritas en instrucciones puntuales y bien definidas que son usadas una y otras vez hasta que cumpla con una condición final, por ejemplo llegar al menor número natural posible.

Los algoritmos son conjuntos de instrucciones del tipo bucle que tienen un criterio claro y conciso de interrupción. El ideal de Turing requiere de un dispo-



sitivo algorítmico automático. A este dispositivo se le conoce por MT. Estos artefactos tienen los siguientes elementos:

- a) **Estados internos:** la máquina tiene estados internos en función del datos, normalmente instrucciones que recibe. Los estados internos de la máquina son finitos. La MT cambia los estados internos según las relaciones causales expresadas en las instrucciones.
- b) **Conjunto de instrucciones** (inputs) escritas en una cinta externa ilimitada.
- c) **Output** (anotaciones de resultados parciales y final) que la máquina escribe en un lugar libre de la cinta. Las salidas del sistema de cálculo no tienen limitación de tamaño. Las salidas son producidas de forma determinista por los estados internos de la máquina y las instrucciones específicas, y una
- d) **Cinta ilimitada** en la que se ponen los inputs por el programador, y se acotan los outputs. Es habitual suponer que la cinta tiene un conjunto infinito de celdas en la que se puede leer una serie de símbolos informativos. Es normal concebir que la numeración sea binaria (1/0).

Como queda claro en la ilustración anterior, las instrucciones son sencillas. Por ejemplo, si al estado interno de la máquina b_0 le corresponde la instrucción $[0Ra, (b_0 \rightarrow 0Ra)]$, la máquina tendrá que detectar si en la cinta hay un '0'; si es así, debe moverse a la derecha y permanecer en el estado 'a'. La instrucción puede detallarse más de tal forma que si $[(b_0 \rightarrow 101R)]$ se encuentra en el estado 'b' y lee un '0' entonces debe de ir al estado interno '10', poner un '1' y moverse a la derecha de la cinta. Las nomenclaturas de las MT son variadas, pero todas son sucesiones de instrucciones muy parecidas a las que hemos visto. Cualquier persona con tiempo y ganas podría generar algoritmos para una MT que calcule cualquier tipo de operación. Lo importante de este desarrollo matemático es que introduce la noción de cálculo automático por procedimientos recursivos.

En adelante, es concebible pensar en máquinas de este tipo que sean capaces de afrontar ilimitadas operaciones mecánicas, y a través de ellas, a cualquier problema matemático. Como hace notar el profesor Penrose es una petición que queda por dilucidar si en principio este procedimiento es extensible universalmente:

“Pese a todo esto podríamos preguntarnos aún si el concepto de máquina de Turing engloba realmente todas las operaciones lógicas o matemáticas que llamaríamos mecánicas” (1991, p. 78)



La solución a esta pregunta se encuentra en la obra de un matemático americano; A. Church, quien descubrió el “CÁLCULO LAMBDA” un dispositivo lógico que satisface las mismas condiciones que la MT. Church, de forma adicional, aporta un teorema que lleva su nombre, en el que demuestra la compatibilidad de una operación matemática y los algoritmos. A la conjunción de ambos desarrollos formales lo conocemos en la actualidad como la Tesis de Turing-Church, o tesis CT, que afirma que todo lo que es computable por los humanos lo es también a través de máquinas procesadoras seriales. Las MT incurren en dos problemas serios: a) parece imposible para una MT resolver ecuaciones diofantinas y algunos casos de números irracionales mediante algoritmos, y b) es complicado aportar un criterio de detención para que apague la máquina.

Nos queda aún la explicación de las máquinas universales de Turing (MUT). Supongamos que el lector haya elaborado un procedimiento efectivo para una MT, por ejemplo quiera hacer un algoritmo para ejecutar la operación de suma exponencial. Estas operaciones serán representadas en una cinta en la que se indica los procedimientos concretos que una MT concreta debe de realizar. Pues bien, decimos que existe una MUT cuando disponemos de un programa, la secuencia de órdenes que inventó el lector para su MT, pero que podría ser imitado por una clase de máquina que se llama universal. La máquina universal imitaría cualquier MT o una serie de MT (MT1 MT2, ... MTn), en cualquier caso siempre que se programa si se piensa en una MUT.

No pretende esta ponencia hacer un análisis completo, ni mediano tampoco, de los desarrollos de las tesis TC, o de los planteamientos de Gödel. Se trata de uno de los temas más complejos y densos de la literatura científica del siglo. Basten estas líneas para aclarar el contexto lógico en el que se desarrolla la IAC, y especificar, dónde toma préstamos conceptuales más definatorios:

- a) en la descomposición de elementales,
- b) en el carácter declarativo de la información en sentencias precisas,
- c) en la equivalencia entre la causación mental y la determinación de valores por reglas matemáticas.

La MT trabaja con datos concretos, uno a uno, y realiza sus operaciones simples siguiendo la misma secuencia, una para cada inputs. Cada salida es una representación de los estados internos de la máquina.

Como síntesis a las ideas anteriores, expondremos la interpretación de las tesis TC que hace D. Hofstadter:

¹ Este es argumento presentado por R. Penrose en “La mente del emperador”, Mondadori, 1991.



Tesis TC: *“Los procesos mentales de toda índole pueden ser simulados por un programa de computadora cuyo lenguaje subyacente tenga un poder igual BuL (un algoritmo con diferentes subrutinas con capacidad para la autodetección): es decir donde todas las funciones recursivas parciales pueden ser programadas” (1989, 643)*

Tesis IA: *“Cuando la inteligencia de una máquina evoluciona, sus mecanismos subyacentes tienden a asemejarse a los mecanismos que subyacen a la inteligencia humana” (1989, 643)*

“La computadora es la única forma de inteligencia que nació siendo lógica” en palabras del investigador J. Campbell (1994, p. 51), pero no lo es porque tienda a asemejarse a la inteligencia natural. Los primeros computadores no podrían ser concebidos sin la compleja trama de ideas lógico-matemáticas y cibernéticas. Sin embargo, la mente humana es más compleja que un lenguaje formal. Turing, concebía su máquina como una forma de demostración de un teorema bajo la premisa de que todo teorema debe ser resuelto en un número finito de pasos. Y los investigadores de la IA compartieron ese mismo planteamiento y se lanzaron en busca de artilugios inteligentes, en busca del principio universal de la razón.

ETAPAS DE LA IAC

1955 - 1965	PERIODO CLÁSICO	Técnica algorítmica y de búsqueda heurística ² .	GENERAL PROBLEM SOLVER, GPS de A. Newell y H. Simon.
1966 - 1975	SISTEMAS EXPERTOS	Modelos de dominio específico, se renuncia a construir programas de propósito universal, Comercialización de los SE. Se intenta simular la inteligencia en medios simples	DENDRAL (Halla estructuras químicas) Stanford MYCIN, (diagnóstico de enfermedades de sangre) de Univ. Stanford.
1976 - 1985	SISTEMAS COMPRENSIVOS	Búsqueda de modelos equiparables al sentido común. Se intenta buscar modelos realistas de representación de conocimiento. Minsky (marcos), Schank (Scripts). Proyecto de memoria masiva de Lenat.	SHRDLU y ELIZA de T. Wi-nograd. TALE-SPIN de R. Schank. EURISKO, Lenat.

² Los heurísticos: son reglas generales de forma muy flexible que sugieren procedimientos de búsqueda cuando las reglas de nivel superior no prosperan. Son formas de programación que tipifican modos de razonamiento que usan los especialistas de un campo, por ejemplo, el pensamiento de un jugador de “tute subastado”.



E. LA CONFERENCIA DE DARTMOUTH: EL PERIODO CLÁSICO ("The Dartmouth summer research project on artificial intelligence")

En el verano de 1956, en Dartmouth se produce un acontecimiento histórico para la IA. Varios grupos de investigación multidisciplinarios se reúnen en un ciclo de conferencias sobre la posibilidad de fabricar máquinas inteligentes. La mayoría de estos grupos investigaban temas colaterales, incluso desde la II Guerra Mundial: máquinas encriptadoras, codificadoras, control a distancia, realimentación de cohetes y sistemas de cálculo automático. Los cuatro investigadores de referencia eran John McCarthy (profesor de matemáticas), Marvin Minsky (matemático y neurólogo), N. Rochester (director de investigación de IBM), y C. Shannon (matemático de Bell Telephone y pionero de los estudios sobre la computación del ajedrez).

Entre los investigadores estaban dos jóvenes y casi desconocidos talentos, A. Newell y H. Simon, que representaban a un grupo de Rand Corporation. Ambos expandieron la idea de que la mente es como el computador, y que son ambas concreciones de un sistema mucho más general, los SPS. Como operadores de símbolos, estaban asistidos por reglas lógicas, secuencias de instrucciones en un lenguaje universal. Fue vital para el desarrollo de la IA, el que su grupo de investigación lo fuera con un artefacto semi-inteligente: el TEÓRICO LÓGICO. Se trataba de SPS artificiales, de propósito general. Toda la operación debía ser definida como una serie concreta de combinaciones de elementos primitivos no sensibles al contenido. Según la valoración de Newell y Simon, los símbolos podían ser interpretados, como meros elementos formales que admiten un ilimitado juego de *designaciones*. El programa TEOREMA LÓGICO, y más tarde, EL SOLUCIONADOR GENERAL DE PROBLEMAS, eran una supuesta encarnación informática de las leyes universales del pensamiento.

Ante el contexto de hombres de investigación el TEOREMA LÓGICO, significó la consagración de una línea de investigación formalista y logicista. La lógica matemática era un recurso seguro, y su programa era un ejemplar valioso asumible por su comunidad de investigadores. Además, el modelo fisicalista hasta ese momento, el positivismo lógico, siempre se había presentado con excelentes éxitos en investigación.

Newell y Simon, mantenían que la razón debería funcionar aplicándose a problemas. Su modelo de funcionamiento de la inteligencia quedaba reducido a estrategias para solucionar problemas. La inteligencia trabaja analíticamente, buscando árboles de posibilidades (casos probables) que luego eran explorados en profundidad por el sistema. Los programas podían ser aplicados al razonamiento de un ajedrecista en una final de partida, como ya había pensado Torres Quevedo, o igualmente a "un amo de casa" sopesando el presupuesto familiar, o la educación de un "hijo descarriado".



Simon, matemático de formación, no actuaba sólo por motivaciones intelectuales abstractas. Su tesis doctoral describía los procesos de toma de decisiones económicas de los burócratas de una ciudad media norteamericana. Como Ch. Babbage un siglo antes, pensaba que los sistemas de IA ayudarían a optimizar las decisiones económicas y la planificación de la producción. Tras estas ideas encontramos el viejo modelo del *hombre económico racional*, que se mueve según criterios intrínsecos de racionalidad, siempre pensando asociaciones calibradas entre medios y fines. Los humanos *como agentes racionales ideales* producen decisiones óptimas siempre que empleen buenas reglas. Aquí, la razón sigue siendo un agente independiente, un ente solipsista que estudia la relación coste- beneficio, siempre congruente con la leyes del beneficio. Simon fue Premio Nobel de Economía. Otras ramas, como la T.^a matemática de los juegos, esconden la misma idea.

Hasta ahora, podríamos sacar la impresión de que en la conferencia de Dartmouth, la única opción para la IA eran los modelos logicistas representados por los investigadores Newell y Simon. Sin embargo, el panorama era bien distinto, existía toda un rama de la investigación centrada en estudios neurocientíficos que presentaban una línea alternativa de investigación: los modelos de *PERCEPTRONES SIMPLES* de Roseblant, y los *REDES NEURONALES* de McCulloch, W y Pits, y otros trabajos de la neuropsicología clásica como los de Lashey y otros. Una vez más, estamos ante una edición renovada del enfrentamiento entre psicología racional y el organicismo. El problema se manifestaba en estos términos:

“Ni Minsky ni ningún otro habían sido capaz de extender más allá de lo trivial el modelo neuronal de la cognición humana que habían fomentado McCulloch y sus seguidores. La esperanza de McCarthy de inventar un formalismo para describir el pensamiento humano, un células ratiocinator, parecía cada vez más imposible. Tuvo que haber al menos una desazón momentánea cuando descubrieron que otros dos científicos, invitados a última hora, provenientes de un entorno muy distinto, respondiendo a indicaciones muy diferentes llegaban a Dartmouth con el premio que todos habían buscado tan ávidamente, un programa que exhibía un comportamiento inteligente”.

McCorduch, 1991, p.116)

Los investigadores concentrados en el campus de la Universidad de Hannover, no dominaban los modelos neuronales, ni tenían un formación especialmente sólida en el campo de los procesos nerviosos. Todos excepto M. Minsky, que jugará un papel especial en el éxito de los modelos de la IAC. El



proyecto de Newell y Simon se presentaba como un buen modelo de cómo los humanos elaboran respuestas inteligentes. Su programa, el TEOREMA LÓGICO demostraba varios teoremas de los Principia de Russell y Whitehead de una forma más sencilla y “elegante” que sus propios autores, y asimismo de forma completa, el teorema 2.01 por primera vez. Todo en menos de un minuto por teorema.

