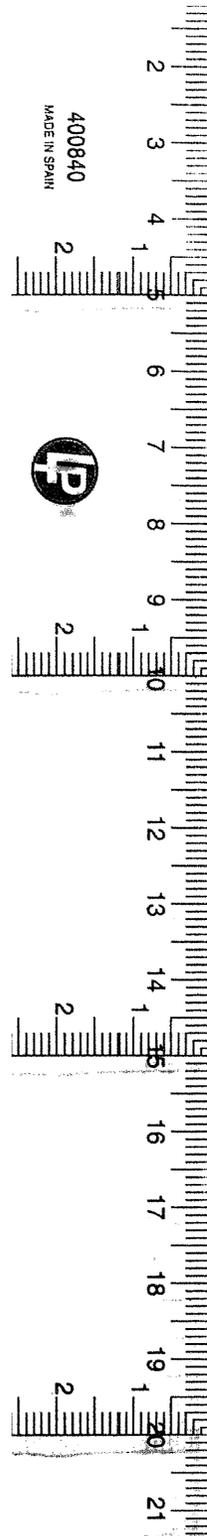


M. DELGADO

La Inteligencia Artificial
Realidad de un mito moderno



DISCURSO DE APERTURA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 1996-97



M. DELGADO

La Inteligencia Artificial

Realidad de un mito moderno



DISCURSO DE APERTURA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 1996-97

La Inteligencia Artificial

Realidad de un mito moderno

M. DELGADO

La Inteligencia Artificial

Realidad de un mito moderno



UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 1996-97

EXCMO. SR. RECTOR MAGNÍFICO
CLAUSTRO DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA
EXCMAS E ILMAS AUTORIDADES
SEÑORAS Y SEÑORES

I. INTRODUCCIÓN

Así como la Revolución Industrial del siglo XIX tiene su origen en el incremento de los poderes físicos del hombre por el empleo de máquinas, podemos hablar de una Segunda Revolución provocada por la aparición de los ordenadores en la segunda mitad del siglo XX y que se caracteriza por el uso de unas máquinas concebidas para sustituir al hombre en actividades de tipo intelectual.

Los ordenadores y su uso se han popularizado y han irrumpido con enorme fuerza en nuestra vida diaria, de manera que hoy ya no nos sorprende la posibilidad de utilizar el ordenador para realizar complicados procesos de manejo de información y así obtener ayuda en ciertas decisiones, o comunicarnos dentro de una red que alcanza proporciones mundiales.

Cualquier faceta de la Ciencia o Tecnología de los Ordenadores resulta fascinante y atrae la atención hasta de los más profanos, pero hay un aspecto que no sólo interesa sino que inquieta y sorprende. La pregunta de si los ordenadores piensan o pueden llegar a pensar, se ha planteado antes incluso de su construcción física efectiva. Hubo autores, como Alan Turing, que se lo cuestionaron muy seriamente al mismo tiempo que estaban concibiendo la idea de ordenador, intuyendo que esta máquina podía llegar a materializar finalmente la construcción de «objetos inteligentes», uno de los mitos más fuertemente arraigados en el espíritu humano.

© MIGUEL DELGADO CALVO-FLORES.
© UNIVERSIDAD DE GRANADA.
LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.
LECCIÓN INAUGURAL. APERTURA CURSO ACADÉMICO 1996-1997.
Depósito legal: GR/922-1996.
Edita e imprime: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. Granada.

Printed in Spain

Impreso en España

La Inteligencia Artificial, nacida a mediados de los años 50 es la parte de la Ciencia de los Ordenadores que tiene como objetivo básico dar respuesta a la pregunta anterior y a algunas más que se derivan de ella.

Cuando la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática me confió el honor de impartir esta lección inaugural (lo que quiero agradecer públicamente a través de su Director D. Rafael Molina Soriano), no tuve gran dificultad para seleccionar el tema y el contenido de la misma por un doble motivo. A mí, como a tantos otros, me apasiona la posibilidad de conseguir que un ordenador acabe haciendo algo inteligente, y a la vez considero necesario que se conozca la realidad de la Inteligencia Artificial (IA), con sus éxitos y también con sus fracasos.

II. SOBRE LA HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Para comprender donde se está es necesario conocer donde se ha estado. Alguien puede pensar que una ciencia tan nueva como la IA no tiene una historia interesante. Nada más lejos de la realidad y el conocimiento de esa historia aporta resultados valiosos. Algunos filósofos notables han dedicado una parte de su tiempo a investigar como trabajan las máquinas (en especial los ordenadores) y a especular como pueden reproducir la inteligencia humana. Conocer un poco más acerca de ello proporciona un contexto para interpretar los desarrollos actuales y obtener una mejor apreciación de lo que es la IA.

II.1. *La Inteligencia Artificial en el mito y la leyenda*

Mucho antes de que existiera un campo de conocimiento llamado Inteligencia Artificial, mucho antes de que existieran los ordenadores o la electrónica, ya se pensaba en la posibilidad de crear inteligencia fuera del cuerpo humano.

Podemos encontrar varios ejemplos en la mitología griega. Hefaiostos, hijo de Hera, construía en su forja entes con apariencia humana, uno de los cuales, Talos, guardaba y defendía Creta. Pigmalión, desengañado con las mujeres, construyó con marfil su propia mujer a la que llamó Galatea y a la que Afrodita dio vida. Dédalo personaje famoso por sus alas artificiales, creó también hombres artificiales.

Durante el medievo, se dice que el papa Silvestre II construyó una cabeza parlante con un vocabulario limitado y que poseía el poder de la premonición, contestando con un sí o un no a preguntas sobre el futuro. También se cuenta que los astrólogos árabes realizaron una máquina pensante llamada *zairja*, que tuvo su réplica en el *Ars magna* de Raimundo Lulio.

Al principio del siglo XVI, Paracelso reivindicó la construcción de un *homúnculo*. «Seremos como dioses», escribió entusiásticamente. «Duplicaremos el milagro divino más grande: la creación del hombre».

En las postrimerías del siglo XVI se cuenta que el rabino checo Judah Ben Loew amasó un hombre de arcilla viviente, Joseph Golem, para que espicara a los gentiles de Praga. Desde entonces *golem* es sinónimo de humanoide. Desgraciadamente este *golem* artificial se hizo enormemente agresivo y tuvo que ser desmantelado.

Los nuevos mitos que proporcionan la ciencia ficción y la especulación científica contemplan invariablemente la construcción de «máquinas inteligentes» como un logro perfectamente conseguible y esto ha de ser cuidadosamente meditado a la luz de la famosa frase *lo que un hombre puede concebir otro podrá realizarlo*.

En la obra de Mary Shelley *Frankenstein*, el doctor Victor Frankenstein creó un humanoide que se convirtió en el arquetipo de monstruo y que al final de la historia llegó a ser un asesino. La moraleja que se desprende Frankenstein, igual que había pasado con Golem, es que los humanos no deben inmiscuirse en la parcela reservada a los dioses, que es la creación de seres inteligentes.

HAL, el ordenador de 1001, de Arthur Clarke, estaba dotado de algo más que de unos instintos superdesarrollados de supervi-

vencia. Sorprendentemente, HAL tenía características que son en la actualidad objeto de estudio en IA: realizaba reconocimiento del habla y procesamiento del lenguaje natural, era capaz de tomar decisiones inteligentes y había sido diseñado para ayudar a los humanos en el manejo de un vehículo espacial. Desgraciadamente, su visión por ordenador también estaba extraordinariamente desarrollada; podía leer en los labios de la tripulación y así se enteró de que estaban planeando desconectarle. Al final así fue, pero no antes de haber matado a varios tripulantes en un intento de mantenerse «vivo».

Como podemos imaginar, no todas las máquinas inteligentes que aparecen como personajes de ficción se comportan como villanos. Por ejemplo, dos de los personajes protagonistas de *La Guerra de las Galaxias* eran máquinas y, por cierto, bastante inteligentes. Uno de ellos, C3PO, era un robot humanoide, y su fiel compañero, R2-P2, aunque no tenía forma humana, poseía una inteligencia que sin duda sí lo era.

No obstante el miedo del hombre a que una máquina inteligente llegue a rebelarse y lo domine aparece en todas estas fabulaciones y de modo también especulativo se han ofrecido soluciones tan ingeniosas como las tres leyes de la robótica formuladas por Isaac Asimov.

Merece la pena reseñar que la «ciencia oficial» le debe a la ciencia ficción uno de sus términos más conocidos, se trata de la palabra *robot*, que en checo significa *trabajador forzado* y que aparece por primera vez en una novela del autor Karel Kapec publicada en 1920. Con ella se refería a máquinas semiinteligentes que realizaban trabajos de minería en asteroides inhóspitos.

II.2. Los autómatas

A partir del siglo XVI la medicina empieza a descubrir el funcionamiento de los órganos del cuerpo humano asimilándolos a cierto tipo de máquinas. Esto, unido a un espectacular desarrollo de los mecanismos de relojería y los autómatas, hizo pensar en la

posibilidad de construir máquinas inteligentes sin necesidad de la intervención divina o mágica.

En el siglo XVII Descartes introduce la idea del «animal máquina». Especula con la posibilidad de que las máquinas imiten o emulen ciertas facetas del comportamiento humano pero les niega la posibilidad de inteligencia completa al indicar que nunca podrían «ordenar las palabras de diferentes formas para contestar con sentido a lo que se diga en su presencia».

En 1737 Vaucason construyó un flautista que efectivamente tocaba una tonadilla con una flauta. En 1738 construyó un pato que podía batir las alas, nadar, comer cosas y simulaba la excreción.

En 1747 La Metrie influido por su experiencia como médico y deslumbrado por el desarrollo de los autómatas publica la obra «L'Homme machine» donde refuta, sin gran fundamento teórico y sólo por cuestiones intuicionistas las teorías y afirmaciones a Descartes.

