**DEPARTAMENTO DE ORGANIZACION DE EMPRESAS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

**CONOCIMIENTO Y BASES DE DATOS:
UNA PROPUESTA
DE INTEGRACION INTELIGENTE**

Margarita ALONSO MARTINEZ

**TESIS DOCTORAL DIRIGIDA POR:
Prof. Dr. D. José María SARABIA ALZAGA**

PROLOGO

Los sistemas expertos, como técnica aplicada perteneciente al ámbito de la Inteligencia Artificial, presentan características que los identifican como eficaces procesadores de conocimiento. En este sentido, disponen de una base de conocimiento que incorpora representaciones de hechos, heurísticos y esquemas de razonamiento, utilizando estructuras formales de representación próximas a cómo las entiende el usuario conocedor del problema a resolver. El proceso de inferencia, a partir del conocimiento contenido en la base, incluye, además, procesos de aprendizaje, facilidades de comunicación con el usuario, y facilidades de modificación y explicación del conocimiento utilizado.

Si a las características anteriores, de los sistemas expertos, se añaden capacidades de interacción con herramientas de uso generalizado en la empresa, como son las bases de datos, sus propiedades de adaptabilidad y capacidad de proceso resultan idóneas para afrontar problemas que resistían la aplicación de procesos de datos tradicionales. Los sistemas expertos se presentan, así, como una herramienta aplicable a la optimización de los procesos de toma de decisión.

Este trabajo de Tesis Doctoral trata primero de caracterizar los sistemas expertos como una técnica de Inteligencia Artificial, poniendo de manifiesto su estructura, la variedad de esquemas formales de representación de conocimiento, la problemática de la

adquisición y validación del conocimiento, la metodología con la que operan, y su aplicabilidad a problemas pertenecientes al ámbito de los procesos de toma de decisión.

La crítica a procesos de razonamiento aislados del resto de los procesos de información que se producen en la empresa, plantea la conveniencia de la interacción de los sistemas expertos con otras técnicas de proceso de datos. Se plantea, así, la posibilidad de su interacción con técnicas de proceso de información de contrastada validez, como son las bases de datos. Se estudian procedimientos de comunicación entre ambos sistemas, planteándose un modelo para la optimización del proceso de interacción. El objetivo final será dibujar un entorno de trabajo en el que sea posible acumular a las técnicas implantadas en la empresa, de las que se dispone de probada experiencia, las nuevas técnicas para conseguir acercarse a un control efectivo y global de la información que se requiere en los procesos de toma de decisión.

La metodología aplicada en el estudio se corresponde con el esquema de trabajo comentado y pretende, en primer lugar, caracterizar dichas técnicas para, a continuación, identificar y formalizar el conocimiento a procesar, estableciendo sus posibilidades de conexión con conocimiento/información externo al sistema, planteando, por último, una propuesta de optimización.

La organización de los capítulos de este trabajo se corresponde:

El Capítulo 1 contiene una introducción a las nuevas tecnologías de la información, presentando aquéllas que, pertenecientes al ámbito de la Inteligencia Artificial, centran actualmente el interés de investigadores y empresas de desarrollo. Su evolución, las aplicaciones y dominios en los que se han mostrado más fructíferas, así como, las perspectivas de futuro que ofrecen son, también, objeto de estudio en el capítulo.

En el Capítulo 2, se caracterizan los sistemas expertos dentro de las técnicas de Inteligencia Artificial, fijando sus componentes, la diversidad de los esquemas formales de

representación del conocimiento y su aplicabilidad a los problemas que pertenecen al dominio empresa. Se profundiza en el estudio de los sistemas de producción, cuya representación de conocimiento se basa en los esquemas de reglas de producción, planteando la problemática derivada de la formalización de su conocimiento, control del razonamiento y procedimientos de búsqueda de solución.

El Capítulo 3 completa el anterior, dando una visión dinámica del proceso de adquisición y de la validación del conocimiento, entrando en el estudio de las herramientas aplicables a su formalización. Se incluye, como aplicación práctica, la definición de la base de conocimiento de un modelo para la toma de decisión de inversión aplicado a la empresa, con discusión de las aportaciones que ofrecen estas técnicas en su aplicabilidad a los procesos de toma de decisión.

En el Capítulo 4, se defiende la conveniencia de la gestión integrada de datos en la empresa a través de una herramienta clásica, como son las bases de datos, planteando una opción de integración de datos. Se estudian las características y ventajas de la interacción de las bases de datos y sistemas expertos para constituir una poderosa herramienta de resolución de problemas. Se propone la optimización del proceso de interacción unificando las definiciones del conceptual de la base de datos y de la base de conocimiento del sistema experto a través de una metodología común para el diseño.