Minsky consideraba los modelos de búsqueda heurística, los modelos con los que funcionaba el programa de Newell y Simon, como una opción realista. En el desarrollo posterior del programa, –el SOLUCIONADOR GENERAL DE PROBLEMAS (SGP)– Newell y Simon elaboraron un sistema de búsqueda heurística mejorado “por diferencias”, que Minsky consideró erróneamente superior al suyo del “método por características”. Minsky apoyó entonces la iniciativa del modelo SGP, y esto supuso *un punto a favor* de la línea logicista en IA. Más tarde, estas ideas fueron respaldadas por el MIT, “Massachusetts Institute of Technology”, aún hoy el centro de investigación más influyente del mundo. *La paradoja fue que la tendencia naturalizadora de la inteligencia, había claudicado a favor de la visión logicista.*

Realmente no sólo se estaba dilucidando la perspectiva teórica en IA. Se trataba de captar fondos económicos para la investigación por parte de la empresa privada y del Ministerio de Defensa. En un artículo sobre esta cuestión, S. Papert, principal colaborador de Minsky, se pregunta: “¿Intentamos Minsky y yo matar al conexionismo?”; de ser verdad, el tema se reducía a si los modelos neurocientíficos merecían ser financiados. Minsky y Papert, contestaron negativamente al proyecto conexionista. (Graubard [comp], 1993, p. 13)

F. EL MODELO UNIVERSAL DE IA: MÁQUINAS SIN CUERPO NI CONTEXTO.

“La estrategia del procesamiento de la información gana su seguridad del hecho de transferir a todos los dominios los métodos que han desarrollado los filósofos y que son exitosos en las ciencias naturales. Dado que, en esta perspectiva, todos los dominios han de ser formalizables, la forma de hacer IA en cualquier otra área es obviamente encontrar los elementos primitivos independientes del contexto y basar una representación simbólica formal en este análisis teórico”

(H. Dreyfus y S. Dreyfus, 1988, p. 37)

Los primeros estudios de IAC por Newell y Simon establecieron en la comunidad de investigadores la idea de que la inteligencia es capacidad general



abstracta. La inteligencia, reduce los problemas a su estructura formal, y más tarde los explora con heurismos. En un artículo fundamental de 1973, afirman que: *“El estudio de la lógica y las computadoras nos ha revelado que la inteligencia reside en sistemas físicos de símbolos”*.

Sin atender a las disciplinas biológicas, ajenas al modelo real del cerebro, la concepción IAC afirma que los SPS manipulan signos formales, inespecíficos en contenido, que podrían adquirir tantas representaciones como propósitos. Esto es justamente lo que significa la expresión, de propósito general. Los computadores pueden servir, como una descripción abstracta de cualquier tipo de hechos.

Es lícito definir la IAC como una tarea centrada en reducir las funciones inteligentes a un conjunto de primitivos cuya combinatoria refleje la estructura del mundo. Esta es la idea madre del concepto de programación, pues los programas constituyen estructuras formales que ordenan a la computadora una secuencia lineal y exhaustiva de operaciones que ésta se encarga de ejecutar de forma sincronizada. La finalidad es la resolución de problemas, auténtico modelo troncal de las capacidades cognitivas:

“Tenemos ahora los elementos de una teoría de la resolución heurística (en contraste con la algorítmica); y podemos usar esta teoría tanto para comprender los procesos heurísticos humanos como para simular dichos procesos con computadoras digitales. La intuición, la comprensión, el aprendizaje no son más posesión exclusiva de los humanos: cualquier computadora grande de alta velocidad puede ser programada para también exhibirlos”.

(Newell y Simon, 1973, 24)

El optimismo en estas técnicas era evidente: sin duda, una mezcla de procedimientos algorítmicos y heurísticos serían suficientes para reproducir funciones mentales. El pensamiento como resolución de problemas era un tema transparente siempre que sea tratable desde la perspectiva atomista de la lógica. Bastaba con diseñar buenos mecanismos de búsqueda y detener la exploración. Pero el cerebro no tiene programas como los descritos.

En síntesis, la IAC se propone lograr que los computadores se comporten de manera que podamos reconocer como inteligentes. Para ello debe especificar:

- a) un medio para manipular símbolos formales en términos de reglas precisas, explícitas e invariantes,
- b) debe acceder a una estructura de datos (representados por sus marcas sintácticas),



c) tener reglas manipuladoras, y

d) debe disponer de un ordenador clásico con un almacén de memoria donde registrar reglas y datos antes indicados, para luego ser utilizadas como rutinas de operaciones sobre otras partes de la memoria.

Para la IAC, la arquitectura del computador clásico permite un procesamiento de símbolos de forma serial. Estas operaciones podrían resultar inteligentes si existiera algún principio lógico racional previamente descubierto. En opinión de Tienson (1987, 361-362) la IAC esconde dos supuestos asumidos: a) “Las representaciones están estructuradas sintácticamente”, y b) que las “reglas formales, precisas refieren a la estructura sintáctica de esas representaciones”. El paradigma de la IAC descansa sobre las propiedades sintácticas de los símbolos y es insensible a la información del contexto.

G. SISTEMAS EXPERTOS:

MODELOS SIMPLIFICADOS ANTE LA COMPLEJIDAD DEL MEDIO

El modelo de IAC había prometido la emergencia de la inteligencia a medio plazo. En los años 60 Simon pensaba que 20 años eran suficientes para que las máquinas absorbieran la inteligencia suficiente para compararse a la humana. El éxito de la IAC tuvo que centrarse en el desarrollo de máquinas parcialmente inteligentes en campos concretos de aplicación comercial. A estas máquinas se les llamó sistemas expertos (SE).

Los SE supusieron la renuncia a construir programas de aplicación universal, de propósito general. La idea es muy simple, basta con construir un programa con una base de datos especializada, sobre un campo concreto: la medicina, el tráfico aéreo, la química, diseño electrónico, etc, y luego un generador de hipótesis. Veamos una definición técnica del tema³ :

“Un SE es una aplicación informática que soluciona problemas complicados que de otra manera exigirían ampliamente la pericia humana. Para lograr esto, se simula el proceso de razonamiento humano mediante la aplicación específica de conocimientos y de inferencias. Internamente, un SE ideal se puede caracterizar como un sistema que comprende:

- Amplio conocimiento específico a partir del campo de interés
- Aplicación de técnicas de búsqueda

³ En “Principios de inteligencia artificial y sistemas expertos”, de D.W Rolston, McGraw-Hill, 1990.



- *Soporte para Análisis Heurístico*
- *Habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos ya existentes*
- *Procesamiento de símbolos*
- *Capacidad para explicar su propio razonamiento”*

En su versión más fuerte, los sistemas expertos son sistemas artificiales que intentan reproducir el conocimiento de un experto a su forma lógica y relacional, y sólo a esta faceta especial, de tal forma que el saber de un experto equivaldría a un conjunto finito de proposiciones claras y ordenadas, y unas reglas deductivas del tipo Si A entonces B, reglas que en IA se les llama de producción. Los sistemas expertos renuncian a la idea de dispositivo de carácter general y propagan en el contexto de la ciencia cognitiva la idea de dispositivos modulares de un solo propósito. Esto es tanto como lograr una inteligencia general mediante el sumatorio de inteligencias específicas. Sin embargo, la renuncia a la capacidad para generalizar datos a partir de elementos incompletos o parciales supone una renuncia a la verdadera inteligencia. Las reglas de producción realizan, o generalizaciones sencillamente inconsistentes con sus modelos o bien, son demasiado elementales. Generalizar, como veremos, es saber desechar información: los programas expertos no tienen criterios para determinar la altura de la generalización.

Otra posibilidad de fabricar máquinas artificiales inteligentes consiste en dotarlas de una base de datos interrelacionada, como el proyecto CYC, "Concise Columbia Encyclopedia" cuyo programa se llama EURISKO de D. Lenat. EURISKO es un usuario de programas heurísticos por los que se modifica y aprende, en parte auxiliado por su creador. EURISKO fue instruido en tácticas de combate naval, y venció en combates simulados frente a humanos e incluso, venció con un cambio de reglas de batalla. EURISKO buscaba analogías, por ejemplo entre diversos dominios, simetrías entre la organización de naves en batalla navales y circuitos eléctricos. Pese a sus mejoras en los esquemas de pensamientos y en el uso de analogías, el programa se encontraba limitado por su pequeña base de datos, en cantidad y en dominios. Por otro lado, una parte de las analogías eran inservibles y requerían de su programador para la selección de alternativas óptimas. Esta máquina manipula símbolos de forma más abierta que sus predecesores, pero requiere de un operario humano que interprete y dé sentido a las combinaciones del computador. La máquina sin interpretación y significado, no es un medio de conocimiento; lo es de información, característica que le une con las máquinas de cálculo aritmético, las cintas de video o los chip de un juguete.

Entender es una función básica para la inteligencia; es el criterio que permite discriminar entre la ignorancia comprensiva de los programas IAC, y la



inteligencia animal. Lenat piensa que la comprensión es una *función resultante de una base de datos* equivalente al sentido común de un paisano. Los datos, hechos, creencias, categorías, relaciones y métodos de resolución de problemas, mas los esquemas de inferencia para dominios específicos (unos 20) pretenden replicar la capacidad de comprensión, elemento clave para generalizar datos. El programa CYC, con su subprograma de analogías EURISKO, renuncia a la lógica como motor del pensamiento, si bien mantiene que sea cual sea la naturaleza y las leyes del pensamiento, tiene que ser una concreción de los PSI. La inteligencia aflora, emerge de la relación entre un mundo de impresiones estable y permanente, el medio natural, y los modos de aprendizaje desarrollados por la evolución para captar esas regularidades. La lógica es una representación formal de aspectos que a veces no tienen relación alguna con el medio, ni con la forma en que los animales lo representan.

3. EL PROBLEMA CENTRAL DE LA IAC: “LA TEORÍA SINTÁCTICA DE LA MENTE ES INCORRECTA”

En el apartado tercero me propongo tratar las deficiencias⁴ de la concepción clásica, que podríamos definir como “la concepción heredada de la inteligencia”. Con este objetivo señalo los seis puntos críticos de la IAC:

1. El problema del Formato de representación. “El programador debe encontrar una representación adecuada de la información para ponerla en forma adecuada a la manipulación simbólica. Habitualmente no está claro por anticipado qué manipulaciones simbólicas serán requeridas y cuáles han de ser los requerimientos antecedentes de la representación”.

2. El problema categorial: “El programador debe especificar un conjunto suficiente de reglas para definir todas las categorías con las que el programa debe tratar. Es difícil ver por anticipado cuáles de estas categorías deben existir en el mundo real, y mucho más definir las”

3. El problema de la explosión combinatoria: “El programador debe especificar por anticipado las acciones que debe tomar el sistema para todas las combinaciones de insumos que puedan ocurrir. El número de esas combinaciones es enorme y crece aún más cuando se tienen en cuenta los aspectos relevantes del contexto. La conducta de los organismos biológicos como sistemas nerviosos reales deviene casi por completo impredecible en tales circunstancias”.

⁴ En la compilación “El nuevo debate sobre la inteligencia artificial”, S. R. Graubard (comp.), 1993, Gedisa.



4. El problema del homúnculo: “Se requieren mecanismos separados para interpretar las hileras de símbolos que produce cualquier sistema formal de procesamiento de información. Las hileras pueden no tener sentido dentro del sistema formal mismo. Pero entonces las propiedades necesarias de la inteligencia están corporizadas en el observador, no en el sistema. Para evitar una regresión infinita, el programador está obligado a especificar todos los procedimientos que debe seguir el observador.”

5. El problema de la adaptación al medio. “¿Puede llegar a existir un sistema programado sin un programador? Los sistemas biológicos inteligentes existen, aunque ellos han evolucionado y no han sido programados, ya sea como especies o como individuos”.

6. El problema de la memoria: “Se emplea una concepción de la memoria lineal que impide que los ítems de información se combinen y reflejen la estructura de las nuevas experiencias, y que obliga a considerar los procesadores como independientes de los sistemas de almacenamiento”.

En el apartado siguiente haré referencia gradual a estos problemas.

A. ALGORITMOS, BÚSQUEDA, HEURÍSTICA Y EXPLOSIÓN COMBINATORIA

Si un jugador de ajedrez simulara pensar igual que uno de los programas de la IAC, y quisiera estudiar todas las posibilidades de una partida “una a una”, tendría que pensar un número inusualmente alto de combinaciones, 10^{120} posiciones posibles, según los cálculos del profesor Shannon. Supongamos que piense una jugada cada millonésima parte de un segundo $1/10^{-6}$, entonces nuestro paciente y animoso jugador tardaría 1029 años en completar ¡una partida normal! Afortunadamente nuestro cerebro trabaja con “otro estilo”.

Por su propia naturaleza formal, los algoritmos son independientes del tiempo y el espacio, no son estructuras evolucionadas para responder en tiempo real. Dado un sistema de cómputo clásico, es posible que el tiempo requerido para resolver un problema complejo se incremente en razón polinómica, o incluso exponencial. La mente resuelve la complejidad atendiendo al significado, al componente no lógico implicado en el procesamiento de símbolos. Conocer es, en cierto sentido, evitar la explosión combinatoria

Es indispensable para entender porqué la IAC ha fracasado, explicar con qué tipo de lógica trabaja el cerebro humano. En las siguientes líneas voy a tratar de exponer que el modo en que operamos no tiene mucho que ver con la concepción sintáctica y lógica de la mente que hemos expuesto en los anteriores apartados.