Hacia finales del siglo XVIII un autor anónimo publicó el primer trabajo verdadero de I.A.: un método automático para la composición de minuetos. Aunque el ordenador es una herramienta clave en los estudios de I.A. no es conceptualmente necesario. Basta que se defina un conjunto de reglas (programa) que permita mediante su aplicación, construir un resultado o realizar una labor que se considere inteligente. Si se tiene un ordenador este se emplea para el programa, en caso contrario el programa se puede simular a mano.

En 1769 se construyó el autómatas de Kempelen para jugar al ajedrez, si bien se demostró posteriormente que era una superchería.

Hubo que esperar al siglo XX para que se emprendieran trabajos más serios. En 1912 el español Leonardo Torres Quevedo construyó un autómatas para las finales Rey y Torre contra Rey. En la primera mitad de este siglo se construyeron autómatas autónomos con nombres de animales que imitaban el comportamiento de estos. Entre ellos destacan Philidog, un perro construido en 1929, las tortugas de Walter (1950) o el zorro de Ducroq (1950).

II.3. Los fundamentos teóricos de la IA

Durante la II Guerra Mundial los americanos y los británicos fueron los primeros en usar máquinas para tareas tan complejas como cálculos numéricos e interpretación de claves, actividades que anteriormente se suponía que requerían inteligencia humana. (Nótese el cambio en la frontera de la «inteligencia» en los últimos cuarenta años. Nos hemos acostumbrado tanto a las calculadoras que en la actualidad esta tarea se considera como «mecánica»). Es prácticamente seguro que los científicos que trabajaron con los primeros ordenadores se plantearon la cuestión de cuán inteligentes llegaron a ser aquéllas nuevas maravillas.

El brillante matemático Alan Turing fue parte integrante del Proyecto Ultra que consiguió la interpretación de la clave alemana «Enigma» durante la II Guerra Mundial. Ayudó a diseñar uno de los primeros ordenadores mecánicos que se llegaron a construir.

Turing también escribió varios artículos sobre distintos aspectos teóricos de las matemáticas y el cálculo que se consideran como clásicos. En su artículo «Sobre el Cálculo de lo Numérico», de 1937, describe como una máquina hipotética (actualmente llamada máquina de Turing) podría usar un sistema de códigos binarios para realizar cualquier operación algorítmica. En 1947 Alan Turing publicó un trabajo que no fue muy apreciado pero en que se establecían las tareas que posteriormente se considerarían propias de la IA: traducción automática, juegos, demostración de teoremas, etc.

En 1950 Turing escribió un sorprendente artículo titulado «Computing Machines and Intelligence» («Ordenadores e Inteligencia») por el que se reconoce como el «padre» de la Inteligencia Artificial. Como era una persona parca en palabras, Turing comenzó el artículo con una proposición que continúa siendo debatida aún hoy día: ¿Pueden pensar las máquinas?

Turing predijo que habría muchas objeciones a la proposición de que la máquina pudiera pensar. De hecho en el mismo artículo consideró y respondió a alguna de ellas. Turing, dándose cuenta de las dificultades semánticas que implicaba responder a esa

pregunta, propuso una prueba en la forma de un juego que podía ayudar a esclarecer el asunto. Le llamó el «juego de imitación» pero en su honor se le conoce con el nombre de *prueba de Turing*. Se considera como tal cualquier situación en la que una persona conversa con un interlocutor al que no ve, e intenta adivinar si se trata de un ser humano o de un ordenador. Si éste puede hacerlos creer que estamos hablando con una persona, se puede sustentar la teoría de que este ordenador es inteligente.

Es importante señalar que el diálogo debe tener «sentido» para que podamos decir que el ordenador es inteligente. Hoy día es posible programar los ordenadores, de tal manera que sean capaces de seguir conversaciones intrascendentes en campos limitados, y así es fácil engañar a personas que no están al tanto de este procedimiento y hacerles pensar que están manteniendo un diálogo con otro ser humano.

Un ejemplo bien conocido de este fenómeno es un programa llamado ELIZA, que fue desarrollado por Joseph Weizenbaum en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). ELIZA simula la actuación de un psiquiatra. Sin embargo, no podemos decir que «piensa»; lo que hace es utilizar unas técnicas de programación bastante ingeniosas para hacer preguntas determinadas y utiliza segmentos de nuestras declaraciones.

Warren McCulloch no se aproxima al problema de la inteligencia desde el mundo de las matemáticas o de los ordenadores. Como neurofisiólogo y graduado en la escuela médica de la Universidad de Columbia, estaba especialmente interesado en desarrollar un mayor entendimiento del funcionamiento del cerebro humano.

En 1943, McCulloch compartió la autoría de un artículo titulado «Cálculo lógico de la ideas inmanentes en la actividad nerviosa», publicado en el Boletín de Biofísica Matemática. El artículo proponía que una red de neuronas en el cerebro trabaja de una forma análoga a una hipotética máquina de Turing, es decir, podía ser útil el considerar el cerebro como un ordenador.

McCulloch admitía que esta analogía entre cerebros y ordenadores adolecía de una comprensión incompleta del funcionamiento de las neuronas en el cerebro. Según se han ido conociendo

más cosas del cerebro, la correspondencia sugerida por McCulloch entre cerebros y máquinas ha ido desapareciendo. Sin embargo, sus atractivas descripciones de semejanza entre ordenador y cerebro contribuyeron enormemente al desarrollo de un campo llamado Ciencia de la Información y, en última instancia, a la Inteligencia Artificial.

En 1854, el matemático británico George Boole había propuesto un sistema para describir la lógica en términos matemáticos; el tratamiento de Boole se convirtió en la llamada *Algebra booleana*. En 1937, Claude Shannon, que por entonces era un estudiante graduado en el MIT, usó el álgebra booleana para describir el comportamiento de los circuitos eléctricos de conmutación. Las ideas de Shannon contribuyeron al desarrollo de la ciencia de la información y llevaron al sistema binario de almacenamiento de información usado en el ordenador digital.

Shannon escribió, mientras se encontraba en los Laboratorios Bell en 1953, que «el problema de cómo trabaja el cerebro y cómo deben diseñarse las máquinas para simular su actividad es seguramente una de las preguntas más difíciles a las que se está enfrentando la ciencia actual». Sospechaba que si el álgebra booleana, representación del pensamiento humano, podía ser usado para describir los circuitos eléctricos, quizás los circuitos podían ser usados para describir el pensamiento.

También se recuerda a Shannon por un artículo aparecido en 1950, donde discutía la posibilidad de usar ordenadores para jugar al ajedrez. Fue uno de los primeros que dio a entender que tener todas las posibles combinaciones de movimientos que se podían hacer no era una estrategia práctica para jugar al ajedrez, estimando que si se emplea un método combinatorio puro y aun si el ordenador podía evaluar un millón de movimientos por segundo, se tardaría 10^{90} años en seleccionar un movimiento.

Norbert Wiener es muy conocido por desarrollar una nueva aproximación al entendimiento de como trabaja el universo. Desde Newton, los científicos habían adoptado un modelo basado en la energía, explicándose los procesos en función de la transferencia de energía. Wiener sugirió un modelo que fue extremadamente valioso para entender tanto a los ordenadores como a las

personas, en el que exponía que la transferencia de información, y no de la energía, era la mejor manera de modelar muchas formas distintas de fenómenos científicos.

Cibernética fue el nombre dado por Wiener a su enfoque de los fenómenos a través de la información, y así se llamó también al título de su libro publicado en 1948 sobre estas materias. Al describir los sistemas interrelacionados en función del intercambio de información, la cibernética apunta a las semejanzas funcionales entre los hombres y las máquinas, semejanzas que preocuparon e intrigaron a Wiener, y demostraron ser enormemente valiosas en las primeras investigaciones llevadas a cabo en IA.

II.4. *La Conferencia de Dartmouth*

El nacimiento oficial de la Inteligencia Artificial suele situarse en el verano de 1956 en la pequeña ciudad universitaria de Hanover, New Hampshire (EE.UU.), donde se encontraba el Dartmouth College.

En la Conferencia de Dartmouth se reunieron alrededor de una docena de científicos representantes de diferentes disciplinas, matemáticas, neurología, psicología e ingeniería eléctrica. Lo que conectaba a un grupo tan disperso es que todos ellos usaban la misma patente herramienta para realizar sus investigaciones: el ordenador.

Era más la forma en que usaban los ordenadores, y no el hecho de que lo hicieran, lo que distinguía su trabajo. Todos ellos, desde diferentes puntos de vista, estaban usando los ordenadores para simular distintos aspectos de la inteligencia humana.

Una nueva rama de la informática cristalizó en esta Conferencia, combinando elementos de distintas áreas de investigación en un campo unificado. No se llegó a un acuerdo en cómo se podía llamar a esta nueva ciencia; sin embargo, *Inteligencia Artificial*, que fue el nombre sugerido por John McCarthy, uno de los organizadores de la Conferencia, ha llegado a asociarse irrevocablemente con esta área de investigación.

La Conferencia fue financiada por la Fundación Rockefeller con 7500 dolares y estuvo organizada por cuatro científicos, de los que dos provenían de la Universidad y los otros dos de la industria. Sus objetivos eran examinar la posibilidad «que cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia pudiera ser descrita con tanta precisión que se pudiera construir una máquina que la simulara». Esta posibilidad sigue siendo el objetivo de la investigación en IA.

La Conferencia de Dartmouth es famosa no por los resultados que se obtuvieron en ella, sino porque el nombre de Inteligencia Artificial surgió durante la misma aplicado a un nuevo campo científico. También se encontraba allí la élite de los pioneros en la investigación en IA. Aún hoy, el liderazgo de la comunidad científica en inteligencia artificial en los Estados Unidos está compuesta fundamentalmente por los participantes en aquella Conferencia, sus discípulos y los discípulos de éstos.

Durante muchos años la investigación en IA fue llevada a cabo en unas cuantas instituciones, fundamentalmente centros de investigación en las Universidades. En la década de los setenta, el número en estos centros aumentó considerablemente y en la actualidad los cursos de IA se encuentran entre los más populares de los que se imparten en los departamentos de informática.