El capítulo de conclusiones recoge las ideas y reflexiones que de acuerdo con el objetivo perseguido se han mostrado más relevantes.

Este trabajo es fruto del apoyo y aliento de todas aquellas personas que a lo largo de mi vida profesional me han regalado su amistad y conocimientos. Muy especialmente señalo mi agradecimiento al profesor D. José María Sarabia Alzaga, quién en la dirección de esta Tesis Doctoral, me ha ofrecido la guía de su docencia y su apoyo personal.

INDICE

1	INTRODUCCION A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	
1.1	SOCIEDAD Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION	9
1.2	CONCEPTO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	14
1.3	DOMINIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	18
1.4	SINTESIS EVOLUTIVA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	28
1.5	PERSPECTIVAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	35
2	SISTEMAS EXPERTOS.	
2.1	CONCEPTUALIZACION DE SISTEMA EXPERTO	43
2.2	COMPONENTES DE UN SISTEMA EXPERTO	47
2.3	LA REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO	49
2.3.1	Aproximación teórica	50
2.3.2	Esquemas lógicos	53
2.3.3	Redes semánticas	57
2.3.4	Sistemas de producción	62
2.3.5	Esquemas directos	73
2.3.6	Frames y scripts	77
2.4	SINTESIS EVOLUTIVA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	82
2.4.1	Funciones	89
2.4.2	Dominios	91
2.4.3	Los sistemas expertos en el dominio empresa	102
2.4.4	Tipología básica	107
2.5	SISTEMAS EXPERTOS BASADOS EN REGLAS	110
2.5.1	La resolución inteligente de problemas	110
2.5.2	Las primitivas semánticas	111

2.5.3	La formalización del conocimiento	114
2.5.4	El problema de la representación en la búsqueda de solución	119
2.5.5	Métodos de búsqueda	127
2.5.6	El problema del control	146
2.5.7	El aprendizaje	149

3 EL CONOCIMIENTO EN LOS SISTEMAS EXPERTOS

3.1	ADQUISICION DE CONOCIMIENTO	156
3.2	TECNICAS, ETAPAS Y AYUDAS	158
3.2.1	La técnica de la Entrevista	160
3.2.2	Otras Técnicas	165
3.2.3	Fases de desarrollo de un Sistema Experto	173
3.2.4	Ayudas para el desarrollo	180
3.3	VALIDACION DEL CONOCIMIENTO.....	182
3.3.1	Verificación Estructural	183
3.3.2	Verificación Funcional	187
3.3.3	Evaluación	189
3.4	HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA REPRESENTAR Y MANEJAR EL CONOCIMIENTO	194
3.5	CRITERIOS DE SELECCION DE HERRAMIENTAS	199
3.6	APORTACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS A LA TOMA DE DECISIONES	202

APENDICE

APLICACION DE UN SISTEMA EXPERTO A UN MODELO DE TOMA DE DECISION

La automatización de la toma de decisiones	206
--	-----

-	Un modelo para la toma de decisiones de inversión en la empresa	208
-	El diseño del conocimiento utilizando NEXPERT	252
4	BASES DE DATOS Y CONOCIMIENTO	
4.1	EN TORNO A LAS BASES DE DATOS	261
4.1.1	Organización y Acceso a los Datos	263
4.1.2	Controles sobre Datos y Accesos a las Bases de Datos	265
4.2	LAS BASES DE DATOS Y LA GESTION INTEGRADA DE DATOS EN LA EMPRESA	269
4.2.1	El modelo relacional de datos	270
4.2.2	Una propuesta de integración de datos en la empresa ...	278
4.3	INTERACCION DE LOS SISTEMAS EXPERTOS Y BASES DE DATOS.....	285
4.3.1	Relevancia para la Empresa	287
4.3.2	El proceso de interacción. Etapas.....	289
4.3.3.	Interacción aplicada al modelo de decisión.....	292
4.3.4	Optimización del proceso de interacción de Sistemas Expertos y Bases de Datos	301
4.4	APORTACIONES DE LA INTERACCION A LA GESTION INTEGRADA DE DATOS EN LA EMPRESA	316
5	CONCLUSIONES	318
6	BIBLIOGRAFIA	326