La inteligencia concebida por IAC responde a un ideal no adaptativo. Para los investigadores tipo Newell y Simon, no se plantea la relación entre los programas y el medio en el que se aplica. No puede entenderse la inteligencia, sin enmarcarla dentro de las demandas del medio circundante a cada especie:

“La variedad de experiencias sensoriales es al mismo tiempo vasta y única para cada individuo. Las categorías mismas no están presentes en el ambiente, sino que deben ser preconstruidas por cada individuo de acuerdo con lo que resulte adaptativo para su especie y para su propia circunstancia particular. La especificación a priori de reglas para la categorización, aplicable a todos los individuos y a todos los contextos, queda anulada por la complejidad, variabilidad e impredecibilidad del mundo macroscópico. Para hacer las cosas peores, las categorías construidas por un organismo no se pueden fijar, sino que tienen que cambiar constantemente en respuesta a las nuevas experiencias y a las nuevas realidades en su parte del ambiente. La única forma en que pueden validarse las categorías construidas de modo individualista es volviéndose a remitir constantemente al mundo a través de la conducta. Sin embargo, una vez que se ha establecido este proceso de categorización adaptativo, el resto de la tarea –la construcción de categorías de orden más elevado, los recuerdos y las asociaciones– se simplifica enormemente”.

(Reeke & Edelman, 1987, 180)

El problema que invalida la IAC es lo que Reeke y Edelman llaman la “especificación a priori de reglas”. No hay forma de que los organismos tengan una gama de conceptos naturales lo suficientemente rica para sobrevivir en un medio cambiante. De alguna forma, que más tarde describiremos, los humanos tenemos que tener un tipo de representación del medio que sea rápido, flexible y productivo, aún a costa de permitir el error. Esta actitud teórica de valorar la relación adaptativa entre medio y los SPS permaneció inédita en la IAC.

Si bien los programas de mueven en un medio invariante, la inteligencia animal, sin embargo, se circunscribe en un mundo concreto y variable. Para explicar este punto, tomaré el ejemplo de Shakey, uno de los primeros robots del investigador Brooks del MIT. Shakey fue creado con programas para orientarse en un medio reducido, un cuarto. Dispuso también de una base de datos con información sobre el espacio y de unas relaciones causa → efecto que le permitieron ejecutar planes que el mismo había computado. El medio del robot es parcialmente inesperado, y él debía de integrar las novedades. Shakey disponía de un modelo del mundo introducido en reglas de producción si → entonces, que



aunque eran ciertamente reducidas, se estimaba que valían para adaptarse a un medio cambiante e inesperado. Shakey fracasaba en su orientación porque no podía actualizar su base de datos en respuesta de la complejidad del medio ultra simplificado. Parece claro que hace falta unas estructuras organizadoras del conocimiento.

B. LOS ESQUEMAS MENTALES: UNA VISIÓN DINÁMICA Y ADAPTATIVA

La inteligencia necesita del medio natural, y no es posible con SPS, con programas ciegos al contexto e insensibles a él. La manipulación de información tiene que estar condicionada desde el nacimiento por el medio. La reglas lógicas son un sueño de la razón y un imposible para la ciencia cognitiva.

Una línea argumentativa que pone en una difícil situación a la IAC, es la de que los programas formales no producen una auténtica comprensión de la información. De esta forma, damos un paso más en la argumentación y sostenemos que en la auténtica comprensión cognitiva está involucrada una base de datos interrelacionada equivalente al sentido común.

Como hemos indicado en numerosas partes, el programa de la IAC, la inteligencia es un proceso guiado por reglas explícitas, ha sido igualmente puesto en duda. Las reglas son por su naturaleza insensibles al contenido. Para resolver esta cuestión tendremos que esperar a los modelos de IAX y a los estudios puntuales sobre la arquitectura cerebral. Esta revolución se mide el esfuerzo por superar las posiciones localistas de los sistemas expertos, que perciben micro-mundos aislados. Los nuevos modelos de IA deberán superar el error logicista superando la cortedad adaptativa de SPS, proporcionando teorías realistas sobre la memoria, y su organización del conocimiento. Llegados a este punto, es importante desarrollar algunas ideas puntuales sobre cómo está estructurado.

¿Es lógico el pensamiento humano?. La respuesta es que las capacidades mentales son más amplias que la lógica, e incluso que son parcialmente ilógicas. Para contestar a esta pregunta, expondremos un experimento realizado por el investigador cognitivo Johnson-Laird y el psicólogo P. Wason.

Las cartas tienen una letra por un lado y por el otro un número. El lector tiene que buscar cómo confirmar la regla de "SI HAY UNA VOCAL A UN LADO, ENTONCES HAY UN NÚMERO PAR EN EL OTRO". El problema, planteado por Wason, se soluciona en una comunidad universitaria con un porcentaje del 90% de estudiantes y profesores que levantan la carta 'E'. Sin embargo, la solución segura del problema sólo se produce si se levantan las cartas 'E' y '7' juntas. La primera opción, sólo cubre el 50 de probabilidad; la segunda es verdadera al 100%. Pero la lógica real no es la lógica del pensamiento. En expe-



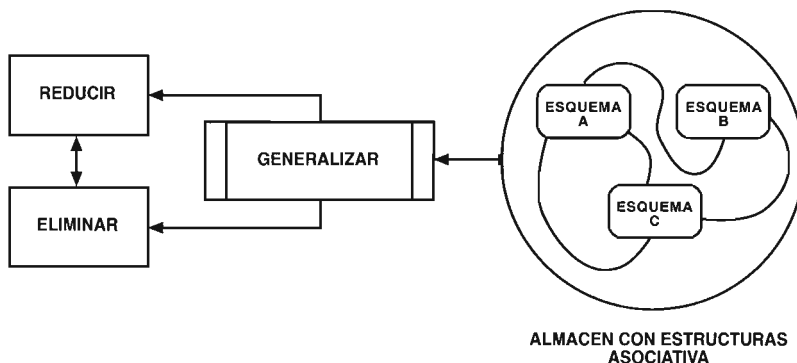
rimientos semejantes, Johnson-Laird llegan a la conclusión de que los componente deductivos son una tendencia menor en el pensamiento humano. La búsqueda de inferencias causales abarca un abanico más extenso de modos relacionales.

La primera de las estructuras cognoscitivas que satisfacen estas dos condiciones -un estilo flexible y tolerar información fragmentaria- fue la T.^a de los ESQUEMAS MENTALES de D. Rumelhardt en 1980. Según explica el autor, el conocimiento está organizado en inter-relaciones temáticas, y la mente emplea esos esquemas para organizar dinámicamente la información. Los esquemas funcionan como integradores de nueva información y predictores de acontecimientos futuros a partir de datos parciales.

Los esquemas no buscan posibilidades como lo haría un recurso lógico. Seleccionan la información que esté en armonía con su propia *versión del mundo*. Cuando los esquemas impulsan el pensamiento, pueden propiciar una información totalmente engañosa, o bien resolver bien su trabajo.

Estos modelos sugieren que la memoria no es una capacidad unitaria, ni pasiva; es una capacidad resultante de nuestras activaciones en un momento dado. Tener una memoria no es disponer de datos sobre el pasado, sino aplicar esquemas previos sobre el presente. La memoria, es para Rumelhardt una red de organizaciones esquemáticas estables y modificables. Ellas son empleadas para codificar la información nueva, para atribuir sentido e información incompleta con la que se enfrenta el organismo.

Esta visión dinámica de la organización mental, contrasta drásticamente con la idea de reglas y algoritmos explícitos. Los esquemas no explícitos no garantizan el éxito total. Los organismos estamos sometidos a condiciones donde en el mejor de los casos hay "certidumbre parcial". Si nuestros esquemas son competentes actuaremos con garantías. Los sistemas cognitivos asumen riesgos para compactar la información de baja calidad del medio. Como nos afirma Campbell, "*La información perfecta no es natural*". (1991, p. 220)





Los ESQUEMAS MENTALES evitan la explosión combinatoria de la que hablamos al comienzo del apartado. Para ello hay que copiar la forma en que el



cerebro integra la información, con independencia de su longitud. La consideración de opciones de un simple caso de reconocimiento visual puede suponer un salto combinatorio para los computadores clásicos. La mente resuelve la complejidad, que atienden al significado, al componente no lógico implicado en el procesamiento de símbolos. Conocer es evitar la explosión combinatoria por el significado de las representaciones mentales.

La memoria no es exclusivamente “dar sentido” o “interpretar señales”. Entre las funciones de los esquemas –estructuras semánticas que constituyen la memoria– nos encontramos con la de poder planificar las acciones, por lo que la inteligencia no es una capacidad sólo comprensiva, además, tenemos que considerar los aspectos pragmáticos en el medio.

Dota de pertinencia a la información pero no elimina todas las ambigüedades del medio. El significado de un cuadro de estímulos es una reconstrucción parcial en la que está implicado toda la red de conexiones; no es posible la traducción literal del medio a la mente consciente. La inteligencia asume riesgos. Sin embargo, ¿cómo pueden los esquemas seleccionar la información y generar de ellos respuestas fiables? La respuesta a esta pregunta no será posible hasta explicar las redes neuronales.

Los esquemas permiten acomodar la información en prototipos previos. En este sentido, la prototipicidad es uno de los rasgos notorios de la mente humana y del resto de mamíferos superiores: pensar reduciendo la variedad infinitas de sensaciones a prototipos previos es una condición imprescindible de la inteligencia. Cada esquema, equivale a una categoría natural, y como tal, representa a una clase de objetos y relaciones del mundo.

El aspecto que más nos interesa destacar es que los organismos estamos inmersos en un medio *del cual extraemos información fraccionaria del mundo, y que por nuestra constitución como procesadores atribuimos a una categoría prototípica*. La inteligencia mide la eficacia con la que lo hacemos. En la memoria disponemos de estos TIPOS IDEALES que se aplican a cualquier CASO POSIBLE. La comprensión requiere en su primera parte de la asignación de los eventos a modelos conceptuales y dentro de ellos adquiere una basta red de conexiones. Los modelos mentales resumen toda la experiencia vital de los sujetos.



Es destacable igualmente que los esquemas tienen una competencia gradual y los comparamos con los razonamientos lógicos y matemáticos. La vida mental está pendiente de seleccionar, y luego busca congruencia cognitiva con lo que ya existía en la memoria. No establece verdades universales. Posiblemente, un sistema con verdades universales y abstractas no sería adaptativo, seríamos como Shalley.

Los esquemas mentales no son pues como las ideas de la lógica, no tienen límites ni contornos claros y precisos. En la lógica, las categorías son tipos ideales (platónicos), pero en la mente, los esquemas tienen una aplicación borrosa, nos permiten anticipar y prever acontecimientos; pero no hay que perder de vista que como unidades de inferencia, de identificación, no siguen el frío cálculo lógico. Son simplemente los modos de proceder del cerebro humano.

Los estímulos se reducen por la intervención de un conjunto pequeño de esquemas. En las versiones de IAX, los dispositivos cognitivos se caracterizan por tener una economía de elementos. Se intenta reducir la complejidad del medio para poder darle sentido. Es una de las claves de la inteligencia natural. Hasta ahora hemos planteado que la inteligencia está vinculada con las estructuras organizadoras del conocimiento. Eliminar y reducir son esenciales para la emergencia de la inteligencia natural. Pero no son la operación central de la cognición. Para eliminar y reducir la información a unos cuantos ítems es necesario la intervención una capacidad única, SABER GENERALIZAR: pasar de datos múltiples a un dato completo; para ello, el cerebro tiene que eliminar (seleccionar sólo que bits de información) y reducir (situarlos en una estructura comprensiva). Los humanos, es posible que los mamíferos superiores también, generalizamos porque disponemos de una “trama de creencias”, de una memoria asociativa, donde las deficiencias de un esquema se compensan por la activación compensadora del resto. Todo vale antes que bloquearse.

Es imposible tener comportamientos inteligentes sin comprender la información. Los datos deben ser asimilados por la red de esquemas mentales. Para ejemplificar este caso trataremos del caso de la comprensión lingüística. Entre 1968-1972, el profesor T. Winograd creó un programa de comprensión lingüística llamado SHDRU, una variante experta de sistemas expertos dedicado al lenguaje y su integración con la acción. SHDRU podría obedecer órdenes con un brazo mecánico sobre los objetos de su reducido hábitat que se forma de objetos geométricos de colores. Es capaz de responder a preguntas sobre las acciones realizadas por él mismo. Winograd pretendía establecer relaciones entre secuencias del lenguaje y las acciones. Pese al afán por crear un programa algorítmico profundo que afectase a los significados, Winograd acabó asociando la estructura gramatical de la frase y las acciones mecánicas. SHDRU actuaba fuera del contexto comprensivo si la estructura sintáctica de la oración era de una



clase extraña pare él. No existía una verdadera comprensión del lenguaje. Su punto fuerte consistía en relacionar la vida mental con las acciones del sistema: "Existe un importante germen de verdad cuando se afirma que el significado de una oración es el proceso que evoca". La capacidad de comprensión vendría dada por la organización interna de la información en forma de esquemas, lo que llamó "el contexto interno conocimiento" y SHDRU no disponía de él.