Los éxitos en la investigación en IA han tardado en convertirse en productos comerciales, pero en la actualidad se está realizando un gran esfuerzo de desarrollo en muchas compañías. De hecho, las mayores compañías americanas dentro del campo de las nuevas tecnologías tienen sus propios departamentos de investigación en IA y están incrementando sus esfuerzos para desarrollar productos destinados a un masivo mercado potencial. En los primeros años de los ochenta se han creado compañías especializadas exclusivamente en IA, y, aunque estos productos todavía se tienen que convertir en éxitos comerciales, hay que reconocer que la Inteligencia Artificial es el término que está de moda dentro de las industrias de alta tecnología.

El desarrollo de IA no se limita únicamente a los Estados Unidos. También existen proyectos de interés en Gran Bretaña y

Francia, y los japoneses están realizando uno de los esfuerzos más serios de investigación en IA.

III. ¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

Como señalamos en el apartado anterior, se considera habitualmente que el término «Inteligencia Artificial» fue propuesto por J. McCarthy y rápidamente aceptado para aunar en un solo cuerpo de doctrina las metodologías, filosofías y ambiciones de aquellos que trabajan en la solución mediante computadora de problemas tales como demostración de teoremas, razonamiento, procesamiento simbólico, juegos de intelecto, puzzles, etc., en general tareas consideradas como inteligentes cuando son realizadas por los humanos. Independientemente de los errores o falsas interpretaciones que pueden obtenerse del término Inteligencia Artificial es obvio que ha servido para cubrir una amplia gama de campos de investigación que de un modo u otro se dedican a explorar la automatización de los procesos del intelecto humano.

Resulta bastante difícil encontrar una caracterización sucinta de IA que abarque conceptualmente todos los campos que en la práctica se incluyen dentro de este área. De hecho encontrar una definición clara de IA es en sí misma materia de activa investigación.

La estrategia usual de caracterizar un término compuesto por medio de la definición de sus términos primitivos tampoco resulta ser de gran efectividad como puede comprobarse intentando describir de modo sucinto que es la Inteligencia o que significado tiene el calificativo Artificial.

Por estos motivos no hay consenso sobre una definición de IA y las dadas por diferentes autores suelen estar muy influenciadas por la forma en que cada uno de ellos concibe su propia investigación. En cualquier caso resulta interesante repasar algunas de las definiciones más comúnmente referenciadas (y quizás aceptadas).

Una de las definiciones más antiguas fue dada por M. Minsky en 1968:

La I.A. es la ciencia de hacer que las máquinas hagan cosas que requirieren inteligencia cuando las hacen los humanos».

Pocos comentarios pueden hacerse acerca de esta definición porque realmente carece de contenido.

A. Barr y E.A. Feigenbamm establecen en 1981:

La IA es la parte de las Ciencias de la Computación que tiene por objeto diseñar sistemas informáticos inteligente, es decir sistemas que exhiban las características que asociamos con la inteligencia humana: comprensión del lenguaje, aprendizaje, razonamiento, resolución de problemas, etc.

Esta definición es operativa en el sentido de que indica lo que hacer, que objetivos se persiguen, haciendo hincapié en los aspectos prácticos de implementación, pero no establece principio general alguno acerca del posible desarrollo de una teoría del conocimiento humano o de la búsqueda de asociaciones entre la inteligencia humana y el desarrollo de autómatas. Queda claro, sin embargo, que el objetivo es conseguir que los sistemas «simulen (en el sentido de dar los mismos resultados) el comportamiento inteligente, pero en ningún caso se persigue que «imiten» (funcionen del mismo modo) que lo hace la mente humana. Así pues queda pendiente definir lo que se entiende por inteligencia cuando se postula de una máquina.

Una invitación aparentemente poco ingeniosa a aceptar la posibilidad de computadores de altas prestaciones fue dada por P.Y. Gloess en 1981:

«La Inteligencia Artificial es el proceso por el cual ingenios mecánicos son capaces de llevar a cabo tareas que requieran ser pensadas cuando las realizan los seres humanos».

Obsérvese que aquí el énfasis se hace sobre las capacidades de las máquinas y que es profundamente optimista pues no deja nada a la investigación o la posibilidad, la IA simplemente hace «capaces» a las máquinas.

Ninguna de las definiciones anteriores establece una distinción que es esencial para comprender que es la IA o al menos para cla-

sificar un trabajo dentro de este ámbito. No todas las tareas que requieren inteligencia o ser pensadas cuando las ejecutan los humanos se consideran propias de la IA. Por ejemplo, las operaciones aritméticas, que ciertamente demandan cierta cantidad de empleo del intelecto para ser realizadas, se consideran no inteligentes sino simplemente «mecánicas» cuando se realizan por medio de un computador y no son de interés en IA. En general cualquier tarea que pueda ser descrita por medio de un algoritmo (es decir mediante un sucesión bien determinada de pasos) no es de interés para la IA. En esto radica la diferencia crucial entre esta y otras ramas de las Ciencias de la Computación.

El sentido de esta distinción se capta bastante bien en la siguiente caracterización dada por W.B. Gevarter en 1985

La IA tiene como objetivo la modelación de la conducta inteligente, básicamente procesos no numéricos que conllevan complejidad, incertidumbre y ambigüedad y para los que no existe solución algorítmica.

Esta descripción difiere de las anteriores en que las «máquinas», es decir los ordenadores, no se mencionan en absoluto. Con ello solo se pretende resaltar la idea de que la IA pretende encontrar descripciones de los procesos inteligentes susceptibles de ser encapsuladas en un modelo que reproduzca sus resultados, sin restar en absoluto importancia al ordenador pero relegándolo al papel de una herramienta. Además en esta definición se hace hincapié en que se trate de simular la conducta sin tener para nada en cuenta que el modelo refleje la realidad intelectual o psicológica del proceso humano subyacente.

Este punto de vista no es compartido por todos los autores y algunos hacen un especial énfasis en la construcción de modelos de la actividad inteligente que sean psicológicamente significativos.

A esta idea responden definiciones como las dadas por N.J. Nilsson en 1980 o por H.A. Simon en 1985 que respectivamente establecen:

La IA tiene el amplio objetivo de construir una teoría de la inteligencia como proceso de información. Con base en dicha teoría podría abordarse el diseño de máquinas inteligentes así como

explicar la conducta inteligente tanto de los humanos como de otros animales.

El objetivo central de la IA es modelizar, simular, mimetizar y duplicar los fenómenos psicológicos.

Esta forma de enfocar la IA ha tenido fuertes repercusiones en Psicología, donde desde hace tiempo ha aparecido una corriente de investigadores para los que el computador es una herramienta clave con la que simular y probar modelos de comportamiento y en cuya construcción y diseño juegan ahora un papel fundamental los aspectos computacionales.

Siguiendo esta línea, actualmente esta emergiendo la materia interdisciplinar entre Psicología e IA conocida como Ciencia Cognitiva. Aunque su objetivo original ha sido la inteligencia humana, hay autores (pertenecientes a la vanguardia doctrinal) que han propuesto ampliar el concepto de mente, lo que permite de modo inmediato imaginar procesos inteligentes que no tengan nada que ver con los humanos. En este contexto aparece una muy amplia concepción de la Inteligencia en la que tienen cabida las actividades de organismos tan simples como una ameba o de mecanismos simples como un termostato. De forma muy sucinta puede decirse que se trata de caracterizar la inteligencia de una «mente» en términos de lo que puede hacer o no hacer más que en términos comparativos con el ser humano. Del mismo modo, dentro de esta línea doctrinal se revisa el concepto de máquina para incluir dentro de esta categoría de objetos a cualquier sistema teleológico.

La combinación de estas ideas abre el camino hacia un nuevo y quizás avanzado intento de síntesis de talentos intelectuales de entidades de diferente tipo de finalmente conduzcan a la creación y evolución de *máquinas suprainteligentes*.

Resumiendo lo dicho en este apartado podemos decir que existen tres grandes tendencias a la hora de concebir los objetivos y el carácter de la IA como Ciencia.

- 1.- Conseguir ordenadores más inteligentes en el sentido de simular tareas tradicionalmente consideradas como tales en los humanos.

- 2.- Simular la conducta humana y los procesos cognitivos sobre un ordenador.
- 3.- Estudiar la naturaleza de la totalidad del espacio de mentes inteligentes situando en él a hombres y ordenadores.

Obviamente la mayor parte de la investigación de lo que podríamos denominar IA, clásica se lleva a cabo dentro de la primera tendencia perteneciendo las otras dos a campos interdisciplinares emergente que no debemos perder de vista.

IV. PROBLEMAS Y METAS DE LA I.A.

Como hemos comentado muchos intentos de describir o caracterizar la I. A. se hacen en términos de las tareas o retos que esta disciplina se impone. Por ello resulta útil identificar algo más explícitamente alguna de las grandes líneas de investigación por las que se ha desarrollado la I.A.

IV.1. *Juegos (Game Playing)*

Como ya hemos comentado uno de los primeros retos que se plantearon como propios de la I.A. fue la construcción de programas de ordenador capaces de jugar con alto nivel juegos intelectuales tales como las damas o el ajedrez

La investigación en este ámbito ha sido enormemente fructífera en cuanto al establecimiento de metodología y principios generales de la I.A. (como tendremos ocasión de ver algo más adelante) y por otro lado, el éxito alcanzado se puede calificar incluso de dramático.

Aunque autores como A. Turing o C. Shannon habían analizado de modo teórico las reglas del ajedrez e incluso habían realizado simulaciones manuales de las mismas en la década de los cincuenta, se considera que la investigación en este área arranca efectivamente con los trabajos de A.L. Samuels a comienzos de los años sesenta dentro de la Corporación IBM.

Originalmente Samuels atacó el juego denominado Checkers (una variante inglesa de las damas) desarrollando después de varios años y algunos fracasos notables un programa bastante eficiente.