1.1 SOCIEDAD Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION

Una de las notas más características que definen a la sociedad actual -la sociedad del cambio, de la incertidumbre y de la complejidad- es el empleo generalizado de las tecnologías de la información y la creciente utilización de los nuevos servicios que éstas ofrecen. Su amplia divulgación, y lo que es más importante, su previsible utilización obligada dentro de la totalidad de los ámbitos de actuación del hombre, ha hecho que lleguen a configurar efectos trascendentes en la propia sociedad y que, ciertamente, puedan identificarse como una de las fuentes más relevantes y significativas de los cambios que se están produciendo en la misma. Hasta tal punto que con propiedad puede hablarse de encontrarnos, hoy día, en los albores de una nueva era: la de la *información*. Es una era identificada por la producción de valores informativos -frente a los de naturaleza material del período anterior- y por la utilización de los pasados modelos de desarrollo de la sociedad industrial como modelo referencial analógico de la sociedad futura. Sus notas más relevantes pudieran concretarse en los siguientes puntos ¹ :

¹ MASUDA, Y. (1.980): "La Sociedad informatizada como sociedad post-industrial ". Fundesco/Tecnos. Barcelona, 1984.

- a) El computador, -sujeto a una ininterrumpida innovación tecnológica- buscando la amplificación de las tareas intelectuales del hombre y la producción masiva y sistematizada de información, tecnología y conocimientos.
- b) La unidad productora de información -sustituyendo a la fábrica de la era anterior- generando y distribuyendo bienes de esa naturaleza. La nota diferencial es la de *incrementalidad*, con potentes efectos sinérgicos.
- c) Se organiza como una comunidad voluntaria, con estructura horizontal. Es fundamental la valoración del tiempo y los patrones éticos claves son la autodisciplina y la contribución positiva a la nueva sociedad.

Es, en fin, una era incorporando una sociedad que participa del progreso tecnológico y que está particularmente interesada en la innovación y el conocimiento. En ella, la idea de innovación se asocia indisolublemente a la de progreso, asumiendo que *"una sociedad en progreso es una sociedad innovadora, con alta creatividad intelectual, en la que las personas que la forman persiguen su auto-realización "* ².

La información y el conocimiento aparecen, pues, como unos elementos básicos de la sociedad actual: *"estamos pasando rápidamente de una sociedad cuya dinámica se basa en la innovación técnica a otra en la que, cada vez más, esa dinámica depende de la innovación cognoscitiva sistemática"* ³. Y es, precisamente, en esta sociedad interesada por el conocimiento como motor de innovación, en la que se ha producido un cambio de objetivos respecto a la anterior sociedad industrial. Los aspectos más indicativos de la aparición y desarrollo de esta nueva sociedad de la información pueden enunciarse, por contraste, respecto a los dominantes en la sociedad industrial.

Si en el origen de esta última sociedad se situaba como tecnología innovadora la máquina de vapor -con la función de sustituir y amplificar el trabajo físico del hombre-, en la sociedad de la información, el núcleo de desarrollo lo constituyen las tecnologías

² MASUDA, Y. (1.980): "La Sociedad". (Op. cit.)

³ GINER, S. (1.985): "Tecnocultura, saber y mudanza social". Telos. Cuadernos de Comunicación, Tecnología y Sociedad. Fundesco nº1. Enero.

asociadas al ordenador y las telecomunicaciones. Su función será la amplificar y sustituir el trabajo mental del hombre.

Frente a la producción masiva de bienes y servicios como objetivo de la sociedad industrial -con dos factores principales, el trabajo y el capital, en la sociedad de la información es el conocimiento el factor de producción principal. Un factor obtenido a partir del proceso de la información y aplicado al objetivo de producir nuevo conocimiento.

A diferencia de los inicios de la sociedad industrial, en la que las nuevas tecnologías eran, principalmente, las que producían y usaban energía, en la sociedad de la información esa orientación se cambia hacia tecnologías capaces de producir información simbólica, procesarla automáticamente y comunicarla. De ahí que al asumirse que las tecnologías de la información se ocupen, básicamente, de mejorar los procesos de decisión, puede esperarse que las mismas se tornen en elementos cada vez más importantes dentro de una sociedad orientada hacia la conservación de los recursos, el descubrimiento de nuevas formas de energía, la producción de las mismas con el menor drenaje posible de recursos escasos y con la eliminación de los efectos perjudiciales de su producción y uso.

Como última referencia a señalar, diferenciar el desarrollo de actividades entre ambos tipo de sociedad. En la industrial, se apoyaban en relaciones de jerarquía, donde el rango y la autoridad prevalecían y las organizaciones sociales, generalmente, presentaban una estructura departamental ligada por relaciones de mando. En la sociedad de la información las actividades se relacionan entre sí mediante la información que se requiere para efectuarlas. Más aún, las organizaciones sociales se estructuran en centros de conocimiento relacionados mediante flujos de información. Con ello se potencian la innovación, el interés del colectivo por la tarea a realizar, la toma de decisiones autónomas y la solidaridad entre colectivos.