C. LA MEMORIA: UNA APROXIMACIÓN A LAS T.^a CONEXIONISTAS

"Deseamos reemplazar la 'metáfora del ordenador' por la 'metáfora del cerebro' como modelo de la mente"

(Rumelhardt, 1991, p.110)

Las personas estamos acostumbradas a pensar que la memoria es un almacén perfectamente localizado en un espacio físico concreto. Esta idea es errónea. El problema es que la IAC ha asumido esta suposición. Ya hemos dicho que en la memoria hay esquemas, estructuras interpretadoras. Hemos constatado que está organizada asociativamente. No existe significado literal e invariante dentro de esa red de conceptos

A partir de los años ochenta se desarrollan nuevos modelos (CONEXIONISTAS O RED NEURONAL) que toman como metáfora el cerebro, la arquitectura del cerebro humano. Se trata de modelos inspirados en la biología, en las neurociencias. En los modelos conexionistas IAX, se elimina la lógica como factor y se destaca el papel activo de la memoria, considerada ahora desde UN ENFOQUE DINÁMICO Y DISTRIBUIDO. No tiene sentido tratar de localizarla en áreas muy específicas. Las teorías clásicas de la memoria tomaban la memoria como "una cosa", una entidad psicológica concreta, o si se prefiere como "un órgano".

La IAC había tomado como punto de partida la concepción de J. Von Neumann que, junto con Turing, pensaba que la memoria era equivalente a una cinta infinita. Así pues, son los primeros en concebir una máquina de propósito general. Hacia 1945 V. Neumann, ya había asimilado la idea sobre la anatomía de las futuras máquinas pensantes. En ella, la memoria era un mecanismo que concentraba unidades de información de forma digital. Este sistema mnemético se vería completado por otro sistema: el dispositivo de control lógico separado de la memoria e independiente de él. Este supuesto, el que los procesos de memoria son independientes de los procesadores tuvo dramáticas consecuencias para la concepción de la IA en general. Llamaremos a este supuesto la CONCEPCIÓN DIGITAL DE LA MEMORIA. Según V. Neumann, el procesador es



una serie de circuitos lógicos, que procesa serialmente los datos almacenados en la memoria, siguiendo instrucciones precisas y exhaustivas. La información tratada ocupa un lugar físico en la serie almacenada, y este será su principal rasgo.

Nuestro conocimiento de la memoria es en la actualidad distinto. Como veremos más adelante, es posible poner en duda los anteriores supuestos: a) que la memoria sea algo parecido a un órgano y, b) que no existe un procesador de propósito general equiparable al procesador de un computador. Pasemos a describir cómo es posible.

4. LOS MODELOS CONEXIONISTAS (IAX)

A. UNA ALTERNATIVA AL PARADIGMA CLÁSICO

Existen en nuestro cerebro multitud de unidades llamadas neuronas que trabajan masivamente; agrupadas en redes según las conexiones con otras unidades. El cerebro se distribuye las tareas a lo largo de las redes neuronales que pueden trabajar en paralelo, simultáneamente. Pueden trabajar en armonía o competitivamente.

Cada una de estas unidades no es inteligente; aisladamente, sólo recibe señales de unas unidades y luego las propaga. Las señales no son iguales para las unidades neuronales, tienen un peso, un valor de ponderación que indica si la señal es fuerte (excitatoria) o débil (inhibitoria). De esta descripción no debe extraerse como consecuencia que la red neuronal se desenvuelve localmente. Lo importante de un sistema conexionistas no está en el funcionamiento de neuronas o redes aisladas, sino el **funcionamiento global del sistema**. Todas las propiedades del sistema emanan del complejo sistema de redes neuronales.

En un sistema conexionista **toda la información está distribuida en la red**, no existe localmente, no se le designa una ubicación lógica, ni semántica. UN DATO ES UN PATRÓN DE ACTIVIDAD y éste es el resultado, un estado concreto de activaciones e inhibiciones del sistema en su conjunto. Si hemos comprendido lo anterior, es posible asimilar que el conocimiento tiene una existencia diseminada por la red entera. Pero es importante hacer una precisión: mientras no se activen los patrones, sencillamente no existe como entidad psicológica, *“tiene una existencia casi fantasmal”*, no está presente en ningún lugar del sistema. En este sentido se puede afirmar que el *“conocimiento es la actividad del SNC”*.

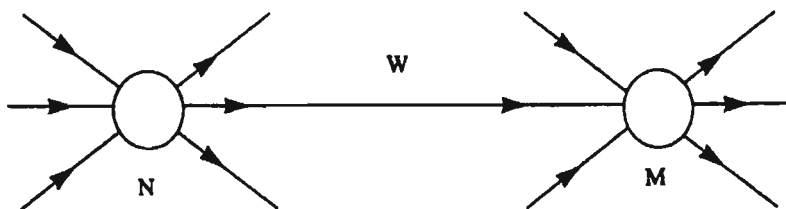
Explicaremos en detalle estas ideas. Para ello seguiremos dos textos clásicos: el de Tienson (*“Una introducción al conexionismo”*) y el del grupo del PDP (D. Rumelhardt, J. McClelland, G.E. Hinton, y T. J. Sejnowsky: *Introducción al*



Procesamiento Distribuido Paralelo); ambos de referencia obligada en este tipo de trabajos.

El conexionismo considera que una red de procesadores simples (neuronas o modelos artificiales de ellas) puede como conjunto exhibir comportamientos o procesos inteligentes. Explicaremos con brevedad que es una red multicapa, la más frecuente de las redes en la actualidad. Las redes disponen de:

(A) **Las unidades procesadoras**, neuronas simples, se conectan entre sí como respuesta a la información de entrada (Insumos) y a las siguientes variaciones de estos datos sensoriales. Una neurona oculta puede recibir conexiones directas de un número amplio (menos de medio centenar) de otras neuronas sensoriales o del mismo tipo. Existen tres tipos de unidades: **entrada** (inputs), **ocultas** (interneuronas), **salida** (outputs). Las neuronas ocultas no tiene relación con el medio en el que se desenvuelve la red.



(B) **Las señales** son variaciones discretas o continuas eléctricas en el caso de las neuronas artificiales, o bien electroquímicas, en el caso de las sinápsis biológicas. Siempre que la neurona está activa, **las conexiones pueden variar su intensidad**, propiedad conocida como pesos o fuerza. Una conexión alta es análoga con una instrucción excitatoria o de disparo, y por el contrario, una señal débil es equivalente a una instrucción inhibitoria en una neurona real. El modelo puede ser representado como:

La fuerza se registra como pesos (W de weight) de conexión que varían en función de la intensidad del output de 'N' y del historial de conexiones entre ambas neuronas; a más conexiones más fuerza. El nombre por el que se conoce el mínimo valor de conexión es resistencia ('0' en redes digitales, o '-1' en redes analógicas).

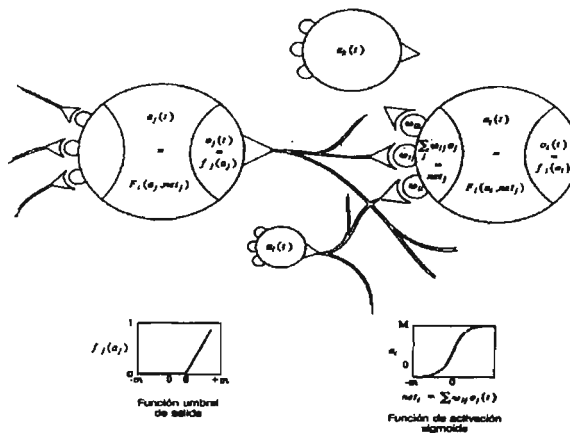
(C) Las redes neuronales adquieren estados estables siempre que exista una **configuración regular** de las activaciones neuronales y sus pesos. Cada neurona covaría según el estado global del sistema, de tal forma que un cambio en el sistema suponga un readscripción de su papel local. Las redes varían en función de la experiencia real a la que se somete a la red; son pues, por definición, permeables al medio.



Las redes extraen sus propiedades organizacionales desde fuera del sistema. Cuando la red **ha configurado un patrón de conexión estable** entre los tres tipos de neuronas entonces la red se vuelve selectiva o mejor, inteligentemente selectiva, a los estímulos que provocaron el ajuste. Aún no sabemos cómo logra responder a la información del medio con una configuración precisa. Pues bien, los patrones se estabilizan siempre que las salidas motoras del sistema sean adecuadas. Los insumos (señales informativas detectadas por la neuronas sensoriales) *se propagan* por toda la red multicapa “hacia dentro”. Al principio la red aporta valores al azar pero, poco a poco, después de un número corto de exposiciones al mismo estímulo, el sistema fija un patrón de conexión.

El Procesamiento en Paralelo es el encargado de establecer los patrones y sus asociaciones. Según Rumelhardt, Hinton y McClelland, es importante caracterizar las redes desde las siguientes consideraciones formales:

1. *Conjunto de unidades de procesamiento* $[u_i], [u_j]$
2. *Estado de activación.* $[a_i(t)]$
3. Una *función de salida* para cada unidad $[o_i(t)], [f_i]$ con $[a_i(t)]$
4. Un *patrón de conexión* entre las unidades (matriz de pesos W_{ij})
5. Una regla de propagación para propapar patrones de actividad de la red de conexiones $[Net_{ij}], [Net_e = W_e o(t)],$ y $[Net_i = W_i o(t)],$



6. Una *regla de activación* para combinar las entradas que afectan a una unidad con el estado actual de esa unidad, de forma que produzca un nuevo nivel de activación para la unidad.

7. Una *regla de aprendizaje* por la cual los patrones de conexión son modificados por las experiencias.

8. Un *ambiente* dentro del cual debe operar el sistema.



El punto crítico del comportamiento de las redes es eliminar aquellos pesos iniciales que coinciden con salidas erróneas. El sistema se reajusta siguiendo un criterio de minimización del error capa a capa de la red. Los pesos que contribuyen al error son “callados” por las voces amplificadas de los valores correctos. Esta evaluación minimizadora de los pesos negativos se realiza en función de la retropropagación. El sistema propaga los insumos y causa estados de conexiones. La retropropagación equilibra el sistema en función de su éxito. Sin embargo aún no se explica cómo evalúa el sistema que ha tenido éxito; ni tampoco cómo unidades concretas son alteradas para ganar crédito.

Esta es la forma en que una red aprende conceptos, elabora categoría naturales sobre su entorno. Las redes almacenan contenidos sobre el mundo, pero convendrá aclarar que la información aprendida no existe hasta que el sistema las activa como he mencionado antes. Sobre este punto hablaremos más tarde. Los patrones son descritos en los sistemas de redes como ejemplos de **codificación gruesa**. El papel de cada nodo en la red es, por el contrario, una **codificación fina** de la información. Un mismo nodo puede responder a diferentes patrones de actividad.

Las redes compiten por la activación y están en competencia por consumir una “interpretación y comprensión” de la información que le llega. *La pugna por subsumir los insumos (“entradas” en la terminología de redes) no sigue una lógica fuerte, característica de los sistemas simbólicos; más bien, se parece a un ligero, pero continuo modelado*. El ganador toma el dominio sobre todo el sistema, sólo después de un “*infinitesimal centelleo*” de la red porque demuestra ser más operativo en el procesamiento de competición. En otras ocasiones, la actividad puede ser cooperativa, como el caso de combinación de varios patrones. La cognición es un proceso débil, un mecanismo donde los resultados son productos de la adición de *microdecisiones*. Así podemos entender porqué la posición de la lógica clásica yerra, es un nivel de análisis demasiado brusco.

Las fuerzas de conexión forman el patrón que determina la cantidad de información y conocimiento que es operativa en la red. El sistema neuronal asienta las configuraciones más eficaces sin recurrir a reglas explícitas, y lo mejor es que lo hace de forma natural.

Se podría decir que evolución ha desarrollado redes neuronales como procedimientos, según McClelland (1989) “*como procedimientos para reducir la discrepancia entre los acontecimientos esperados y los observados*”, en el sentido que hemos dado cuando explicamos los esquemas. Se representan hipótesis que se producen por un balance entre estados inhibitorios y excitatorios sobre un dominio de experiencias. Estas hipótesis pueden funcionar como un patrón y completar el modelo por la abstracción de datos, (inhibición competitiva) o incluso asociar patrones.



Las redes tienen capacidad para asumir una cantidad de error, lo que llama al grupo del PDP, “una *“distorsión elegante”*, la clave misma del aprendizaje y la generalización humana:

“... , el aprendizaje debe consistir en encontrar las fuerzas de conexión adecuadas, de tal manera que se produzcan los patrones de activación adecuados en las circunstancias adecuadas. Esta es una propiedad extremadamente importante de este tipo de modelos, ya que abre la posibilidad de que, mediante el reajuste de sus conexiones, un mecanismo de procesamiento de la información pueda aprender a captar las interdependencias que existen entre las activaciones a las que se ve expuesto en el curso del conocimiento.”,

(Rumelhardt, Hinton, 1992, 67)

Es perfectamente posible aprender sin la formulación de reglas explícitas encargadas de generalizar dentro de sus límites. Esas reglas son innatas. En el modelo de IAX, aprender es exponer a la experiencia, y modificar los pesos de la red según casos concretos, no según reglas lógicas. Es el medio quien impone la estructura de los pesos al sistema cognitivo, reglas expertas. La estructura sensible y cambiante, no debe ser considerada un primitivo lógico, sino un montón de elementos subsimbólicos: unidades finas que son activaciones concretas y sus nodos, (la configuración fina que hemos referido antes). Según Rumelhardt y McClelland:

“La perspectiva básica de este libro es que muchos de los constructos incluidos en las descripciones de macro nivel, como los esquemas, los prototipos, las reglas, las producciones, etc., pueden considerarse emergentes a partir de las interacciones de la microestructura de los modelos distribuidos” (157)

B. LA ORIGINALIDAD DEL CONEXIONISMO: SÍMBOLOS Y SUBSÍMBOLOS, ESTRUCTURAS Y MICROESTRUCTURAS

*“Nuestro cerebro cambia como una **aurora boreal**, todo su equilibrio interno se altera con cada pulsación de cambio. La naturaleza precisa del cambio, en un momento determinante es producto de muchos factores”⁵* *(W. James)*

⁵ Esta bellísima metáfora la he tomado prestada del libro de Campbell, en un capítulo titulado “Suaves Abismos”, en el que el lector podrá encontrar una sugerente la aproximación al tema. Sin embargo, he de advertir que la posición del profesor Campbell en lo referente al papel de la conciencia no es compartida mayoritariamente por los especialistas en IAX, entre ellos por Smolensky, Watt, o Sjenowsky.