La primera idea de Samuels fue emplear la capacidad y velocidad del ordenador para especificar de modo más o menos exhaustivo la secuencia de movimientos que constituían una partida perfecta. El método, aunque teóricamente impecable, es absolutamente imposible de aplicar salvo en juegos elementales (tres en raya o tic-tac-toe) debido al enorme número de posibilidades a tener en cuenta. Por ejemplo, se ha evaluado que en el ajedrez existen alrededor de 10^{20} partidas posibles (el número de protones en el universo se estima en 10^{75}) lo que hace obviamente imposible su exploración exhaustiva). Por ello los investigadores se vieron obligados a incorporar «conocimiento experto» y «capacidad de aprendizaje» en los programas que desarrollaban al objeto de reducir drásticamente el espacio de búsqueda de modo similar a como lo hace un jugador humano.

Este cambio de orientación en el enfoque de los métodos de trabajo (que también se hizo necesario en otras áreas de la I.A.) fue determinante en cuanto a la concepción de las metodologías en el ámbito de la I.A.

Los mejores programas modernos que juegan al ajedrez pueden equipararse e incluso superar a los grandes maestros. Recuérdese que este mismo año Kasparov ha tenido dificultades para finalmente vencer al último «producto» de IBM. En términos generales puede afirmarse que los programas de ordenadores superan a los jugadores humanos cuando el tiempo por movimiento está limitado, mientras que ocurre lo contrario cuando no hay restricciones temporales para el desarrollo del juego.

IV.2. Lógica y demostración de teoremas

El interés por el desarrollo de programas de Demostración Automática de Teoremas (deducción) ha sido creciente desde que, a comienzos de los 50, A. Newell, J.C. Shaw y H.A. Simon

desarrollaron el programa denominado «The logic Theorist» (el Teórico Lógico) que podía demostrar de modo automático algunos teoremas.

El resultado práctico más notable de estas investigaciones quizás sea el lenguaje de programación PROLOG que es (junto con el LISP) una de las herramientas básicas en esta área de la I.A.

Las técnicas empleadas en la mecanización de la lógica son diferentes en algunos aspectos del método de razonamiento lógico de los humanos ya que la mayor parte de ellos (por no decir todos) se basan en el *Método de Resolución* descubierto por J.A. Robinson en 1965. Aunque este método es eficiente y muy adecuado para su implementación en un ordenador, no evita sin embargo un problema de explosión combinatoria ligado a la búsqueda en un enorme conjunto de cláusulas de posible elección, cuyo tamaño crece de modo exponencial conforme el proceso de deducción avanza.

Como en el caso de los juegos, la solución de este problema pasa por introducir métodos para reducir el espacio de búsqueda incorporando algún tipo de conocimiento experto particular. No obstante la mayoría de los métodos que se han desarrollado (Resolución SL, Paramodulación, Hiperparamodulación, etc) son más bien técnicos y no responden a la realidad del comportamiento humano. Sólo algunas excepciones como la *deducción natural* o los *métodos de tablas* parecen más consistentes con el método de razonamiento humano del que deben derivarse.

IV.3. Resolución de problemas (Problem Solving)

Al igual que los juegos intelectuales, los puzzles en sus múltiples variantes (dentro de los cuales se clasifican problemas lógicos combinatorios tales como el de las Tres Reinas o el de los Misioneros y los Caníbales) han despertado casi desde el principio la atención de los investigadores en el ámbito de la IA. La resolución de todos estos problemas es una actividad catalogable como intelectual (o que al menos requiere una cierta dosis de inteligencia aplicada), y por ello constituye un campo fascinante

sobre el que se ha desarrollado y ensayado técnicas que actualmente son consideradas estándar en el ámbito de la I.A.

El objetivo de las investigaciones que se han desarrollado no ha sido meramente la resolución de estos problemas (simples pasatiempos muchos de ellos) sino más bien la abstracción de sus características lógicas en orden a desarrollar técnicas estándar de representación del conocimiento y estrategias de solución. Se esperaba que pudiesen identificarse métodos muy generales de amplio espectro de aplicación. Esta idea afloraba claramente en el nombre de un programa escrito por Newell Saw y Simon a comienzos de los años sesenta: GPS (General Problem Solver) concebido para resolver cualquier problema que implicase la construcción de una solución-meta a partir de un punto (posición) de partida, empleando un conjunto de reglas predeterminadas al efecto.

Aunque GPS fue construido con base en una técnica de reducción de diferencias que es frecuentemente empleada por los humanos para abordar este tipo de problemas, resultó ser de capacidad limitada y de aplicación escasa a problemas reales de complejidad incluso moderada.

Esto supuso un cambio importante de los modelos de la IA, que a partir de la década de los setenta opta por la construcción de programas fuertemente basados en el conocimiento específico acerca de un dominio, más que por la búsqueda de programas que sean resolvidores generales de problemas. Posteriormente y en el ámbito de la robótica volveremos a ver una conclusión en cierto modo similar.

IV.4. Sistemas basados en el conocimiento, sistemas expertos

Hablando en términos generales un Sistema Basado en el Conocimiento (SBC) es aquel Programa (en general sistema hardware-software) que emplea masivamente conocimiento para resolver un problema dentro de un dominio determinado. Dentro de este ámbito pueden englobar aplicaciones que actualmente van desde la predicción meteorológica hasta el control y detección de faltas en plantas industriales.

Dentro de esta categoría destacan los Sistemas Expertos (SE) que pueden definirse como aquellos SBC capaces de comportarse como un experto (humano) en un determinado dominio de actividad. Aparte del empleo del conocimiento específico acerca de tal dominio, un SE debe poseer la capacidad de dar explicación acerca del proceso de razonamiento, de los caminos seguidos o desechados y de los datos que se han empleado para ello.

Durante bastante tiempo y para un amplio sector de la comunidad científica no especialista, los SE fueron sinónimos de IA. Por ello vamos a referirnos a ellos con un poco mayor detalle, aunque posteriormente haremos algunas referencias a otros casos notables de SBC.

Los tres primeros Sistemas que pueden calificarse de propiamente Expertos (desarrollados a comienzos de la década de los setenta) son DENDRAL, dedicado a la información de estructuras químicas a partir de datos de un análisis espectrográfico, MYCIN que proporciona diagnóstico y tratamiento de infecciones bacterianas y PROSPECTOR que analiza datos geológicos y calculaba la probabilidad de existencia de yacimientos minerales. En cada uno de estos casos, el funcionamiento del sistema igualó, e incluso superó, a los expertos humanos del respectivo dominio, resultados que tuvieron una notable influencia en la generación de un infundado optimismo tanto acerca de las posibilidades de los ordenadores para realizar tareas avanzadas como de las fuertes analogías entre la inteligencia de los hombres y las máquinas. Tal optimismo sería moderado posteriormente por los fracasos dentro de esta y otras áreas del ámbito de la I.A.

Con todo, el área de los SE ha sido paradigmática dentro de la IA y ha cosechado importantes éxitos contándose en la actualidad por cientos los SE que funcionan eficientemente en dominios industriales, científicos, tecnológicos, asistenciales, etc..

En cuanto a SBC no explicativos, la vanguardia la ostentan actualmente los sistemas dedicados al control de procesos, que tienen su ancestro en los servomecanismos que clásicamente han sido el objeto del área de Ingeniería que se conoce como Automática. A partir de 1975 se construyen sistemas de control (inteligentes) que incorporan la Lógica Difusa para la represen-

tación y manejo del conocimiento acerca de las reglas de control del proceso en cuestión. El éxito obtenido con este tipo de sistema de control ha sido tal que se ha generado una industria que mueve más de quince mil millones de dólares anuales. A la cabeza de esta actividad se encuentran los japoneses, con realizaciones que van desde el control del vuelo de un helicóptero, el control de un coche por órdenes verbales o el control del funcionamiento del metro en la ciudad de Sendai (Japón), hasta el control inteligente del punto de cocción del arroz (una tarea nada sencilla y de innegable importancia en el país al que nos estamos refiriendo).

Es obvio que una tarea clave en la construcción de cualquier SBC es la elicitación y representación del conocimiento pertinente en el dominio de interés (realmente y como ya hemos comentado este proceso es la clave en toda realización de I.A. y constituye el objeto de la denominada Ingeniería del Conocimiento). Esta necesidad ha estimulado una intensificación de las investigaciones sobre la obtención automática del conocimiento experto y el desarrollo de la capacidad de adaptación (que por otro lado son dos obvias manifestaciones de inteligencia).

IV.5. Aprendizaje automático

Aunque desde un punto de vista práctico el aprendizaje automático puede justificarse por la eventual agilización del proceso de adquisición del conocimiento, desde un punto de vista formal el desarrollo de la capacidad de aprendizaje de los computadores es quizás el empeño más crucial en cualquier movimiento hacia la obtención real de inteligencia en las máquinas.

El aprendizaje es una característica central de la inteligencia humana. Desafortunadamente es un fenómeno mal conocido, y por ello no existe una forma fácil de construir procedimientos automáticos de aprendizaje por copia de los correspondientes humanos. Esta dificultad es particularmente más notable después del declive de la credibilidad de los enfoques conductistas, ya que estos son los únicos que proponen un esquema claro del proceso

de adquisición del conocimiento dentro de un modelo estímulo-respuesta.

Una dificultad con la que tiene que enfrentarse de modo inmediato cualquier investigador en el área del aprendizaje automático es la diferencia fundamental entre la memoria humana y la del ordenador. Sin entrar en grandes profundidades, podemos observar que el ser humano encuentra dificultades a la hora de recuperar información memorizada, proceso que es casi instantáneo, automático y casi trivial para un ordenador. Por contra, los seres humanos podemos discernir entre información importante o datos poco útiles, y podemos almacenar, recuperar y manejar información contaminada por ruido o incompleta a partir de estímulos-preguntas mal formuladas. La cuestión clave es como incorporar estas cualidades clave dentro del proceso de aprendizaje automatizado, teniendo en cuenta que la forma en que tiene lugar este proceso no es bien conocida.