Estas características ponen, pues, de manifiesto un cambio significativo respecto de la sociedad industrial, afectando tanto a los valores como a los objetivos de aquella. Numerosos autores han analizado las direcciones de este cambio. Para Masuda la

información se presenta como recurso básico y el conocimiento como valor de progreso: *"la característica de la futura sociedad será la producción de valores de información, y no la de valores materiales"* ⁴. Una idea que continúa Calleja, al señalar que *"en el futuro, el recurso fundamental de las sociedades desarrolladas será la información y el elemento primordial en el establecimiento de infraestructuras será la comunicación. Y flotando por encima de todo, en lo más alto de la escala de consideraciones, el conocimiento será el motor de las futuras configuraciones humanas"* ⁵.

El significado que ha tenido el cambio social motivado por la sociedad de la información ha sido tal, que algunos autores no dudan en atribuir a la misma la responsabilidad de la ruptura con el modelo de sociedad anterior. Así, Sampedro escribe con rotundidad: *"la crisis actual no es solo la de la energía ni siquiera la del subsistema económico en su conjunto; no es tampoco meramente coyuntural ni aún estructural. Es mucho más que todo eso: Es una ruptura histórica sin precedentes desde el final de la Edad Media"* ⁶. Se apunta, por tanto, hacia una revolución que implica la revisión y sustitución de los valores hasta ese momento vigentes: *"debe tratarse de una revolución cultural, es decir, un cambio radical en los valores y pautas de comportamiento. Una revolución, en suma, que resuelva la contradicción entre una tecnología avanzada y los valores anticuados con que ésta se aplica"* ⁷. El proceso de cambio en que está inmersa la sociedad actual se entiende así como un cambio del propio modelo de sociedad y no como una mera evolución del anterior.

En ese nuevo modelo de sociedad, debe ser posible un desarrollo armónico del hombre y del conocimiento y la cooperación y la solidaridad deben sentar las bases para el progreso. Supera los valores y objetivos de la sociedad industrial, donde el incremento continuado del volumen de consumo de bienes duraderos y el desarrollismo provocado

⁴ MASUDA, Y. (1.980): "La Sociedad". (Op. cit.) Pag.46 y ss.

⁵ CALLEJA, T. (1.988): "La Empresa en la Era del Conocimiento". En " La Sociedad de la Información. Riesgos y Oportunidades para la Empresa Española". CDN Ciencias de la Dirección S.A. Madrid.

⁶ SAMPEDRO, J. L. (1.988): "La Empresa ante la Crisis Actual". En " La Sociedad de la Información. Riesgos y Oportunidades para la Empresa Española". CDN Ciencias de la Dirección S.A. Madrid.

⁷ RACIONERO, L. (1.983): "Del Paro al ocio" Ed. Anagrama Madrid.

por la expansión de ese consumo han tenido consecuencias negativas. En efecto, la incidencia negativa lo ha sido tanto respecto al deterioro de los pueblos y de la destrucción de su identidad, como de las culturas tradicionales de los mismos. Por el contrario, en la sociedad de la información el progreso se muestra ⁸ *respetuoso* con el medio ambiente, *equilibrado* al tener en cuenta las diferencias culturales y étnicas de los pueblos y *solidario* al no permitir situaciones de pobreza y marginación. En la base del cambio hacia esa sociedad de la información, se sitúa el concepto de *globalismo*, asumiendo los problemas planteados por el desarrollo de la sociedad industrial como problemas que interesan y afectan a la totalidad de los individuos. La información y un espacio conectado mediante redes de información facilitan esa idea, permitiendo la comunicación a escala mundial de las personas y posibilitan la comprensión mutua y el enfrentar los problemas solidariamente desde un punto de vista global.

De este modo y manera, la información se constituye en un elemento básico de desarrollo de la nueva sociedad y las técnicas que permiten su almacenamiento, proceso, consulta y comunicación son claves para la evolución futura de la misma. Las técnicas se centran en el empleo del ordenador como máquina capaz de crear y suministrar información y conocimiento, con características que permiten su producción de forma automática, su almacenamiento en forma preservable y su divulgación espacial a través de redes de información ⁹. Básicamente, se puede identificar la tecnología del procesamiento de la información con el conocimiento de la forma de producir y usar conocimiento con mayor eficiencia ¹⁰. El impacto social inducido por el empleo masivo de la tecnología de la información, es contemplado como un hito histórico por autores como Simon ¹¹ o Masuda ¹² y su alcance se hace extensivo a los diversos ámbitos de actividad de la sociedad, afectando de forma importante, también, a la actividad económica.