Los modelos conexionistas suponen una concepción novedosa y original. De sus principios teóricos aflora una visión sistémica perfectamente naturalizada, acorde con los principios de la ciencia más estrictos y experimentales; podría tratarse un organicismo acorde con la ciencia.

Entre sus novedades conceptuales hallamos la **concepción del contenido**. Si recordamos, en la IAC, la información es almacenada como una porción de símbolos en posiciones de memoria. Se trata de una serie de símbolos direccionados en un sistema en virtud de sus propiedades, en concreto de lugar que ocupan dentro de una serie ordenada. Cuando un programa de inteligencia artificial está operativo, decimos que una parte de esta información ha sido recuperada y en virtud un código sintácticos son reglados por el procesador central. La creencia popular de que mientras no usamos la información se halla almacenada en lugar, debidamente “etiquetada” para su recuperación es coincidente con los modelos IAC, tal y como hemos visto antes. En conclusión: para IAC la información depende de estructuras sintácticas previas, la información está estructuradas en un nivel simbólico que permanece aún cuando no se usa, como si se tratase de los productos de un supermercado cuando cierra sus puertas.

Para la IAX el tema es bien distinto a como se lo plantea la IAC; de hecho estamos ante un planteamiento revolucionario de la naturaleza de las experiencias mentales. La información ocurre cuando se activa un patrón de activación; podríamos decir que emerge entre las características tipográficas de la red activada. ¿Qué ocurre cuando no está activada la red? Pues que no existen los datos, no hay símbolos, sólo las activaciones completas funcionan como símbolos y sólo en algunos casos como símbolos conscientes. Sólo hay unidades subsimbólicas, cosas como neuronas y conexiones, sin contenido estricto. La información no tiene ninguna estructura sintáctica universal en la que se codifique y almacene, no depende de alguna “gramática del pensamiento”; es una respuesta ordenada de la red. En una supuesta representación topográfica, la información sería el producto vectorial de esa una función. Los miembros del PDP afirman que “... casi todo el conocimiento está mas bien implícito en la estructura del dispositivo que desarrolla la tarea”.

¿Tenemos que seguir esperando el advenimiento de la inteligencia del arte de programar? La respuesta es clara: no. No es necesario utilizar programas y luego proponer tantas reglas de búsqueda heurística como casos especiales. No es posible cubrir con programas IAC todas las posibles transgresiones. Hofstadter, nos indica al respecto:

“Ahora bien, es posible idear un lenguaje de programación –y un programa que lo traduzca a niveles inferiores– que permita cierto género de imprecisiones. Una forma de plantear esto sería decir que un tra-



*ductor de aquel lenguaje de programación tratará de encontrarle sentido a elementos que han sido elaborados "fuera de las reglas del lenguaje". Sin embargo, si un lenguaje permite algunas 'transgresiones', éstas ya no lo son cabalmente, puesto que han sido incluidas en las reglas! Si un programador sabe que puede cometer ciertos errores de deletreo, le es posible entonces hacer uso deliberado de aquel rasgo del lenguaje, pues sabe que está operando, en realidad, dentro de las rígidas reglas del mismo, pese a las apariencias. **En otros términos, si el usuario está enterado de todas las flexibilidades programadas, para su conveniencia, en el traductor, conoce entonces los límites que no puede rebasar y, en consecuencia, el traductor se le aparecerá todavía como algo rígido e inflexible, a pesar de que le permite una libertad mucho mayor que las primeras versiones de lenguaje, las que carecían de "corrección automática de errores humanos" (1989, 332).***

No es posible programar una ley flexible, ni flexibilizar un ley infalible. Y esto es así por que no existe una frontera delimitable entre la memoria y la capacidad que tenemos los humanos para hacer inferencias. Las redes neuronales administran la información, bien activándose a unas condiciones previas, bien medicándose si la información es novedosa. Parecen ser dos aspectos del mismo elemento, las estructuras cognitivas en forma de red. Las redes funcionan en paralelo, no en serie. El funcionamiento compartido por la totalidad del sistema implica que una representación concreta; por ejemplo, la percepción del rostro de cualquiera de los presentes en este "Seminario de la Ciencia" es el resultados de *un número grande de restricciones aportadas por cada red implicada*. No existe restricciones absolutas en la mente, pero si el de la lógica matemática. La capacidad total de activación aprendida es la memoria a largo plazo, La capacidad de trabajos corresponde con los patrones activados.

Los mecanismos inferenciales humanos, a los que se ha llamado "la razón", desprenden conjunto de suaves restricciones que las de redes implicadas someten y sincronizan paralelamente. Estas constricciones del sistema son automáticas y espontáneas, fuera del control voluntario. La red se comporta como un maya que se moldea según el sistema concreta hipótesis fiables. Pueden ocurrir que diferentes interpretaciones compitan por salir, cada una emanada de subsistema de redes completos que entran en conflicto. Estamos ante una posible representación ambigua, pero la ambigüedad es un rasgo típicamente humano.

La inteligencia, el pensamiento, los modos pasionales en los que se muestra el razonamiento, son una emergencia del conjunto de unidades simples, "un



pelotón de simples”, como los llama R. Ornstein⁶, que interactúan recíprocamente. El sistema cognitivo humano es la resultante, la síntesis funcional, de una gran cantidad de dispositivos elementales. Cada uno de ellos procesa, y los efectos se integran en la actividad del conjunto. Una síntesis de actividades locales, microactividades que secretan una totalidad de funciones capacitadas para tener propiedades mentales.

Los niveles superiores de la vida mental (arriba) están determinados por los niveles inferiores (subsimbólicos o abajo). Esta dicotomía entre funciones mentales, consideradas globalmente, y los microfunciones de las redes son una división heredada de la distinción *software* y *hardware*. Los científicos cognitivos clásicos pensaban que era posible captar las leyes de la mente atendiendo exclusivamente a un lenguaje de alto nivel, como por ejemplo la psicología popular y en otro sentido, el psicoanálisis, la frenología o el vudú. La psicología computacional, ha acabado con los símbolos, con los lenguajes omnicomprendivos.

¿Cuál es la arquitectura conexionista? El modelo llamado de “SOCIEDAD DE LA MENTE”, de M. Minsky. La mente computacional ha de estar compuesta por una asociación de módulos organizados de forma heterárquica. Los módulos tendrán un dominio corto, hablarán al sistema de datos muy especiales que se integran, o influirán en otros módulos. Más que “UNA MENTE DEL EMPERADOR” de la que habla Penrose, estamos ante “UN ORÁCULO DE ALBAÑILES”.

La creencia en un nivel alto de explicación, perfectamente autónomo, es una de las máximas del IAC. En este nivel, según Smolensky⁷, las reglas tienen la apariencia de ser duras, del tipo “si X entonces Y” por ejemplo: ¡si me matas te mato! Estas reglas operan como restrictores fuertes de la inferencia. Por el contrario, la IAX, que como hemos visto, mantiene una perspectiva abajo Æ arriba es un nivel de descripción subsimbólico que domina. La lógica que opera es débil, blanda, borrosa ya que el conocimiento es una actividad resultante de infinitesimales limitaciones, es el sumatorio de restricciones suaves. Para la IAC, el nivel alto, el verbalizable, es el resultado causal de los ámbitos micro. En esta escala micro, las operaciones neuronales están controladas por procedimientos estadísticos. Una inferencia estadística produce niveles de certeza sólo probables, una especie “de casi”... , “parece que...”, “es posible que.... ”

⁶ Se trata de un fascinante libro sobre temas de neurociencia: “La evolución de la conciencia” 1994.

⁷ El lector especializado puede buscar más información sobre esta idea en “La estructura constitutiva de los estados mentales conexionistas”, en “Filosofía de la Mente y la Ciencia Cognitiva”, E. Rabossi (comp.), Paidós, 1995. El artículo original es de 1987.



Esta idea de suaves restricciones ha sido experimentada por dos miembros de investigación del PDP, Sejnowsky y Rosemberg. La máquina conexionista se llama NETTALK. El programa no tiene reglas sintácticas explícitas. Funciona comparando textos con sus expresiones acústicas. Diseñada para leer un texto en inglés, aprendiendo a partir de ejemplos suministrados por su entrenador, a cada caso concreto de procedencia humana, el programa balancea sus conexiones internas para fijar el patrón acústico. En una noche NETTALK aprendió por sí sola a hablar inglés; sólo necesitó un entrenamiento de 4500 casos para lograr aprendizaje de datos visuales y sus correspondientes pronunciaciones. Las habilidades parlantes del programa son una clara ejemplificación del poder de gradientes suaves, de la ausencia de reglas explícitas. El cerebro trabaja sobre restricciones masivas, en masas, sencillamente cuentan las activaciones para cada insumo, en cada área, simultáneamente en diferentes lugares.

Un manipulador de símbolos no podrá emular a la lógica subsimbólica; es más, la apariencia de restricción fuerte no debe de ser considerada más que como un efecto, un epifenómeno de millones de restricciones leves. La computación, los cómputos de las redes, no son los mismos tipos de unidades gruesas que proponen los investigadores de la IAC. La clave está en el tipo de hardware.

Por otro lado, la irrelevancia del hardware, la máquina descarnada o virtual de la IAC, el dispositivo físico, es irrelevante siempre y cuando sirva de soporte para el procesamiento de símbolos (modelo V. Neumann) y admita el direccionamiento de ellos en un sistema físico de memoria. La IAC considera que la máquina universal operaría en el nivel superior; el nivel simbólico describible en términos lógicos. Para éstos son irrelevantes los fundamentos subsimbólicos, como hemos visto. Por consiguiente, dado que los modelos clásicos inspirados en V. Neumann, toman la resolución de problemas como actividad psíquica dominante, y la lógica "como la manera más natural" de segmentar los problemas en subproblemas, y éstos en un nivel de concreción aún mayor, la IAC se ve abocada a una psicología de los estados conscientes, ordenada y segmentada en proposiciones lógicas. Aquí podemos observar *la estrategia cartesiana de descomposición y composición*, que es un reduccionismo de las entidades a sus elementales lógicos. En la IAX, el tema se invierte, el manipulador de símbolos no es más que un reflejo, murmullo de colegiales en el recreo, los ruidos del tráfico; no es más que una imagen ampliada de diminutas redes neuronales.

Resumiendo, **conocer es percibir**. No se acota al paradigma de la resolución de problemas, paradigma imperante en la psicología de los años 50. Posiblemente, los sistemas expertos aporten una dimensión práctica sobre tareas que requieran un dominio específico; pero desde la perspectiva de las funciones mentales, la IAC no supone un modelo plausible. Sin embargo, en la IAX la tarea se vuelve a invertir, pero hasta ahora el nivel de eficacia tecnológica apli-



cable al mercado es bajo, aún están aprendiendo a reconocer, percibir, detectar y solucionar problemas en el medio. En la concepción cognitiva desde la percepción, los agentes cognitivos evolucionan, adquieren competencias a lo largo de su contacto con el mundo, fuente de información y varianza. La percepción en el mundo real, no en un ámbito debidamente simplificado y ordenado por el investigador; más bien es un mundo caótico al comienzo, que la máquina pensante va ordenando, va estableciendo regularidades plasmadas en las conexiones, como el hilo de Ariadna que va delimitando los contornos ocultos del laberinto.

Conocer es producto de un conjunto masivo de activaciones que sufre restricciones leves. Estas activaciones disparan zonas más amplias que entran en competencia por captar el máximo número de disparos dentro un patrón congruente que fue aprendido en el pasado. Estas áreas locales entran en una fase de síntesis en las que completan los estímulos interpretados y determinan la interpretación dominante. En la IAX, la lógica operante en los procesos se caracteriza por moverse entre bloques completos de ambigüedad que se van concretando de abajo a arriba. El patrón total de actividades actúa como un esquema del pensamiento. Es una búsqueda de congruencia desde la ambigüedad.

Es importante destacar la idea que los esquemas mentales, las redes activadas, *no son idénticas en cada momento que se activan*. Varían en su contenido en función de las demandas y condiciones concretas en cada momento. No existe nada parecido a un esquema en abstracto. Tampoco existen Ideas en sí, átomos de conocimiento; esto supone el fin de términos como RACIONALISMO Y ESENCIALISMO.

Este punto de vista tiene unas implicaciones impresionantes en el contexto del pensamiento occidental. La filosofía como epistemología, la psicología racional y la matemática de toda índole, han descrito los procesos de conocimiento como si fueran una amalgama de proposiciones aisladas a las que se les puede aplicar un proceso de justificación por entero lógico. La existencia de una idea es inferencia deductiva de otras. Toda idea es, al final de su contexto lógico, o verdadera o falsa, separadamente de su relación con el mundo. Todo esto queda reducido a un contenido de conciencia, sin armadura que la proteja, sin facticidad.