En la década de los cincuenta y con base en la neurona de McCulloch, se construyen las denominadas «máquinas en red» (*Redes Neuronales*) como modelos conexionistas del cerebro humano. La más famosa de todas ellas es el Perceptron diseñado por F. Rosemblat en 1958. Este autor demostró una cierta capacidad de aprendizaje de su máquina por un procedimiento algorítmico relativamente simple. Esto hizo surgir una vez más la expectación optimista acerca de la capacidad de aprendizaje (y otras capacidades inteligentes) del Perceptron y máquinas similares.

Posteriormente, a finales de los años sesenta algunos trabajos teóricos clave de M. Minsky y S. Papert pusieron de manifiesto algunas limitaciones de aprendizaje del Perceptron, lo que esencialmente supuso un parón notable de las investigaciones sobre las posibilidades de las máquinas en red, y un cambio de orientación en las investigaciones sobre aprendizaje y adaptación. Aparecen entonces toda la amplia variedad de las técnicas basadas en árboles de decisión o en la generación de estereotipos (Análisis de Datos, Análisis Cluster, etc.)

A mediados de la década de los setenta, se probó que las limitaciones de las máquinas en red eran superables mediante algoritmos de aprendizaje más complejos que los originariamente pro-

puestos por Roseblat y esto supuso un renacimiento sumamente vigoroso del estudio de estos paradigmas de sistema capaz de aprender.

Actualmente se ensayan modelos mixtos que tratan de combinar las características más deseables de modelos de distintos tipos, siendo esta una de las líneas de investigación más vanguardistas dentro de la IA.

IV.6. *Procesamiento de lenguaje natural*

De acuerdo con las más clásicas definiciones o caracterizaciones de Inteligencia (recordemos a Descartes o Turing), la comprensión y generación de frases con sentido en lenguaje natural es una actividad clave para poder calificar a un sistema como inteligente y por ello, pocos problemas han recibido una atención tan sustancial a lo largo de los años dentro de la IA. A las razones teóricas hay que añadir motivos de índole práctica ya que si los ordenadores pudiesen procesar el lenguaje natural, nuestra comunicación con ellos se vería enormemente facilitada.

Para comprender las dificultades que tiene la automatización del procesamiento del lenguaje natural, basta considerar que este es sumamente informal y puede ser ambiguo, impreciso e incompleto aunque las frases estén correctamente formadas, añadiéndose que en muchos casos realizamos construcciones sumamente incorrectas.

Hay que destacar que al referirnos a procesamiento del lenguaje natural normalmente aludimos al lenguaje escrito sobre un teclado o visualizado en una pantalla. Las tecnologías que se refieren al lenguaje hablado serán comentadas posteriormente.

Entre los primeros intentos de comprensión del lenguaje que se realizaron dentro de la IA está el diseño de programas para la traducción automática. Desde 1956 se disponía de programas para traducir (mal pero automáticamente) del ruso al inglés. En realidad estos programas no eran más que diccionarios y pronto se comprobó que no bastaba añadir un poco de gramática a un léxico para conseguir un buen resultado, ya que es necesaria una cier-

ta comprensión del texto para una buena traducción. Por otro lado se plantea el problema de que un programa de traducción de «tipo diccionario» está ligado a dos lenguas concretas en un orden determinado y de este modo la traducción entre por ejemplo 10 idiomas requiere 90 programas diferentes.

Recogiendo todas estas dificultades el informe ALPAC (1964), emitido por un conjunto de expertos del gobierno norteamericano, establecía la imposibilidad de obtener buenos resultados en este campo, lo que condujo a la retirada de los fondos gubernamentales dedicados a las investigaciones, con el consiguiente parón de los mismos. Sin embargo, ya en esta época R. Shank había encontrado un nuevo enfoque del problema que a la larga se demostró enormemente fructífero.

La idea de Shank era realizar las traducciones pasando por un intermediario, que se puede considerar como la representación del sentido del texto independientemente de la estructura superficial de la lengua natural en la que dicho texto está escrito. De este modo para traducir hacen falta dos programas, un *Analizador* (que pasa de una lengua natural a la representación de sentido) y un *Generador* (que pasa de la representación de sentido a una lengua natural).

Con esta forma de abordar el problema se resuelven las dos dificultades apuntadas: 1) se traduce pasando por la comprensión de los textos, lo que debe producir buenas traducciones, 2) Para trabajar con cualquier idioma sólo se necesitan dos programas y de este modo la posibilidad de traducción de 10 lenguas sólo requeriría 20 programas.

Este descubrimiento es, por otro lado, sumamente importante para el procesamiento del lenguaje, pues un Analizador permite que un ordenador «comprenda» el lenguaje natural, mientras que el Generador permite que el ordenador responda del mismo modo. Un hito clave en esta forma de abordar los problemas es el programa SHDRLU realizado por I. Winograd en 1970. Este programa trabaja en un universo sencillo que contiene una mesa, una caja y varios bloques o pirámides, disponiendo de un *brazo robótico* para cambiar la disposición de este universo. El programa era capaz de ejecutar las ordenes dadas mediante frases simples en

inglés (cambiar o mover bloques) así como responder a preguntas sobre el estado o disposición de su universo.

A partir de la década de los setenta y con la proliferación y el aumento de tamaño de los Sistemas de Bases de Datos, aparece un nuevo problema ligado al procesamiento del lenguaje natural, la búsqueda y recuperación inteligente de información. Este problema ha alcanzado en los noventa una importancia trascendental como consecuencia de la gigantesca expansión de las posibilidades de consulta que han producido las comunicaciones en red. El desarrollo de Sistemas inteligentes para el manejo de la información es una línea de vanguardia de gran importancia en áreas tales como Salud, Gestión Bancaria, Documentación, etc. De hecho se ha acuñado el nombre de *Explotación de Datos* (Data Mining) para esta parcela de actividad.

Para terminar este apartado hay que hacer notar que desde su aparición a mediados de la década de los sesenta, la Teoría de Subconjuntos Difusos, como teoría especialmente destinada a la modelización de la imprecisión (incertidumbre no aleatoria), ha sido una herramienta clave en el desarrollo de herramientas para procesamiento de lenguaje natural.

IV.7. *Percepción*

IV.7.1. Reconocimiento del habla

El objetivo del procesamiento del lenguaje natural, es hacer nos más fácil la comunicación con el ordenador, permitiéndonos escribir y leer en lenguaje normal. Sin embargo, la escritura y la lectura no son los modos normales de comunicación entre las personas, ya que usualmente lo hacemos por medio del habla.

De la misma forma que el procesamiento del lenguaje natural está dividido en dos áreas (entendimiento y generación) el procesamiento del habla consta de los siguientes campos:

- Reconocimiento del habla/ reconocimiento y entendimiento por el ordenador del lenguaje hablado.
- Síntesis del habla / generación del habla por el ordenador.

El término reconocimiento del habla se aplica a veces únicamente, al reconocimiento de las palabras que se han dicho, sin interpretar necesariamente su significado. A la otra parte del proceso que se relaciona con el significado del habla se le llama entendimiento del habla. Téngase en cuenta que es posible entender el significado de una frase hablada sin reconocer de hecho cada palabra.

Se ha demostrado que la síntesis del habla es un proceso mucho más sencillo que el reconocimiento del habla. El mayor problema en la síntesis del habla es que el ordenador determine lo que quiere decir, problema coincidente con la generación del lenguaje natural. Una vez que ha decidido lo que quiere decir, no es difícil que el ordenador construya físicamente las palabras y frases correctas, ya que eso no requiere ninguna «inteligencia» especial.

El habla como cualquier sonido, se transmite a través del aire en forma de ondas de distintas frecuencias y amplitudes. Cuando estas ondas alcanzan un sensor electrónico, como un micrófono, se convierte en señales eléctricas capaces de ser analizadas por un ordenador.

Una vez que se ha convertido el habla en una señal eléctrica, independientemente de la técnica usada, se deben analizar los patrones de señal para determinar cuáles son las palabras que representan. El método más usado es la identificación de unidades de habla más pequeñas que las palabras, en lugar de intentar hacerlo con las palabras completas. Estas unidades lingüísticas son las sílabas, fonemas y alófonos.

Aún cuando los distintos elementos de una señal de habla hayan sido analizados e identificados, el proceso de reconocimiento del habla no está completo. Cuando hablamos, normalmente lo hacemos de una forma imprecisa. Muchas palabras tienen sonidos similares y en una conversación continua puede ser difícil determinar cuando termina una palabra y cuando empieza la siguiente. Este problema no se presenta únicamente en los ordenadores ya que es común que las personas tengan dificultades de entendimiento en el transcurso de una conversación ordinaria. Los métodos que empleamos los humanos para solventar

estas dificultades están siendo investigados en orden a ser incorporados a sistemas eficientes de reconocimiento de lenguaje hablado.

Posibles áreas de aplicación del reconocimiento del habla son:

- Medicina. Fichas médicas, servicios para los disminuidos físicos.
- Entretenimiento y educación. Juguetes controlados por la voz, video- juegos interactivos.
- Proceso de control de fabricación. Operación de máquinas, distribución de paquetes.
- Automatización de oficinas. Entrada de datos, dictado automático, transcripción automática.
- Seguridad. Identificación de voz, acceso a edificios.

IV.7.2. Visión por ordenador

El proceso de la visión humana, que es el sentido a través del cual recibimos la mayor parte de la información proveniente del mundo que nos rodea, no se comprende totalmente. De la misma forma que las ondas sónicas que llegan a un micrófono pueden ser transformadas en señales eléctricas, las ondas de luz pueden ser transformadas por una cámara que usa técnicas de procesamiento de señales. El procesamiento inteligente de estas señales por medio de un ordenador debe «idealmente» conducir a la identificación de las imágenes. Por ahora sólo se han conseguido algunos resultados parciales y se está aún lejos de resolver el problema en toda su extensión. En la actualidad, la visión por ordenador está considerada como un área clave de investigación en el campo de la IA.