⁸ SAMPEDRO, J.L. (1.988): "La Empresa ante la Crisis..."(op. cit.) Pag.120 y ss.

⁹ Un ejemplo del uso actual de estas técnicas lo constituye, la posibilidad de acceso de particulares, empresas y organismos estatales a grandes Bases de Datos a nivel local, regional, nacional y supranacional, mediante la utilización del ordenador para producir información y, las redes telefónicas y telegráficas y los satélites de comunicaciones para permitir la comunicación espacial de aquélla.

¹⁰ SIMON, H.A. (1.982): "La Nueva Ciencia de la Decisión Gerencial". El Ateneo Buenos Aires.

¹¹ SIMON, H.A. (1.969): "la historia escrita registra tres saltos de cambio, suficientemente poderosos como para alterar la vida básica del Hombre. La introducción de la agricultura... La Revolución Industrial... (y) la

Ante tal panorama, la empresa no puede mantenerse ajena a dichos cambios. La aceptación de la información como recurso y la asunción de las técnicas que permiten su organización y elaboración son retos que la empresa tiene ya planteados. Sin embargo, no basta su sola aceptación; también se hace necesaria una planificación cuidadosa que posibilite, por una parte, la integración de los nuevos conceptos y técnicas en la estructura organizativa de la empresa y, por otra, la asunción del riesgo del alto ritmo de evolución de estas tecnologías. La consecuencia para la empresa debe ser su necesaria adaptación a este nuevo entorno, donde se aprecia una internacionalización de mercados y donde es ya una realidad la globalización de los procesos económicos.

Estos esfuerzos de adaptación de la empresa tendrán repercusiones, tanto en su estructura organizativa, como en el cambio de estrategias y actitudes del empresario, dando origen a nuevas concepciones en la organización del trabajo. Un ejemplo lo constituye la automatización administrativa, orientada hacia la eliminación de las tareas repetitivas y a la automatización de las tareas gerenciales, como es el caso del proceso de toma de decisiones. En éste caso, la automatización alcanza tanto a las técnicas empleadas en las decisiones programadas ¹³ como a las vinculadas con decisiones no programadas. Precisamente éstas últimas forman parte de un conjunto de técnicas que pertenecen al ámbito de la Inteligencia Artificial.

1.2 CONCEPTO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Al intentar definir la Inteligencia Artificial, hay un concepto previo a tener en cuenta: la "inteligencia natural". Esta referencia es correcta, en base a que, es por comparación con la inteligencia natural como estableceremos las características de la Inteligencia Artificial. El concepto de "inteligencia natural", no tiene una definición

revolución tecnológica del ordenador en el proceso de información". The Impact of the Computer on Management". En MASUDA, Y. (1.980): "La Sociedad informatizada como sociedad post-industrial". Fundesco/Tecnos Madrid.

12 MASUDA, Y. (1.980) "el nacimiento de una época de la información, centrada en la tecnología del ordenador, que opera en conjunción con la tecnología de las comunicaciones. Tendrá un impacto mucho más decisivo sobre la sociedad humana que la revolución de la "energía", que comenzó con la invención de la máquina de vapor". En "La Sociedad informatizada..." (Op. cit.) Pag.67 y ss.

13 Pertenecientes, principalmente, al ámbito de la Investigación Operativa.

aceptada universalmente, ya que varía en el tiempo en función de nuevos conocimientos biológicos y tecnológicos. Pyle(1979) enumera las definiciones de "inteligencia natural" dadas por diferentes investigadores teniendo en cuenta sus distintas áreas de interés. Así, Spearman ¹⁴, define la inteligencia como la capacidad de relacionar y correlacionar. Centra sus trabajos en la evaluación a través de test, de ciertas capacidades mentales: memoria, comprensión verbal y raciocinio. Para Binet(1904), son criterios como dibujar figuras de memoria, intercalar palabras en una frase, definir palabras abstractas, etc., aquéllos que sirven para evaluar las capacidades de razonar, discernir y comprender. Unas cualidades que en sus estudios considera como elementos básicos de la inteligencia. Por otra parte, Wechsler(1939), define la inteligencia como la capacidad de actuar según un propósito, de pensar racionalmente y de relacionarse eficazmente con su entorno. Considera las capacidades mentales de la persona en relación al grupo cronológico al que pertenece. Para Sloman(1978), la inteligencia es la capacidad de adaptación al entorno físico y social y, de este modo, el comportamiento inteligente de la persona está ligado a sus capacidades mentales, permitiendo a través de aquél, una evaluación de la inteligencia.