C. HISTORIA DE LOS MODELOS ORGANICISTAS EN IA.

En este apartado haré referencia a los principales modelos conexionistas.

MCCULLOCH, W Y PITS, P. 1943:

Se trata del primer modelo conocido donde los investigadores intentan reducir la lógica a un caso especial de estratos neuronales. Las actividad de las redes



neuronales, como las llaman, se identifican con la lógica de proposiciones y sus leyes. Aplicaron modelos matemáticos inductivos ejecutables por dispositivos de unidades procesadoras que podrían ejecutar operaciones compatibles con la lógica matemática. Si un acontecimiento es representable como una serie de símbolos formales finito es perfectamente posible asimilarlo en un red formal (modelo llamado MP). Las redes con unidades MP requieren “la aplicación recursiva de reglas”. En este sentido defienden con la IAC que las operaciones sean descritas en términos de operadores lógicos. Las activaciones siguen intervalos constantes (modo de trabajo sincrónico). Se trata de un desarrollo teórico en la línea de una máquina de Turing.

El estudio de estas redes formales, llevó a la conclusión a V. Newmann de mejorarlas mediante la introducción de activaciones sincrónicas de las neuronas, abandonando la noción de todo o nada de los lenguajes binarios. A estos modelos se les llama MP redundantes y eliminan el problema conocido como no confiabilidad del sistema.

La siguiente modificación se debe a Winograd y Cowan (WC), que fueron los primeros en introducir representaciones distribuidas: un bit de información equivale a activaciones redundantes de neuronas. Las neuronas pueden representar muchos bits, según el contexto de activación. Los modelos WC son tolerables con el error, asumen la propiedad de equipotencialidad de Lashey.

PRINCIPIO DE HEBB:

D. Hebb, en una obra fundamental de la fisio-psicología “La organización de la conducta” (1949) descubrió que la conectividad entre las neuronas celulares no permanece constante. En ellas se registran cambios en su potencial a largo plazo a través de un principio elemental: si dos neuronas conectadas tiene estados excitatorios entre ellas, en un mismo momento, entonces las conexiones nerviosas se refuerzan. La conductividad entre ellas aumenta con la sola regla de que ambas se activen sincrónicamente. Este concepto fue la clave para simular cómo aprendían las redes. El aprendizaje los capacita para el reconocimiento de patrones. (¿cómo reconocer muchos casos particulares de una misma categoría?) McCulloch, W y Pits, fueron los primeros en emplearlos. Determinemos con exactitud la regla de Hebb: *las neuronas x e y están conectadas en una relación recíproca, x y y . Si $X = \pm 1$ es el estado de la neurona x , e $Y = \pm 1$ el estado correspondiente de la neurona, entonces el peso sináptico del contacto de x e y es proporcional al valor promedio del producto XY . Mientras más alto en el producto más fuerte es la asociación. El valor de la regla de Hebb es que permite que neuronas indiferenciadas adquieran una función selectiva diferenciada. En la actualidad hay otros modelos equivalentes de aprendizaje neuronal como las potenciaciones a largo plazo (PLP).*



PERCEPTRONES: F. Roseblatt.

En 1958, Rosenblatt, publica un obra fundamental "*Principios de neurodinámica*". Más tarde, aplica sus planteamientos de redes al cerebro en "*El perceptrón: Un modelo probabilístico de almacenamiento y organización de la información en el cerebro*". Centrada en los modelos avanzados de neuronas MP, descubrió que dada una estructura de neuronas combinadas de unidades sensoriales, unidades ocultas y unidades motoras, la red podía ser entrenada para clasificar estímulos infinitos dentro de patrones que ella misma generaba. Las redes tipo perceptrón reajustaban sus estados internos con valores aleatorios hacía valores estables (los pesos o valores de conexión) siempre que el entrenador señalaba cuándo la salida de la red era correcta.

Tras un número indeterminado de aprendizaje dirigido, la máquina daba un "salto cognitivo" y creaba prototipos o patrones que respondían automáticamente ante fragmentos estímulos de su dominio. La convergencia de los valores entre los niveles de la red seguía reglas de aprendizaje tipo Hebb. Los perceptrones sólo se ajustan si la conducta de la red se desvía de la esperada.

ADALINES, (adaptative linear neuron) B. Windrow y M.E. Hoff 1960.

Se trata de un tipo de perceptrón con tipo de entrenamiento específico. Este sistema de entrenamiento tiene en cuenta el conjunto de unidades que no se activan. Siempre que ocurra este caso el procedimiento adalines hace que la conectividad del resto de unidades activadas aumente. Se cambian los valores de ' I y O ' por ' $+I$ y $-I$ '.

CRITICA DE S.A. PAPER Y M. MINSKY.

En 1969 se publica un trabajo recopilatorio de documentos que desde principios de la década estaban circulando entre los investigadores de IA. La obra en cuestión lleva por título "*Perceptrones: una introducción a la geometría computacional*", publicación respaldada por la prestigiosa MIT Press, editorial de la institución más prestigiosa en aquellos tiempos. En ella se demuestra que los perceptrones elementales con unidades MP no puede satisfacer la condición de discriminar entre patrones con la forma disyuntiva excluyente (x or else y), {o estetas o tecnólogos} ni tampoco. Not (x or else y). Según las características conectores de las unidades, la disyunción excluyente es funcionalmente un imposible para ellas, pues requiere de otras unidades externas.

La crítica de Papert y Minsky, tenía como punto crítico que la disyunción mencionada forma parte del limitado conjunto de principios lógicos primitivos de una máquina de Turing universal. En otras palabras, los perceptrones no eran dispositivos universales. Y aún más, dedujeron que perceptores de varios niveles no responderían ante la misma función lógica, impresión que resultó ser



falsa, pues Rosemberg había formulado en el “*El perceptrón*” (1961) un procedimiento de entrenamiento que solucionaba parcialmente el problema. Ambos investigadores llegaron a la conclusión de que los perceptores, de una capa o varias, no podrían reconocer entre la letra ‘T’ y la letra ‘C’ con independencia de las rotaciones a las que fuera sometida.

RED DE MEMORIA ASOCIATIVA, M.K. TAYLOR (1956),
Los MODELOS DE D. MARR (1969 Y 1971).

Las redes de Taylor fueron diseñadas con el propósito de simular el aprendizaje asociativo, combinar datos aprendidos entre sí, usando un perceptrón de tres capas, pero cambiando las unidades MP, que son binarias en el sentido de que siguen la regla “o todo o nada”, por unidades analógicas (admiten un número discreto variable). La red aprende bajo estas condiciones a asociar pares de patrones estímulares, auditivos y visuales por ejemplo, siempre y cuando uno de ellos produzca un salida motora adecuada. Entre los desarrollos posteriores de redes Taylor, merece especial mención un tipo de red llamado “*matriz de aprendizaje*” de K. Steinbuch en 1961, y los modelos del brillante investigador D. Marr en la que detendremos unas líneas.

En el trabajo de Marr “*Una teoría del cortex cerebelar*” (1971) inventa una variante de redes asociativas de patrones que muestra una fiabilidad alta en el reconocimiento de estímulos deficientes o parciales. A estos modelos se les llamó (ACAMs) o “*memorias direccionables por contenido*”. El éxito de Marr, matemático de formación, se debió a que aplicó los modelos de red a la estructura citológica fina del cerebelo, una estructura regular y constante de neuronas Purkinje y celular granulares. Los estudios del cerebelo son vitales por que en ellos supuestamente se almacenan los esquemas motores relacionados con el movimiento voluntario. Más tarde desarrolló el mismo tipo de explicaciones al hipocampo, estructura telencefálica relacionada con la consolidación de la memoria, en “*La memoria simple, una teoría del archicortex*” (1971). El hipocampo está formado por una estructura densa de neuronas de tipo piramidal y neuronas asociativas típicas del lóbulo temporal. En ambos trabajos, pero especialmente el del cerebelo, Marr aporta una explicación muy detallada de la función de “célula a célula”, y además aporta su procedimiento formal para simularlas. Por si fuera poco, elaboró una teoría semejante sobre el neocortex desde la perspectiva de complejos perceptrones en “*Una teoría del neocortex cerebral*” (1970). La temprana muerte de Marr, ocurrida en 1979 a los 35 años, privó a la ciencia cognitiva experimental de uno de las principales personas llamadas a expandir sus límites. Sin embargo, Marr es recordado hoy por su teoría sobre el análisis visual, en un libro póstumo llamado “*La visión*” (1981) en la que utiliza técnicas computacionales más cercanas a la IAC. Curiosa paradoja.



REDES DE HOPFIELD: J. HOPFIELD. 1984

Estas redes mantienen las características de las anteriores, pero parten de un símil con una estructura física con propiedades magnéticas conocida como spin glass. Hopfield, postula que existe una analogía entre una red neuronal muy densa y las posiciones que ocupan los átomos en esta red cristalina tema para un consumado especialista en física de partículas. En todo caso, la idea básica es que los cristales spin glass permiten almacenar patrones de partículas. Las redes de Hopfield, no son estrictamente redes neuronales dado que se sigue una dinámica muy poco realista en el nivel celular. Pese a ello han demostrado tener una utilidad en lo que se llama optimización computacional.

Desarrollos posteriores de este modelo han dado lugar a las conocidas MÁQUINAS DE BOLZMANN. En esta variante, se aplican procedimientos matemáticos específicos (método Monte Carlo) para lograr configuraciones estables entre las unidades activas e inactivas de las redes Hopfield. G. E. Hinton y T. J. Sejnowsky (1985). Su arquitectura neuronal resuelve con garantías el problema de la asignación de crédito a las unidades ocultas. La máquinas de Boltzmann tienen una serie de propiedades básicas: a) no necesitan de entrenador ni supervisor, b) realizan procesos autoasociativos, en palabras de Cowan, “*reproducen relaciones entre clases de sucesos en su ambiente*”, c) su aprendizaje no es supervisado por reglas explícitas, ni de ningún otro tipo, d) solucionan el problema de la disyunción excluyente por el procedimiento de propagación hacia atrás, e) discriminan entre las letras ‘T’ y ‘C’ en cualquier posición, f) son resistentes al daño.

5. MÁQUINAS Y CREATIVIDAD: UNA DIMENSIÓN REALISTA PARA EL PRÓXIMO SIGLO

Si hay un tema que tradicionalmente se ha opuesto al pensamiento maquinal este es el de la creatividad. La psicología popular y científica, poco ha aportado la categorización racional de la invención y la creatividad. Con la finalidad de desarrollar una teoría de los procesos creativos, la profesora Boden, ha desarrollado una interesante aproximación. Distingue entre dos tipos de creatividad:

P-Creativo: describe un producto psicológico que es novedoso para un sujeto vivo o mecánico. No importa que el descubrimiento sea compartido o ya exista previamente. Usar modelos y explorar modelos conceptuales ya creados.

H-Creativo: es un caso concreto de P-creatividad; se refiere a aquellos productos creados que son exclusivos de una mente individual, y nadie antes los ha



producido. Por tanto, tienen una dimensión psicológica y una dimensión histórica. Los procesos H-Creativos requieren procesos sociales especiales. Transformar los “espacios conceptuales” en marcos originales.

La creatividad en los dos sentidos anteriores, es producto de **ESTRUCTURAS GENERATIVAS**, es decir, que surgen a partir de reglas un conjunto abierto de casos. Como hemos visto a lo largo del primer apartado, la IAC describe las estructuras computacionales como reglas estructuradas con descripciones abstractas. Boden, pretende:

“Podemos ahora distinguir la novedad de primera vez de la originalidad radical. Una idea meramente novedosa es una que puede ser descrita y/o producida por el mismo conjunto de reglas generativas que otras ideas conocidas. Una idea genuinamente original o creativa es una que no puede serlo.

Para que se justifique llamar a una idea creativa, entonces, se deben identificar los principios generativos respecto de los cuales ésta es imposible”. (1991, 65)

Una idea *H-creativa*, es un razonamiento sustentado por nuevos esquemas psicológicos, nuevos conceptos que operan en los sistemas computacionales del psiquismo. La psicología computacional aporta una explicación de los procesos tradicionalmente involucrados en los procesos creativos: la intuición, la inspiración, etc.

Los sistemas formales, lo suficientemente abstractos podrían equivaler a un sistema generativo; sin embargo la mente humana dispone de sistemas computacionales de naturaleza más rica que los de la lógica o matemáticas. La mente humana está capacitada para explorar las reglas y en condiciones relevantes cambiar su propio contenido. *Esta capacidad para la autoorganización* es la clave para entender los procesos inteligentes, y entre ellos, los creativos. La creatividad y la inteligencia son el resultado de “procedimientos compilados”, una secuencia de operaciones simbólicas inconscientes.

El razonamiento humano se mueve dentro de esquemas conceptuales prefigurados por la cultura y el equipamiento genético de la especie. Todo la experiencia es procesada y asimilada por las mentes individuales que disfrutan de esas estructuras compiladoras. La profesora Boden, llama a estas estructuras previas MAPAS CONCEPTUALES, equivalente a los esquemas de Rumelhardt, o a los marcos de Minsky. Estos actúan como “generadores de sentido”, e incluso predeterminan qué es una opción comportamental. Los mapas cognitivos funcionan igual que los mapas científicos, alumbran y fundamentan la percepción



de las cosas. Considere que el conjunto de los mapas, es su personalidad; entonces debe considerar que su personalidad es el sistema generativo de acciones habituales y creativas. En ellos está contenida todo de lo que es capaz. Si aspiramos a desarrollar nuestra creatividad, de la H-creatividad, necesariamente tendrá que saltarse los límites de los mapas que lo constituyen y elaborar una nueva maya de creencias de forma coherente y estructurada, pero debe recordar que la tendencia a la persistencia de los mapas conceptuales es mayor que la generosidad hacia el cambio, al menos en los adultos.