Las imágenes visuales han sido almacenadas en los ordenadores desde el principio de los cincuenta, aún antes de la iniciación formal de la investigación en IA. Una imagen recibida por una cámara puede ser digitalizada usando un conversor analógico-digital y almacenada en un ordenador como una matriz de puntos individuales llamados *pixels*. Se puede incrementar la perfección

de la imagen digitalizada usando una densidad mayor de pixels, para lo que se requerirá más memoria en el ordenador.

A partir de esta representación se usan técnicas de inteligencia artificial para analizar e interpretar una imagen digitalizada. Los sistemas de visión por ordenador analizan los pixels para determinar distintas características de la imagen, el color, la profundidad, la textura y el movimiento.

Una vez que se ha analizado la imagen digitalizada, comienza la difícil tarea de reconocimiento, actividad en la que podemos distinguir dos niveles de dificultad:

- Reconocimiento de Formas: establecer los objetos que forman parte de la imagen.
- Reconocimiento de Escenas: comprender lo que la imagen significa.

Hay que hacer notar que se está lejos del Reconocimiento de Escenas, habiendo avanzado mucho, sin embargo en el Reconocimiento de Formas.

En los Estados Unidos la mayor parte de la investigación de visión por ordenador se ha desarrollado para aplicaciones militares, incluyendo la navegación e identificación de blancos. También se trabaja en sistemas de visión para robots, con aplicaciones que incluyen el manejo de materiales, inspección y prueba.

Aplicaciones notables de la visión por ordenador son:

- Lectura en voz alta de texto impreso, combinando la visión por ordenador y la síntesis del habla.
- Monitorización e información procedente de sensores tales como las gráficas de bandas de los sismógrafos.
- Generación de mapas a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

IV.8. Robotica

La robotica puede definirse como la ciencia o (tecnología) de los robots, máquinas que pueden ser programadas para que realicen tareas más o menos concretas y complejas.

En ciencia ficción, un robot es a menudo una máquina móvil en forma humanoide. Sin embargo, en la práctica, la mayor parte de los robots sólo emulan un único miembro humano: el brazo. Estos robots generalmente constan de un manipulador (*brazo*), un extremo efector (*mano*) y un dispositivo de control que acciona el mecanismo.

La mayor parte de los robots en uso hoy día están diseñados para aplicaciones industriales, tales como soldadura puntual, pinturas con spray y manejo de materiales. Son especialmente útiles en las industrias electrónica y del automóvil. En la actualidad, el Japón se encuentra por delante de los demás países en tecnología de robots; se estima que más de la mitad de los robots industriales en el mundo se encuentran en Japón.

Estos robots industriales son considerados como no inteligentes dándoseles el calificativo de programables, ya que sólo pueden ejecutar movimientos y acciones que responden a un algoritmo prefijado. Sin embargo un robot inteligente debe ser capaz de modificar su comportamiento atendiendo a los estímulos que recibe del exterior (incluyendo posibles ordenes que establezcan de modo general la acción o tarea que se le ha encomendado). Por este motivo los robots inteligentes deben estar dotados de sensores que los pongan en contacto con el entorno. Los robots inteligentes formulan y ejecutan planes y monitorizan su propia operación y la mayor parte de ellos han sido construidos de manera que son capaces de moverse de un sitio a otro por sí mismos. Estos robots móviles usan distintos métodos de locomoción: algunos se desplazan sobre ruedas, otros «gatean» cuando son desplazados por sus manipuladores, otros «saltan» sobre una pata y algunos andan sobre cuatro.

Desde un punto de vista formal la única parte de un robot que pertenece al área de interés de la IA son los programas que lo ponen en contacto con el exterior (reconocimiento de habla o visión) y el que controla su funcionamiento y le permite exhibir una conducta inteligente. El resto: sensores, actuadores, desplazadores, etc. son el objeto de otras Ciencias y Tecnologías como la Automática o la Ingeniería Industrial.

Los programas de control fueron concebidos originariamente como Planificadores, empleando en gran medida resultados obtenidos en Resolución de Problemas. La idea es que para realizar cualquier acción el robot construye un plan global previo (trayectoria), que tenga en cuenta la acción, el entorno y las posibles eventualidades. Esta forma de abordar el problema ha demostrado ser ineficiente en problemas complejos, ya que prever todas las posibilidades de una situación puede resultar casi imposible. Además resulta computacionalmente costoso en tiempo y memoria, lo que disminuye la eficiencia del robot. Por otra parte la planificación no responde a la realidad humana ya que en la mayor parte de las situaciones el hombre establece sus acciones localmente en el tiempo y en el espacio, realizado de este modo «movimientos» parciales que le conducen a describir la trayectoria global requerida.

Con esta idea como base, actualmente se investiga la programación de robots inteligentes por medio de *Agentes Independientes*. Cada Agente es un programa muy específico capaz de controlar únicamente la realización de una tarea muy concreta, está siempre disponible y sólo actúa cuando se requiere que el robot realice la acción que él es capaz de llevar a cabo. La confluencia de los diferentes Agentes debe permitir al robot realizar las tareas que se le encomienden. Con esta filosofía se han conseguido algunos éxitos en robots recogedores de basuras y limpiadores.

IV.9. Otras áreas de interés

IV.9.1. Enseñanza asistida por ordenador

La enseñanza asistida por ordenador se ha desarrollado durante bastantes años y ha ayudado notablemente al proceso educacional. En la actualidad, las técnicas de IA están dirigidas a la creación de «tutores» informatizados, que modelan técnicas de enseñanzas de acuerdo con los patrones de aprendizaje de cada caso particular.

IV.9.2. Programación automática

De una manera sencilla, podemos decir que la programación es el proceso por el cual comunicamos al ordenador lo que queremos que haga. El desarrollar un programa normalmente requiere bastante tiempo. Un programa o sistema de programas (grupo de programas interrelacionados) requiere ser diseñado, escrito, probado, depurado y evaluado.

El objetivo de programación automática es crear programas especiales que actúan como «herramientas» inteligentes, ayudando a los programadores en cualquier fase del proceso de programación. La intención última de la programación automática es un sistema de ordenador que puede desarrollar programas por sí mismo, en respuesta a las especificaciones de un programador.

IV.9.3. Planificación y soporte de decisiones

Cuando se tiene un objetivo, o se confía en la providencia y en la suerte para alcanzarlo o se diseña e implementa un plan. La consecución de un objetivo complejo puede requerir la construcción de un plan muy detallado. Por ejemplo, el desarrollo de planes económicos puede necesitar la recolección y evaluación de cantidades importantes de información.

Los programas de planificación que usan técnicas IA se diseñan para proporcionar asistencia activa en el proceso de planificación y se espera que sean particularmente útiles a los gestores con responsabilidades en la toma de decisiones.

V. MÉTODOS EN IA

Nuestro rápido repaso sobre los distintos problemas que forman el cuerpo de la I.A. parece dar la idea (no completamente equivocada) de que la materia que nos ocupa es una reunión de disciplinas dispares (si no de problemas aislados) cada uno con su metodología propia. No obstante es posible identificar algu-

nos componentes que aparecen en casi todos los desarrollos de IA.

Si atendemos a la definición de Inteligencia dada por Lenat y Feigenbamm como la *capacidad de encontrar rápidamente una solución adecuada en lo que en principio es un inmenso espacio de alternativas* vemos que la *búsqueda* aparece como algo que debe realizar todo (o casi todo) sistema que pretendamos que manifiesta una conducta inteligente. Ahora bien y como ya se puso de manifiesto desde el comienzo del desarrollo de la IA, para conseguir resultados efectivos no basta con tener algoritmos de búsqueda mas o menos complejos, sino que también debemos incorporar conocimientos sobre el dominio en cuestión. De hecho, suele enunciarse como el *Principio del Conocimiento* el siguiente: *Un sistema exhibe un comportamiento inteligente, debido principalmente al conocimiento que puede manejar: conceptos, hechos, representaciones, métodos, modelos, metáforas y heurísticas en su dominio de actuación.* Así, pues debe llegarse a un compromiso entre conocimiento y búsqueda. Por una parte, la búsqueda es costosa comparada con el bajo coste de almacenar el conocimiento para usos futuros, pero, aún en dominio muy restringidos, es prácticamente imposible tener almacenados todos los posibles casos y situaciones con las que nos podemos encontrar.

A continuación vamos a examinar siquiera brevemente «conocimiento y «búsqueda», los dos componentes que suelen aparecer en casi todos los desarrollos de IA.

V.1. Conocimiento. Representación del conocimiento

Siguiendo a Frost, podemos definir *conocimiento* como la *representación simbólica de determinados aspectos de algún dominio de discurso.* Usualmente se distingue el concepto de conocimiento del de *dato*, entendiéndose este último como una *representación simbólica de aspectos simples de algún dominio de discurso.*

Sin entrar a discutir si todas las anteriores distinciones son exactas o no, es importante destacar que el hombre manipula

conocimiento muy complejo en sus tareas habituales, mucho más que una representación a través de una tabla, como es el caso, por ejemplo, del modelo relacional de bases de datos. De hecho, los psicólogos cognitivos descubrieron que no representamos todo nuestro conocimiento del mismo modo, sino que utilizamos distintos modelos, dependiendo del dominio particular con el que nos enfrentamos.

Solemos referirnos al siglo XX como la era de las comunicaciones. Esto pone de relieve la importancia que tiene en nuestros días la información o transmisión de conocimiento, que se ha convertido en un producto de innegable valor económico en la sociedad actual. Esto justifica que se haya acuñado el nombre de *Ingeniería de Conocimiento* para designar la rama de la Inteligencia Artificial que tiene como objetivos genéricos el *extraer, depurar y fijar conocimiento*.

Al igual que no hay una única teoría que explique la organización del conocimiento en la mente humana, tampoco existe un método óptimo para estructurar los datos en un ordenador, tampoco hay una única técnica o modelo para la representación del conocimiento que pueda considerarse ideal.