Por otra parte, la cuantificación de la "inteligencia natural", tiene también interés en Inteligencia Artificial, porque aplicando los mismos baremos que aquélla, se puede concluir cuando nos encontramos ante un sistema inteligente y, si es así, su grado de inteligencia. Los esfuerzos por cuantificar la "inteligencia natural", se inician con Galton(1869), quién a través de test sensoriales, con pruebas de agudeza visual, sensibilidad al dolor y memoria, entre otras, intenta la medición de la capacidad mental de las personas. Los trabajos siguientes, Binet(1904), van orientados al estudio de comportamientos más exclusivos de la mente humana como el razonamiento, la distinción de objetos y situaciones o la comprensión del lenguaje, estableciendo una escala de medición del nivel mental infantil. En 1939, Wechsler desarrolla una nueva escala de medición aplicable a personas adultas, poniendo de manifiesto la relación entre el nivel

¹⁴ Continuator de los trabajos de Galton y Pearson (1869), basados en test sensoriales, como método de evaluación de las capacidades mentales.

mental de una persona y la norma del grupo generacional al que pertenece. Para Weizenbaum(1976), los anteriores aspectos tienen relevancia pero demanda, además, tener en cuenta ciertos elementos adicionales que forman parte de la capacidad mental del individuo. Unos elementos que escapan a una medición precisa. Para dicho autor, "*es crucial una interrelación entre el intelecto y otras modalidades de pensamiento tales como, la intuición y la sabiduría*" ¹⁵

La Inteligencia Artificial no posee todas las características de la "inteligencia natural". Se centra en aspectos reducidos de las capacidades mentales: percepción, comprensión del lenguaje, sintetización de voz o manipulación de información, entre otras. Así, en el desarrollo actual de la Inteligencia Artificial hay cualidades de "la inteligencia natural" como la intuición y el conocimiento extensivo, que quedan fuera de aquélla. Participa, no obstante, de otras aptitudes consideradas parte de un comportamiento inteligente como, por ejemplo, el enfrentar los problemas tomando decisiones óptimas mediante procesos de inferencia.

Consecuencia de la variedad de criterios, tanto en lo que se refiere al concepto de inteligencia como a su cuantificación, es la no unanimidad en la definición de Inteligencia Artificial. A los aspectos ya mencionados sobre "inteligencia natural", y que tienen una incidencia directa en la Inteligencia Artificial, se une el que hay autores que al definir la Inteligencia Artificial se apoyan más en el diseño y componentes físicos del ordenador, en tanto que otros ponen el énfasis en la programación, haciendo menos relevante el "hardware" a utilizar. Así, dentro de la primera línea mencionada, se sitúa el Informe Fundesco (1984) sobre Inteligencia Artificial al señalar que "*la Inteligencia Artificial es una ciencia y una tecnología que se ocupa de la comprensión de la inteligencia y del diseño de máquinas inteligentes, entendiendo por tales aquellas que presentan características asociadas al entendimiento humano como el raciocinio, la comprensión del lenguaje hablado y escrito, el aprendizaje la toma de decisiones y otras*

¹⁵ WEIZENBAUM, J. (1976): "Computer Power and Human Reason". En SIMONS, G. L. (1988): "Introducción a la Inteligencia Artificial". Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid.

similares".¹⁶ Asimismo, Minsky sugiere el carácter práctico de la Inteligencia Artificial, expresando que la misma *"es el arte de construir máquinas capaces de hacer cosas que requerirían inteligencia, en caso de que fuesen hechas por los seres humanos"*¹⁷. Ambas definiciones muestran la necesidad de comprensión del comportamiento inteligente para el desarrollo de la Inteligencia Artificial. Y su conexión, y quizás necesaria colaboración, con otras disciplinas, fundamentalmente aquellas que se ocupan del estudio de la conducta humana.