Siempre que resolvemos problemas, exploramos las posibilidades de nuestros esquemas, indagamos en nuestro **“ESPACIO CONCEPTUAL”**. Como hemos advertido, la estrategia más común para moverse y explorar un esquema de pensamiento son las reglas heurísticas. Un heurismo, es una regla o procedimiento práctico que explora las posibilidades dentro de un mapa conceptual. Si es jugador de ajedrez, usted, manejará sin duda un buen número de normas heurísticas; por ejemplo, *«si tienes una opción de comer a un peón entre dos, y no es un movimiento en una cadena premeditada, elige comer el que te lleve al centro del tablero»*, o bien, *«en una jugada de espera opta por mover los caballos hacia las cuatro casillas centrales y los alfiles a las grandes diagonales»*.

La P-creatividad requiere reordenar y recombinar los procedimientos heurísticos, pero ha de observar el lector que permutar los heurismos no supone abandonar el marco conceptual. La P-creatividad responde a la lógica operadora del sistema, aunque sea una innovación. Pero, ¿por qué no rompemos los mapas e ingresamos en el mundo de la H-creatividad?. Por dos razones: a) porque los humanos, como caso especiales de procesadores, tenemos una tendencia innata a la conservación de los redes semánticas, como he mencionado antes; y b) como indica la profesora Boden *“es invitar no a la creatividad, sino a la confusión”* (123). El cambio de modelos conceptuales, no es común, vivimos en un mundo de restricciones muy estables.

En los sistemas cognitivos la regla heurística mas creativa es la ANALOGÍA. En ella, puede advertirse un modo de funcionamiento de los mecanismos computacionales muy relacionados con la creatividad. La analogía ocurre cuando existe una semejanza estructural, casi siempre visual, entre dos niveles de representación que inicialmente no estaban conectados.

El hecho de que las estructuras mentales que hemos llamado mapas conceptuales sean inconscientes, y posiblemente subsimbólicos (no mencionables por un símbolo) ha producido la ilusión de que la creatividad es intuición, *“un veloz golpe de luz”*. Al contrario, es la velocidad de las estructuras procesadoras las que causan el efecto sorpresivo de *“aparecer de la nada en la conciencia”*. Nada mas lejos de la realidad.



¿Cómo están organizados los datos comprendidos en la memoria? ¿Qué tipo de representación de conocimientos poseen los sistemas cognitivos inteligentes?

Los sistemas de representación funcionan como una RED DE ASOCIACIÓN, o si se prefiere, como una RED SEMÁNTICA. Dado un espacio de conceptos, las unidades de información están relacionadas por conexiones permanentes y de intensidad variable. Un razonamiento, una inferencia no es más que un juego de activaciones entre conceptos vinculados bien por cercanía semántica, bien por intensidad en el nexos.

Los ordenadores no seriales, pueden disponer de una estructura semejante a la del cerebro: una estructura para saltarse programas, o para trabajar sin programas. La computación conexionista. Vemos nuevamente la opción de la profesora Boden:

“El punto clave en la respuesta es que los cerebros son, en cierta medida, como un cierto tipo de modelo de ordenador: a saber, el de los sistemas conexionistas o redes neuronales. La «computación» en los sistemas conexionistas no significa seguir un programa en el sentido tradicional.” (163)

La creatividad está relacionada con la capacidad de los ordenadores que la IAX llama “APAREAMIENTO DE PATRONES”, un procedimiento de asociación por la que un patrón estable puede verse conectado por otro en virtud de que ambos son elicitados por el mismo contexto. Si dos patrones perceptivos “potaje de berros” y “gofio” aparecen involucrados en las mismas condiciones estimuladoras (contexto del sujeto), la activación de un patrón hará probable dentro de la esfera representacional que brote su asociado. Se produce, pues una asociación semántica de forma espontánea; el organismo logra condiciones de equilibrio ante un contexto determinado. La creatividad es, como he mencionado más arriba, autoorganización. La creatividad, lejos del ideal romántico de “ejercicio supremo e incondicionado de la voluntad”, muestra una dependencia pragmática con el contexto, parece la respuesta más recomendable ante la complejidad del medio y su aleatoriedad.

La objeción popular de que las máquinas computadoras no piensan con inteligencia, ni exhiben propiedades creativas, se ve puesta en entredicho por el aprendizaje espontáneo de las redes neuronales reales y sus replicantes artificiales. ¿Podría una máquina aprender por sí sola el tiempo pretérito de los verbos en castellano o inglés sin un programa previo? ¿Captaría las variantes irregulares tipo “go”/“went”? Sin ningún problema.

Una vez expuesto: a) qué es la creatividad, b) la doble naturaleza de los procesos creativos, c) sus fundamentos computacionales, y d) la capacidad de las redes para ejecutarlas, nos queda por resolver si los computadores digitales tipo



V. Newmann, pueden reproducir las mismas capacidades para el aprendizaje inteligente no programado.

En esta línea de IAC haremos una exposición breve de programas que dimanen P- productividad. El pintor y programador H. Cohen sostiene que el arte es un sistema de producción guiado por reglas. El pensamiento pictórico es el resultado de estructuras preexistentes que operan mediante heurísticos de alto nivel asociativo y refinamiento motor. Para demostrar sus tesis diseñó en mitad de la década de los ochenta varios programas de creatividad pictórica: conocidos como AARON, 1984-1989, según su evolución tecnológica y mecanológica. Cohen, fabricó varios programas Aaron que iban refinándose y especializándose en tipos de dibujo: AARON abstracto, AARON acróbata, AARON acróbata y pelota, ... Los programas iniciales realizaban dibujos originales, y siempre distintos. Desde este punto de vista, los programas manifiestan suficiente variedad para ser llamados P-creativos.

Los programas de Cohen emplean reglas de producción (reglas que expresan restricciones condicionadas del tipo SI → ENTONCES) que funcionan en cadena, y unas reglas de introducción de azar. El acróbata abstracto no considera el dibujo globalmente, no “piensa” el dibujo como un todo organizado; es un pensador localista. Por el contrario, AARON el acróbata y pelota, considera aspectos generales de la composición y evalúa el conjunto diseñado antes y durante el dibujo para ver y satisfacer las restricciones introducidas.

Aaron dispone de conocimientos específicos sobre la composición –líneas de horizonte, cuerpo humano, músculos...– y otros más generales –simetría, composición de dos o más acróbatas–. Sin duda, el éxito de AARON consiste en que asocia los datos de su base, los cruza creativamente. En el caso del acróbata, dispone de un modelo corporal del humano: tiene que dibujar uno o varios acróbatas con cuatro extremidades cada uno. Este modelo contiene un esquema corporal jerarquizado de procesos que suministran tomas de decisiones que el programa tiene que satisfacer sin considerar el contexto. Ahora bien, AARON tiene que valorar el color y la estética general de la representación.

Cada dibujo de AARON es la obra de sus criterios y juicios computacionales. Sus estrategias generativas se amplían con variabilidad y riqueza y muestran un estilo propio inconfundible. ¿Qué le falta para ser comparable con los dibujos de un humano? Necesita en opinión de Boden “*un modo de reflexionar acerca de ese conocimiento previo de modo de poder describirlo, compararlo, criticarlo y alterarlo*” (212); le falta la capacidad de automodificarse, cambiar por sí mismo ítems de su programación residente. Otro déficit determinante, es la incapacidad de que AARON vea los resultados y no sólo la obra desde el formato simbólico. La visión es posiblemente la capacidad humana más correlacionada con la H-creatividad y el cambio de “espacio conceptual”.



Con una tecnología de programación mucho más rica en conceptos, se han diseñado programas capaces de inventar y comprender relatos y metáforas literarias: BORIS, TALE-SPIN, del profesor R. Shack, además de ACME y recientemente ARCS.

Los dos primeros reflejan los intentos de la IAC por reproducir las capacidades comprensivas del lenguaje. Utilizan modelos de representación de conocimiento de memoria asociativa. Estos programas utilizan una base de datos, por lo general conceptos, estructurada semánticamente que no voy a describir aquí.

TALE-SPIN (hilador de cuentos) es un programa con un mundo simplificado, como los sistemas expertos, pero con una estructura asociativa y jerarquizada de conceptos sobre la vida social. Es capaz de usar scripts, planes, mop, top y tau, sistemas de organización semántica para inventar historias. Cada historia es una sucesión de planes tabulados por circunstancias concretas y abstractas (motivaciones de los personajes) original e irrepetible. Es posible solicitar a TALE-SPIN que invente un cuento con la moraleja “nunca confíes de los aduladores”, (sabio consejo). El programa explora sus datos, y los asocia conforme a las restricciones que aportaba el concepto natural “adulación”. Luego crea personajes atribuyéndoles las intenciones necesarias para narrar un cuento, y calcula el juego social necesario para ejemplificar un caso de adulación. El resultado fue el siguiente:

“Había una vez un zorro deshonesto llamado Henry que vivía en una cueva y un cuervo tonto y confiado llamado Joe que vivía en un olmo. Joe había obtenido un trozo de queso y lo estaba sosteniendo en su boca. Un día, Henry salió de su cueva, atravesó el prado hacia el olmo. Vio a Joe Cuervo y al queso y le dio hambre. Decidió que podría obtener el queso si Joe Cuervo hablaba, así que le dijo a Joe que le gustaba mucho su canto y que quería escucharlo cantar. Joe estaba muy contento con Henry y empezó a cantar. El queso cayó de su boca al piso. Henry recogió el queso y le dijo a Joe Cuervo que era un estúpido. Joe estaba enojado y ya no confió más en Henry. Henry volvió a su cueva. FIN. ”

Para R. Schank, el creador de este programa, TALE-SPIN es un ejemplo de “comprensión cognoscitiva”. El programa “encuentra sentido a experiencias que nunca ha vivido”. Esta habilidad supone según Schank al menos cuatro CUESTIONES DE INTELIGENCIA PRÁCTICA:

- “1. Aprender o cambiar como resultado de sus experiencias.*
- 2. Relacionar sus experiencias presentes con las experiencias pasadas de una manera inteligente, es decir, haciendo comparaciones útiles y seleccionando las relaciones importantes e interesantes.*



3. *Formular nueva información para sí mismo: llegar a sus propias conclusiones a partir de la experiencia.*

4. *Explicarse: decir por qué ha establecido las conexiones que ha establecido y qué proceso mental siguió para llegar a una conclusión” (60)*

“Ninguna cuestión de la IA ha sido objeto de tan intenso debate como la atribución de inteligencia y comprensión a las máquinas. La gente siente inconscientemente que llamar inteligente a algo que no es humano es denigrar a los seres humanos y reducir su idea de sí mismos como centro del universo. Los delfines son inteligentes. Las ballenas son inteligentes. Nuestra atribución de inteligencia a cualquier ente depende totalmente de nuestra definición de la inteligencia en abstracto. La definición más simple y tal vez más sencilla de la inteligencia es como capacidad de reaccionar ante algo nuevo de una forma no programada. Lo que queremos decir al hablar de inteligencia es en realidad la capacidad de sorprenderse o de pensar por uno mismo y con esa definición es fácil que los ordenadores sean inteligentes algún día. La verdadera cuestión, es cuánta inteligencia tiene tener, cómo pueden adquirirla, si realmente tienen inteligencia o sólo la simulan, y cómo podemos saber si es una cosa o la otra. (61)

Los humanos y los computadores usamos programas y si bien el tipo de programa no es idéntico, no queda invalidada la afirmación de que tanto los máquinas como los humanos estamos programados. El tipo de programación inteligente cuenta con la capacidad de responder de forma no programada previamente. Este rasgo lo comparten los humanos y TALE-SPIN. Con sistema computacional clásico está capacitado para elaborar por sí mismo y consiguientemente explorar los “espacios conceptuales” para crear variedad de mensajes.

Schank, como A. Turing treinta años antes, es partidario de definir la inteligencia en función de los efectos observados en un sistema según un método:

“... la prueba de que un sistema es efectivamente capaz de entender no es el realismo de su respuesta, sino la validez del método por el que esa respuesta se produce. Por desgracia, no hay manera de verificar la inteligencia de un ente mediante la evaluación de sus procesos.” (65)

Desde la IAX, se ha intentado por igual simular las capacidades cognitivas implicadas en la comprensión lingüística en varios programas. Los ingenieros conexionistas han fabricado con red neuronal, un artefacto no digital (ACME) especializado en reconocer analogías entre los conceptos almacenados. Como si se tratase de un programa de memoria direccionable, la memoria de ACME, el primer programa que veremos, está organizado de forma asociativa según las



relaciones semánticas. A esta memoria categorial, se añade una red WN (WORD-NET) que ha aprendido más de 30.000 términos que se relacionan según rasgos semánticos de orden, posición, dependencia, sinonimia o antonimia. Como una red semántica, la lógica asociativa sigue lo que llamamos “restricciones suaves”. Para ACME un acto de comprensión lingüística es la estela de microrrestricciones ocurridas en la red. Si se exige a ACME que comprenda una metáfora, pondrá en funcionamiento su red dinámica de conceptos hasta buscar una interpretación consonante, que suponga equilibrio general para la red conceptual.