En cualquier proceso de representación del conocimiento, hemos de identificar o establecer cada uno de los siguientes elementos:

- *Modelo*, como un conjunto de conceptos y reglas que pueden utilizarse para formalizar y organizar la percepción de un determinado dominio de discurso.
- *Lenguaje o sistema de representación* que permita describir mediante términos simbólicos los elementos identificados anteriormente. De hecho, ha definido conocimiento como la representación simbólica de aspectos de un determinado modelo.
- *Lenguaje de programación* que posibilite la implementación de la estructura de representación formal del apartado anterior. Este ha de ser un simple vehículo para llevar a un ordenador la descripción del mundo a través de un lenguaje simbólico determinado, y no se puede condicionar el modelo utilizado a un determinado lenguaje de programación.

A continuación y por su interés general vamos a hablar un poco de los distintos modelos de representación, obviando por su particularidad tanto el lenguaje, de representación como el de programación. Hemos de destacar que no vamos a entrar en el debate sobre la división funcional del conocimiento, es decir, sobre si debe adoptarse una visión procedural o declarativa. El desarrollo tecnológico ha demostrado que ambas aproximaciones tienen sus ventajas e inconvenientes, por lo que no deben verse como rivales, sino complementarias.

V.1.1. Modelos de conocimiento basados en modelos de memoria

Tiene su origen en el estudio de cómo el hombre estructura en su mente trozos de conocimiento más o menos estáticos. Dependiendo de la complejidad, podemos distinguir entre:

- *Modelo relacional simple*, que es el que implementan los sistemas de bases de datos relacionales clásicos. El tipo de conocimiento que se puede manejar es simple y se representa en simples tablas donde cada fila menciona una entidad determinada y las columnas corresponden a propiedades o atributos de dichas entidades. El precursor de este estudio fue Codd al principio de los setenta, estableciendo las bases del modelo de datos relacional e introduciendo las operaciones básicas del álgebra relacional y el concepto de dependencia funcional.
- *Modelo de conocimiento heredable*, que surge cuando la anterior modelación se aumenta con la posibilidad de establecer clases, de forma que los elementos de una clase heredan los atributos y los valores de otras clases más genéricas en las que están incluidos. Para su representación se han diseñado estructuras como *redes semánticas, marcos y objetos*.

Las redes semánticas constituyen la primera aproximación al problema de la representación del conocimiento heredable. Fueron introducidas por M.R. Quillian e independientemente por P. Raphael en 1968, como un grafo dirigido en el que los nodos

representan entidades y los arcos relaciones binarias entre entidades.

M. Minsky introdujo el concepto de marco en 1975, partiendo de la premisa de que los mecanismos de la lógica son demasiado locales y poco estructurados para representar el pensamiento humano. El concepto de marco ha sido uno de los más fructíferos dentro del campo de la representación en IA, debido a que permite de forma simple y flexible montar estructuras complejas con gran contenido semántico.

Paralelamente a los trabajos de Minsky, otro grupo de científicos en los años setenta, investigaron el concepto de programación dirigida a objetos. Mientras que en los sistemas basados en marcos, los datos y los mecanismos de inferencia sobre ellos están claramente separados, no ocurre así con este tipo de programación, en la que los objetos encapsulan conocimiento declarativo y procedural simultáneamente.

V.1.2. Modelos de conocimiento basados en el razonamiento deductivo

Este fue ya planteado por Aristóteles, y corresponde al tipo de conocimiento que el hombre utiliza para inferir nuevas proposiciones a partir de conocimiento previo. La idea de representar el conocimiento de forma declarativa, y al mismo tiempo desarrollar procedimientos computacionales para realizar deducciones, dio lugar durante la década de los setenta, a la programación lógica, y al PROLOG como lenguaje que la implementa.

Por otra parte, se han desarrollado modelos distintos a la lógica clásica de predicados que intentan abordar algunas situaciones en las que ésta última presenta grandes lagunas. Tal es el caso del estudio de las lógicas modales iniciado ya por Lewis en 1919. Cabe destacar también el interés despertado por teorías que soporten el razonamiento no monótono, en pocas palabras, el que permite incluir nuevas deducciones que invalidan conclusiones anteriores.

Otro campo de estudio a destacar es el de las lógicas multivaluadas, en las que los predicados usuales de la lógica pueden tener una interpretación distinta a verdadero, falso, permitiéndose otros valores de verdad intermedios. Los orígenes de estos modelos se remontan a los trabajos de MacColl y Peirce (1904) y posteriormente el desarrollo realizado por Lukasiewicz en un artículo en 1920 motivado por el concepto de modalidad.

V.1.3. Modelos de conocimiento basado en modelos de la conducta

Una corriente en la Psicología, llamada conductismo establece que todo lo que el hombre es capaz de aprender, se interpreta únicamente como un efecto producido por unos estímulos sensoriales determinados. Tal ha sido su importancia, que actualmente aún perdura un tenso debate entre esta corriente y los psicólogos cognitivos que mantienen la existencia de otro tipo de interpretaciones para explicar los procesos mentales inherentes al hombre. Sin entrar en este debate, no puede ni debe negarse la existencia de un modelo conductual que explica el razonamiento humano a través de relaciones causa-efecto. Esta relación es doble: por una parte, adoptamos un comportamiento determinado (efecto) ante la presencia de unos estímulos determinados (causa), y por otra somos capaces de inferir las causas de dicho comportamiento ante la observación de ciertos efectos. Formalmente hablando, obtenemos, como ya introdujo Aristóteles, los métodos de inferencia *deductivo* y *abductivo*, respectivamente.

El mecanismo de representación ideal para este tipo de conocimiento es el formato de *reglas de producción*.

Si condición entonces acción

originalmente propuesto por Post en 1943, en el contexto de un problema de decisión, y que ha constituido una herramienta clave para el desarrollo de SE.

V.1.4. Conocimiento impreciso o incierto

En otro orden de ideas hay que mencionar que también se han desarrollado modelos para tratar conocimiento incierto, en el que no cabe otorgar creencia absoluta al grado de verdad de las distintas proposiciones. La teoría de la probabilidad históricamente ha tratado con este tipo de problemas. Uno de los primeros sistemas expertos, PROSPECTOR, empleó como modelo de tratamiento de la incertidumbre de la teoría bayesiana desarrollada dos siglos antes. Un modelo que basa sus fundamentos en la probabilidad, pero que permite elicitar intervalos de creencia sobre subconjuntos, es el introducido por R. Dempster y G. Shaffer en 1976. Otro sistema pionero en el campo de la medicina, MYCIN, incorporó un modelo (más heurístico que formal) basado en factores de certeza. Estos modelos probabilísticos han tenido un gran desarrollo hasta nuestros días, destacando la teoría sobre redes de creencia, iniciada por Pearl en los ochenta.

Para el tratamiento de información imprecisa se ha introducido la teoría de conjuntos difusos desarrollada por L.A. Zadeh y la teoría de la posibilidad introducida por este autor y por D. Dubois y H. Prade. Cabe destacar la importancia que en los últimos años está teniendo la aplicación de los conjuntos difusos a los sistemas basados en el conocimiento, desde sistemas de control, pasando por las aplicaciones en bases de datos y los sistemas expertos con reglas difusas, por mencionar sólo algunas áreas de interés. De hecho, la mayor parte de las herramientas de desarrollo de sistemas expertos, por ejemplo viene con módulos para tratar este tipo de información.

V.2. La búsqueda

Cuando se tiene que resolver un problema se pueden considerar varios caminos alternativos para llegar a nuestro objetivo y decidir el «mejor» de ellos, requiere siempre un proceso de planificación más o menos complejo.

Si el problema es relativamente sencillo, el proceso de planificación puede ser en su mayor parte inconsciente e informal, pero en situaciones complejas ha de ser sumamente cuidadoso y suele requerir bastante esfuerzo.

Clásicamente en los programas de IA no existe algo semejante al proceso de planificación «informal». La simulación de cualquier acto inteligente, necesita la definición de un procedimiento formal para determinar el curso de acción. En IA se comienza en un estado inicial y se intenta llegar a un estado final u objetivo. El proceso de examen de las posibles soluciones alternativas para llegar desde el estado inicial al final, se designa como *búsqueda*; el conjunto de los posibles caminos de exploración es el *espacio de búsqueda*.

Hablar de un problema de búsqueda equivale a plantear cinco subproblemas que deben resolverse eficientemente si se desea un resultado final aceptable:

- 1.- La dirección en la que hay que conducir la búsqueda.
- 2.- La topología del proceso de búsqueda.
- 3.- Como representar cada nodo estado del proceso.
- 4.- Alcanzado un nodo, seleccionar los nodos que son accesibles desde él.
- 5.- Como simplificar al máximo el proceso de búsqueda.

La mayor parte de la historia de la investigación en IA está dedicado al descubrimiento de técnicas de búsqueda más eficientes y se han producido grandes avances en IA al investigar métodos para limitar el espacio de búsqueda.

Una forma bastante común de representar gráficamente un espacio de búsqueda es mediante una estructura de árbol, que se conoce como *árbol de búsqueda*. Sobre esta forma de representación se desarrollan técnicas de IA que resultan especialmente útiles ya que la estructura de árbol marca claramente un punto de comienzo (estado inicial), un conjunto de reglas formales y un criterio bien definido del que se ha llegado al final (estado objetivo). Además se pueden emplear métodos de búsqueda propios de los árboles que son bien conocidos y fáciles de interpretar. No obstante estos métodos no son inteligentes. Si explo-

ramos el árbol en profundidad o en anchura no estamos haciendo más que la aplicación de una técnica de generación y prueba y la búsqueda será ciega. Si el espacio de búsqueda es pequeño, el método de la búsqueda ciega puede ser aceptable ya que un ordenador no gasta excesivo tiempo en explorar cientos de miles de posibles nodos, pero en una situación de la vida real que necesite emular la inteligencia humana, el realizar una búsqueda ciega a través de un espacio inmenso de búsqueda es totalmente impracticable.