Duda (1979) da una definición ligeramente diferente, ajustándose más a la segunda línea de razonamiento anteriormente señalada: *"la Inteligencia Artificial, es la rama de la informática que trata del uso de los ordenadores en tareas que normalmente se considera que requieren conocimiento, percepción, razonamiento, aprendizaje, comprensión y habilidades cognoscitivas similares a las del ser humano. Por tanto, el objetivo de la Inteligencia Artificial es una expansión cualitativa de las capacidades del ordenador"*¹⁸. El proceso de datos convencional queda fuera del campo objeto de estudio de la Inteligencia Artificial, a pesar de que la realización de complejos cálculos numéricos -problemas en los que el ordenador ha demostrado su eficacia- forma parte del comportamiento inteligente de las personas. En este mismo sentido Nilsson (1987) relaciona la Inteligencia Artificial con la resolución de tareas cognitivas *"muchas actividades mentales del hombre, tales como escribir programas de ordenador, hacer deducciones matemáticas, razonar en base al sentido común, entender un lenguaje e incluso conducir un automóvil, se dice que requieren "inteligencia". A lo largo de las últimas décadas se han construido programas capaces de realizar tales tareas. Podríamos decir que esos sistemas poseen cierto grado de Inteligencia Artificial"*¹⁹

16 Fundesco (1.984): *"Inteligencia Artificial. Introducción y situación en España"*. Fundación para el Desarrollo de la Función Social de las Comunicaciones. Madrid.

17 MINSKY, M. (1.975) " A framework for representing knowledge". En SIMONS, G. L. (1.988): *" Introducción a la Inteligencia Artificial"*. Ed. Díaz de Santos Madrid

18 DUDA, R.O. et al. (1979): *"State of Technology in Artificial Intelligence"*. En GEVARTER, W. M. (1.987): *"Máquinas Inteligentes. Una panorámica de la Inteligencia Artificial y de la Robótica"*. Díaz de Santos S.A. Madrid.

19 NILSSON, N. J. (1.987): *"Principios de Inteligencia Artificial"*. Ed. Díaz de Santos Madrid

Hayes-Roth (1981) plantea la Inteligencia Artificial como " *el conjunto de técnicas para la resolución flexible y no numérica de problemas. Estas técnicas incluyen proceso de información simbólica, programación heurística, representación de conocimientos y razonamiento automatizado*" ²⁰. Es un punto de vista sobre Inteligencia Artificial que incorpora la capacidad de raciocinio y la posibilidad de elección entre distintas alternativas, dentro de los procedimientos de resolución de problemas. La aplicación de las técnicas antes mencionadas a la resolución de problemas complejos, en los que se quieren reproducir situaciones reales, lleva a soluciones más efectivas, económicas y viables que la resolución rígida mediante procesos exclusivamente numéricos. El proceso simbólico es, también, la característica destacada por Davis y Lenat (1982) "*La Inteligencia Artificial es un proceso de razonamiento simbólico no algorítmico. La Inteligencia puede explicarse como una actividad de manipulación simbólica, y ésta puede realizarse en una máquina simbólica como es el ordenador digital*" ²¹.

En base a la exposición anterior, cabe entender la Inteligencia Artificial como el estudio y desarrollo de programas de comportamiento inteligente, principalmente en procesos no numéricos que implican complejidad, incertidumbre y ambigüedad, y para los que se requiere la aplicación de reglas heurísticas ²² en la búsqueda de soluciones.

1.3 DOMINIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial tiene (Nilsson, 1.980) cuatro áreas principales de aplicación ²³: Resolución de Problemas, Procesamiento del Lenguaje Natural, Visión Artificial e Ingeniería del Conocimiento.

²⁰ HAYES-ROTH, F. (1981): "AI: The New Wave-A Technical Tutorial for R & D Management". En GEVARTER, W.M. (1.987): "Máquinas Inteligentes. Una panorámica de la Inteligencia Artificial y de la Robótica". Diaz de Santos S.A. Madrid.

²¹ DAVIS, R. y LENAT, D.B. (1.982): " Principles of Artificial Intelligence". En SAVORY (ed.) (1.988): " Artificial Intelligence and Expert Systems". Ellis Horword Limited. London

²² Los heurísticos son reglas de sentido común, recopiladas por experiencia, que orientan la resolución de un problema.

²³ NILSSON, N. J. (1.987): " Principios de Inteligencia Artificial". Ed. Diaz de Santos S.A. Madrid

- a) Resolución de problemas: La resolución de problemas por ordenador, implica el desarrollo de estrategias inteligentes para reducir el espacio de búsqueda y encontrar la solución correcta al problema planteado, dentro de tiempos de proceso válidos. Dos tareas básicas en la resolución de problemas son: la sintetización de un conjunto de acciones para conseguir un objetivo -Planificación- y la deducción de conclusiones a partir de los datos -Inferencia-.

En la planificación, la estrategia a desarrollar para resolver un problema, se plantea dentro de un espacio de búsqueda. El limitar lo más posible el espacio de búsqueda donde se encuentre la solución, sin excluirla, es importante en orden a lograr mejoras en los tiempos de resolución. La mayoría de los procesos de resolución de problemas, requieren un árbol ²⁴ ramificado de posibilidades de solución. En función de la complejidad del problema, la ramificación del árbol crece geométricamente. Un estudio sistemático de los nodos que forman el árbol, exigiría una búsqueda de amplitud inmanejable. En consecuencia, se hace necesaria la aplicación de reglas heurísticas para reducir los espacios de búsqueda de tales soluciones.