ACME está especializada en buscar analogías entre dos conceptos como método de comprensión. Se basa en tres valores críticos:

- (a) si hay consistencia estructural entre los patrones activados,
- (b) si hay consistencia semántica: si las asociaciones de uno son semejantes con la del otro término, y
- (c) la centralidad semántica: si la pareja de términos permite representaciones con valor práctico para la tarea.

Una red posterior (ARCS) tiene la virtud de establecer analogías complejas entre dominios diferentes. La red establece identidades estructurales entre ámbitos semánticos alejados, como por ejemplo “nadar” y “pensar” sin indicios previos ni entrenamiento. El procedimiento seguido es el mismo que el de ACME. Si la red fuera educada con términos psicoanalíticos generaría auténticas explicaciones psicoanalíticas de aquellas frases en la que la información sexual esté encubierta o reprimida, siempre y cuando el paciente se exprese en forma de metáforas.

En un sentido más amplio que la comprensión de textos y analogías, la IAX ha sido capaz de generar una red neuronal que actúa como un algoritmo inteligente de los sistemas expertos, pero con un poder inductivo y deductivo mayor. Este red, que funciona como un algoritmo experto, se llama ID3. Como si se tratase de un procedimiento inductivo, genera categorías nuevas que resumen relaciones causales descubiertas a partir de un entrenamiento previo. El sistema genera sus propias reglas de inducción según el tipo y cantidad de material presentado. Previamente, en un fase de adiestramiento se le presentan centenares de asociaciones expertas de descripciones → diagnóstico, y luego ID3 categoriza sus descubrimientos. En una segunda fase, se le presentan sólo descripciones, se le pide que determine un diagnóstico, en concreto el caso de enfermedades de plantas de soja, asunto que resolvió con un porcentaje del 98% de éxito.

Pero ID3 no sólo opera en un nivel de inferencia inductiva sino que, sorprendentemente, elabora hipótesis y clasificaciones comprensivas del dominio, sin importar de que campo se trate. En todos los casos usados hasta ahora, ID3 ha determinado las clasificaciones y estructurado su espacio conceptual de la forma más eficiente posible, superando las clasificaciones humanas. Por ejem-



plo, en el caso de la soja, determinó nuevas regularidades del comportamiento de la especie que no habían sido sospechadas por equipos investigadores especializados, en concreto, relacionaba la enfermedad con el tipo de borde y color de la hoja generando una hipótesis real sobre esa relación.

Se puede pues afirmar que programas como ID3 son inteligentes y se puede pues, hablar de creatividad ya que, sin programación previa, estructuran su mundo conceptual y se orientan en él de una manera no especificada previamente. Ciertamente ID3 es un programa de “percepción estadística” como llama Boden, pero los resultados en la organización de su memoria lo hacen P-creativo e H-creativo.

En una línea más clásica son reseñables los programas del equipo de H. Simon. Estos programas de IAC establecen descubrimientos científicos a partir de reglas explícitas que ya poseen. A modo de resumen sirva el siguiente cuadro:

Programa	Objetivo	Reglas	Descubrimiento
BACON	Descubrir leyes cuantitativas a partir de datos empíricos	1. Determinar si las mediciones son inversamente proporcionales, y entonces buscar constantes 2. Multiplicar los valores correspondientes de las dos propiedades entre sí, y más tarde analizar sus productos con otras subrutinas 3. Valorar la opción más simple 4. Heurísticas: Si los valores de un término son constantes, entonces inferir que el término siempre tiene ese valor. Si los valores de los dos términos numéricos dan una línea recta, entonces inferir que están siempre relacionados de un modo lineal Si los valores de los dos términos numéricos aumentan en forma conjunta entonces considera su cociente Si los valores de un término aumentan y los del otro decrecen, entonces considera su producto.	Ley de Boyle($PV=c$) Ley de Ohm ($I=v/(r+L)$) Ley de Galileo: ($D/T^2=K$) Ley 3. ^a ley Kepler: (D^3/P^2) Ley de Snell la refracción Principio de Arquímedes



Programa	Objetivo	Reglas	Descubrimiento
BLACK	Descubrir leyes por combinación de dos objetos para buscar un tercero. Son leyes cuantitativas	Las mismas que Bacon-4 pero adaptadas.	Ley del calor específico. Descubrió el concepto de masa.
GLAUBER	Descubre principios y leyes cuantitativos.	Reglas para determinar valores sin mediciones.	Diferencia entre ácidos, bases y álcalis
STAHL	Inferencias sobre el desarrollo de la química	<p>Se le introduce linealmente el desarrollo de la química como leyes y datos en orden histórico. La información se introduce en la forma y conceptos tal y como fueron introducidos en la época. El programa infiere futuras leyes no introducidas, es decir hace predicciones sobre el desarrollo de la Química. La heurística introducida es la siguiente</p> <p>INFERIR-COMPONENTES:</p> <p>SI A y B reaccionan para formar C, O SI C se descompone en A y B, ENTONCES inferir que C se compone de A y B.</p> <p>REDUCIR: SI A ocurre en ambos lados de una reacción, ENTONCES quitar A de la reacción.</p> <p>SUSTITUIR: SI A ocurre en una reacción, Y A está compuesto por B y C, ENTONCES reemplazar A por B y C.</p> <p>El programa tiene reglas semejantes para identificar componentes y compuestos</p>	Predicción acertada sobre la química de oxígeno.
DALTON	Desarrolla la T. ^a atómica para buscar estructuras químicas plausibles	En desarrollo	Ninguna



Los programas anteriores se comprometen con la idea de que el conocimiento científico usa un tipo de razonamiento moldeable en algoritmos. Los descubrimientos de la física o de la química son reducidos a manifestaciones de búsqueda dentro de un “esquema de conceptos”. Una T.^a científica busca dentro de sus conceptos, nuevas combinaciones que permitan cuadrar datos. Ahora bien, los desarrollos inductivistas no son H-creativos, no han producido hasta hoy ninguna ley novedosa y además, existe una polémica sobre si estos programas descubren por si solos, o si existe un proceso artefactual entre la presentación de los datos y las operaciones y reglas. Los programas no eliminan datos, no seleccionan datos relevantes porque sus creadores les introducen correspondencias acertadas. Difícilmente lograrían estos descubrimientos si tuvieran que seleccionar datos de combinaciones probables pero que resultan en la investigación irrelevantes. Estamos ante programas que podemos llamar “precocinados”, ya que se le dan los ingredientes y luego se le solicita que haga la receta.

Los programas de descubrimiento no se centran a la inferencia inductiva. D. Lenat en 1984 construyó un programa de razonamiento matemático, el AM (Matemática automática). AM piensa con conceptos matemáticos y deduce otros nuevos a los que da nombre. Tiene un estructura de conceptos muy elemental extraídos de la T.462^a de conjuntos y trescientas reglas heurísticas (vgr.: examinar, combinar, transformar por inversa, considerar la negación, y otras habilidades propias del análisis matemático). Después de un tiempo sin avances significativos, AM produjo varios conceptos básicos: número entero, número primo, adición, multiplicación y raíz cuadrada. Descubrió sin demostrar la conjetura de Golbach (todo numero puede ser factorizado por números primos de una sólo forma).

Igual que ocurría con los programas Aaron, los diseños de Lenat requieren una capacidad de autorrepresentación para ampliar la profundidad de sus descubrimientos; les falta más comprensión del significado. Para compensar este déficit, Lenat diseñó EURISKO, un programa de razonamiento geométrico que tiene la virtud de generar por si sólo reglas heurísticas muy especializadas. Los procedimientos para generar reglas son múltiples: (a) estudiar la utilidad de una regla inventada, (b) generalizar reglas ya existentes, (c) transformar reglas como AM. Dotado de un sistema de memoria conceptual grande, EURISKO ha logrado inventar ideas H-creativas que no existían dentro de las posibilidades de su mundo conceptual. Como he citado antes, este programa ha logrado diseños electrónicos espectaculares en tres dimensiones y desarrolló normas la guerra de entre buques armados sobre con la simetría modelos electrónicos.



CONCLUSIÓN

Creemos haber justificado la posibilidad de eliminar la polémica entre máquinas y organismos. Para ello, ha sido necesario cuestionar la vieja idea de que los procesos humanos siguen reglas racionales, que encarnan principios lógicos. De la psicología computacional, se ha desprendido una novedosa concepción: los principios psicológicos pertenecen a un caso mucho más rico que la inferencia deductiva e inductiva. La neurociencia ha concebido máquinas con diseños cerebrales que semejan la inteligencia, no de forma artificial, sino como simil de los diseños biológicos. Como reflexión cabe preguntarse si estas máquinas pueden crear espacios conceptuales aún no concebidos por los humanos de todo tipo: no sólo intelectuales sino también, y por qué no, emocionales, estéticos, éticos, ...

ANEXO

CUADRO DE AUTÓMATAS y MÁQUINAS PRECURSORAS

150-100 ac	Hero de Alejandría Autómatas árabes	Autómatas.
1250:	Villard de Honnecourt	Palomas y pájaros mecánicos
1450	J. Müller	Águila y mosca mecánica. Las máquinas eran movidas por un imán bajo la mesa
500	P. Bruegel	Dibujos de máquinas pensantes, autómatas
1623	W. Schickard	Máquina calculadora (1623), cuatro operaciones Tubinga, teólogo y astrónomo),
1510 -1590	A. Paré	Médico parisino que diseñó prótesis para sustituir la pérdida de manos. Las prótesis eran un conjunto de engranajes y palancas en sus textos "Livres de Chirurgie" en 1564
1625	G.B. Bracelli	Dibujos androides (Médicis)
1623-1662	B. Pascal	"Pascaline": sólo dos operaciones
1646-1716	W. Leibniz	Añade dos funciones más multiplicar y dividir. Inicios de los lenguajes binarios. En 1710 " Mathesis universalis " (lenguaje simbólico universal (Characteristica universalis), con una gramática combinatoria (Ars combinatoria), con un procedimiento heurístico para generar nuevas ideas (Ars inviniendi), y criterios para decidir sobre la verdad o falsedad (Ars judicandi). Toda forma de pensamiento se podría describir y replicar en un sistema formal



1738	J. Vaucanson	“El pato mecánico”, “el flautista” (Concepto de máquina sustituye al de automática)
1774	P. Jaquet-Droz	“La pianista, el escribano (escribía hasta cuarenta letras), el dibujante (cuatro figuras)
1769	W. V. Kempelen	“El jugador de ajedrez turco”, (fraude), en 1782 construyó “El Autómata parlante”.
1801	J. M. Jacquard	“Telar automático”, tenía un tarjeta perforada que servía como patrón para tejer dibujos”. Molino como motor lógico de la máquina, y como rueda en la máquina de vapor de Watt en 1775
1809 J	N. Maezell	“El trompetista”
1800	¿?	Euphonia: autómata en forma de egipcio que preguntaba, respondía, reír y cantar
1832	Ch. Babbage	“Mq. De Diferencias” realizada con la única función de calcular y revisar tablas astronómicas. Utilizaba el método matemático de diferencias”, es decir, sólo sumaba
1835	Ch. Babbage	“Molino aritmético” o “máquina analítica”. Lady Lovelace: “La máquina analítica teje los patrones algebraicos exactamente igual que el telar de Jacquard teje flores y hojas” Babbage decía de ella que era “una máquina que se come su propia cola”.
1882	W. Burroughs	Sumadora comercial mecánica
1890	H. Hellerith	El tabulador, calculador con medios no mecánicos, tarjetas perforadas
1912	L. Torres Quevedo	“El autómata ajedrecista” mate de rey y torre, contra rey
1932	varios	“Exposición de la Radio de Londres era de los robots. (Eric, alpha)
1939	varios	“Exposición de New York”, Westinghouse crea Electra (Optimista diseño de robot que realizaba 27 movimientos independientes y obedecía limitadas ordenes).



BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ADAGARRA, P. Y ZACCAGNINI, J. L. (1994): Psicología e inteligencia artificial; Trotta, Madrid.

BODEN, M. A. (1991): La mente creativa; Gedisa, Barcelona, 1994.

BODEN, M. A. (1977): Inteligencia artificial, hombre natural; Tecnos, Madrid, 1984.

CAMPEI, J. (1990): La máquina increíble; F. C. E., México, 1994.

CRICK, F. (1994): La búsqueda científica del alma; Debate, Madrid.

GRAUBARD, S. R. [Comp.] (1988): El nuevo debate sobre la inteligencia artificial, Gedisa, Barcelona, 1993.

HOFSTADTER, D. R. (1979): Gödel, Escher, Bach: Un eterno y grácil bucle; Tusquest, Barcelona, 1987.

MCCORDUCK, P. (1979): Máquinas que piensan, Tecnos, Madrid, 1991.

PENROSE, R. (1989): La nueva mente del emperador; Mondadori, Madrid, 1991.

RABOSI, E. [Comp.] (1994): Filosofía de la mente y ciencia cognitiva; Paidós, Barcelona, 1995.

ROLSTON, D. W. (1988): Inteligencia artificial y sistemas expertos; McGraw-Hill, Colombia, 1990.

SCHANK, R. C. (1984): El ordenador inteligente; Bosch Ed., Barcelona, 1986.