Enfrentados en la vida diaria situaciones complejas con una abundancia de alternativas, los seres humanos somos capaces de rechazar ciertas vías de exploración para concentrarnos sobre unas pocas alternativas prometedoras. Si utilizamos la terminología de la IA, reducimos el tamaño de nuestro espacio de búsqueda «podando» el árbol de búsqueda. Los expertos en ajedrez no consideran cada posible movimiento, sino que de alguna forma son capaces de concentrarse intuitivamente en un pequeño número de movimientos para poder examinar de esa forma un espacio de búsqueda relativamente pequeño. Para simular esta intuición los científicos de IA han desarrollado procedimientos (heurísticas) para ayudar a los programas inteligentes a podar los árboles de búsqueda y llegar a soluciones inteligentes de una manera eficiente.

Una *heurística* es una estrategia, truco, simplificación o cualquier otra clase de estratagema que limita drásticamente la búsqueda de soluciones en grandes espacios problemas. La heurística no garantiza soluciones óptimas; de hecho no garantiza que haya una solución. Todo lo que se puede decir para que una heurística sea útil es que ofrece soluciones que son suficientemente buenas la mayoría de las veces.

El desarrollo y aplicación de la búsqueda heurística ha constituido y constituye uno de los puntos más interesantes de la investigación en IA. Muchas heurísticas se han inspirado en formas de comportamiento humano con fundamento psicológico, mientras que estos solo tienen justificación en su buen funcionamiento. En cualquier caso es la heurística la que crea la impresión de inteligencia real en la máquina y de hecho durante nuestro tiempo se

pensó que la investigación en IA debía equivaler a la investigación de heurísticas.

VI. CONCLUSIÓN

Hasta ahora el contenido de esta lección se ha mantenido coherente con su título y de acuerdo con las intenciones de su autor, como una presentación técnica de las realidades de una disciplina que desde su comienzo ha levantado una fuerte polémica. Ahora bien, no podemos finalizar sin hacer algunas consideraciones y algunas preguntas acerca del futuro que quizás nos hagan pensar.

Como hemos visto, la IA comienza su andadura a mediados de los 50 aunque algunas cuestiones clave estaban planteadas con anterioridad. Después de un comienzo sumamente optimista (alentado por resultados parciales satisfactorios) en la segunda mitad de la década de los sesenta y en la década de los setenta se cosechan notables fracasos que rebajan las aspiraciones y objetivos de la investigación a límites más realistas.

En 1950 A. Turing se planteaba la pregunta clara que subyace en todo el trasfondo de la IA. ¿Pueden pensar las máquinas?, y el mismo afirmaba:

Yo creo que al final de centuria el lenguaje y la opinión general estarán lo suficientemente modificadas como para hablar de máquinas que piensan sin provocar una gran controversia.

Los ordenadores, surgidos en esta misma época serían considerados desde el primer momento como paradigma de posible máquina pensante y acapararían toda la atención de los investigadores en la materia. El optimismo reinante en los primeros años de la IA lo muestran las declaraciones de A.L. Samuels quien en 1963 aseguraba

A final de esta década habrá un programa de ordenador capaz de vencer a cualquier maestro de ajedrez.

Esto aún no se ha conseguido, aunque como sabemos, se está bastante más cerca de ello que hace treinta años.

Obsérvese como contrastan las opiniones anteriores con la dada por A. Barr y E. A. Feigenbam, quienes en 1983 se veían obligados a reconocer:

Desafortunadamente hemos fallado en la mayor parte de los intentos de producir sistemas con cierta complejidad de inteligencia.

Las causas del fracaso son múltiples y bastante diversas pero entre ellas deben destacarse el intento de obtener *inteligencia* en general (sin tener en cuenta que el ser humano se comporta de modo diferente según el contexto) y un escaso empleo del conocimiento específico para la resolución de los problemas.

Como apuntaba E. Rich en 1983:

Uno de los resultados más importantes y que más rápidamente se han obtenido en estos primeros veinte años de I.A. es que la inteligencia requiere conocimiento.

A partir de los 80, con lo aprendido de los fracasos y contado con ordenadores más potentes capaces de almacenar y manejar grandes cantidades de conocimiento, la IA comienza a afianzarse como disciplina y tecnología, llegándose hoy en día a facturarse miles de millones de pesetas en productos que incorpora algún sistema con Inteligencia Artificial (aunque fuerza es decir que en esto también hay mucho de moda y por ello algún que otro fraude).

En cualquier caso, es obvio que los ordenadores realizan tareas que hasta ahora solo podían llevarse a cabo por un ser humano empleando su inteligencia y además con una velocidad y precisión que superan a las de éste.

Y lo que es más, existen pocas dudas de que en las próximas décadas tendrán lugar nuevos y espectaculares avances. Así la pregunta ¿piensan las máquinas? o quizá más realísticamente ¿podemos llegar a construir máquinas que piensen? ha de plantearse de nuevo llenando de inquietud a un amplio sector de la sociedad incluyendo a una buena parte de la comunidad científica.

Como indica R. Penrose en su famosa obra «La nueva mente del Emperador»:

Hace tiempo que nos hemos acostumbrado a la maquinaria que nos supera ampliamente en las tareas físicas. Esto no nos causa desasosiego... Tales logros por su parte no hieren nuestro orgullo. Pero el poder pensar, eso sí ha sido siempre una prerrogativa humana... ha sido esta capacidad la que nos ha permitido trascender nuestras limitaciones físicas y ponernos por encima de las otras criaturas. Por ello la mera conjetura acerca de máquinas pensantes nos llena de preocupación.

La pregunta en cuestión es de muy difícil respuesta porque afecta a cuestiones muy profundas del ámbito de la filosofía: ¿Qué es pensar?, ¿Qué es una mente?, ¿Existen realmente las mentes?, y ha recibido respuestas diversas y divergentes por parte de distintos autores. En un extremo se sitúan aquellos que, como el ya mencionado Penrose, opinan que el pensamiento es una cualidad exclusivamente humana, y en el otro, los que admiten la existencia de una mente (con capacidades intelectuales) en cualquier sistema teleológico (como A. Sloman al que ya nos referimos al hablar de las caracterizaciones de la IA).

Pocos de nosotros podemos ya concebir un mundo sin ordenadores y éstos cada vez nos sustituyen en más tareas, de modo que quizás se inevitable para algunos pensar e inquietarse por la posible respuesta a la pregunta que nos ocupa. En este orden de ideas resulta interesante meditar acerca de la definición de Inteligencia Artificial dada por E. Rich en 1983.

La IA es el estudio de como hacer que los ordenadores hagan cosas que por ahora las personas hacen mejor.

A primera vista parece una caracterización de poco alcance, pero un examen más profundo revela en ella una serie de aspectos inquietantes que fundamentalmente surgen del «por ahora» que contiene. En este sentido y como ejemplos paradigmáticos debemos recordar lo que ha ocurrido con la aritmética y el ajedrez.

Hace cuatrocientos años sumar, restar, multiplicar y dividir eran consideradas actividades intelectuales de alto nivel reserva-

das al ser humano (y que realmente no todos sabían hacer). Desde que Blas Pascal introdujera en 1642 la primera maquina mecánica capaz de realizar sumas, restas y algunas multiplicaciones simples, la consideración de estas actividades se ha ido degradando, hasta la actualidad en que no se consideran inteligentes ni siquiera por los ordenadores. La capacidad de cálculo de los ordenadores es hoy en día muy superior a la de los seres humanos y no hay nada en este campo que hagamos mejor que las máquinas.

Durante siglos el ajedrez ha sido el paradigma de juego intelectual y aún hoy el nivel de juego de una persona se considera como una medida de su capacidad intelectual. Sin embargo, pocos de nosotros somos actualmente capaces de vencer a cualquiera de los programas o las máquinas que diseñadas al efecto proliferan por todos lados. Más aún, grandes maestros han tenido dificultades para vencer a un programa experimental de última generación. No obstante somos capaces de hacer varias cosas mejor que la máquina cuando jugamos contra ella: sudar mientras pensamos, alegrarnos si hemos ganado o enfadarnos si hemos perdido. El problema es que resulta difícil calificar estas acciones como intelectualmente superiores.

En cualquier caso la famosa pregunta sigue en pie y habrá que esperar algún tiempo todavía para decidir si tiene una respuesta.

Bibliografía

- BARR, A.; FEIGENBAUM, E.: The Handbook of Artificial intelligence V. 1, Addison Wesley. 1981.
- BARR, A.; FEIGENBAUM, E.: The Handbook of Artificial intelligence V. 2, Addison Wesley. 1982.
- BARR, A.; COHEN, P.; FEIGENBAUM, E.: The Handbook of Artificial intelligence V. 3, Addison-wesley. 1989.
- DUBOIS, DIDIER.; PRADE, HENRI.: Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Academic Press. 1980.
- FROST, R.: Introduction to Knowledge Base Systems, Collins. 1986.
- GENESERETH, R.; NILSSON, J.: Logical Foundations of Artificial intelligence, Kaufmann. 1987.

- KELLY, J.: Artificial Intelligence. A. Modern Mith, Ellis Horwood, 1993.
- D. B. LENAT.; E. A.: Feigenbaum, on the Thresholds of Knowledge, Artificial intelligence, 47, 185-250, 1991.
- MISHKOFF, C. H.: A Fondo: Inteligencia Artificial, Anaya Multimedia. 1988.
- NILSSON, J. N.: Principios de Inteligencia Artificial, Diaz de Santos. 1987.
- NILSSON J. N.: Logic and Artificial Intelligence. Artificial Intelligence, 47, 31-56, 1991.
- PENROSE R.: La nueva mente del Emperador, Grijalbo-Mondadori 1991
- RICH, E.: Inteligencia Artificial, Mcgraw-ill. 1994
- WINSTON, P. H.: Lisp, Addison-Wesley. 1991.