En la resolución inteligente de problemas, el sistema selecciona información del entorno y la utiliza para guiar el proceso de búsqueda, evitando, o en su caso desechando, aquellos procedimientos que no conducen a resultados positivos y suponen una pérdida de tiempo. El razonamiento asociado al sistema, permite la deducción de las proposiciones que guían la búsqueda de la solución.

El Logic Theorist desarrollado por Newell y Simon (1956), para demostración de teoremas matemáticos, sería uno de los primeros programas que utilizó métodos deductivos para resolver problemas.

²⁴ Un árbol es un tipo especial de gráfico con un nodo superior y ramificaciones con nodos predecesores.

También se debe a estos autores, junto con Shaw (1957), el programa GPS (General Problem Solver), "*programa organizado para mantener separados los procesos de resolución de problemas con información específica sobre cada medio ambiente de determinadas tareas*" ²⁵. El programa incorpora estrategias planificadas de resolución de problemas. Una de ellas será la de simplificar el problema, buscar la solución al problema simplificado y, una vez encontrada, aplicarla para dirigir la solución del problema original.

- b) **Comprensión del Lenguaje Natural:** Está orientado al desarrollo de programas que permitan una comunicación en lenguaje natural, flexible y bidireccional entre las personas y los ordenadores. La comunicación puede ser escrita o hablada. El objetivo es acercar el ordenador a cualquier usuario, no necesariamente un experto: si un ordenador puede comprender el significado de las frases habladas o escritas en un lenguaje natural será más fácil de usar y se integrará de forma más natural en el trabajo cotidiano de las personas. Por otra parte, los investigadores en Inteligencia Artificial esperan que el aprender a construir ordenadores capaces de comunicarse como las personas ayude a la mejor comprensión del propio lenguaje.

Las aplicaciones lingüísticas del ordenador surgen a partir de los años 40 y se basan en la capacidad de procesamiento simbólico de los ordenadores. La traducción automática fue uno de los primeros campos de investigación dentro de este área. En un principio se creyó que el ordenador sería capaz de comunicarse en un determinado idioma, simplemente si poseía un diccionario bilingüe donde buscar las palabras requeridas, Weaver en 1955 propuso el empleo del ordenador en la resolución de cualquier problema de traducción. Se trataría de disponer de una máquina que realizara las funciones de traducción de forma similar a un traductor humano; buscando

²⁵ SIMON, H. A. y NEWELL, A. (1.964) "Proceso de Información en el computador y en el hombre". En AIKEN, H. y otros (1.975): "Perspectivas de la revolución de los computadores". Alianza Editorial, Madrid

cada palabra en un diccionario bilingüe, escogiendo la palabra equivalente en el lenguaje de salida y, por último, con el proceso de cada frase, ordenar las cadenas de caracteres obtenidas con el fin de darle sentido en la lengua destino. Sin embargo, son necesarias labores más complejas para llevar a cabo de forma adecuada el proceso de traducción, siendo un aspecto relevante la comprensión del texto objeto de traducción: si el ordenador es capaz de entender el significado de una sentencia podrá parafrasearla, responder preguntas acerca de ella, o traducirla en otro lenguaje.

En esta línea, el lenguaje humano se contempla como una habilidad cognitiva compleja que incorpora diverso conocimiento sobre: estructuras de frases, significado de las palabras, modelo del interlocutor, reglas de conversación y un extenso cuerpo de conocimientos generales. La investigación en Inteligencia Artificial intenta modelizar el lenguaje humano en sistemas basados en conocimiento para procesar la comunicación y disponer de programas de ordenador que trabajen con éstos modelos. Se cuenta con la habilidad del ordenador para la manipulación de símbolos en procesos complejos, incluyendo aquéllos de toma de decisiones basadas en conocimiento almacenado.

Una clasificación de los sistemas de procesamiento del lenguaje natural presenta cierta dificultad debido a los diversos métodos de construcción empleados y a los distintos objetivos planteados. Winograd ²⁶ realiza una agrupación de los programas atendiendo a la forma en que representan y usan el conocimiento sobre su materia de interés. Se pueden distinguir así cuatro categorías:

- Los primeros programas pretendían la obtención de resultados limitados en dominios específicos. Un ejemplo, serían los programas

²⁶ WINOGRAD, T. (1.972): "Understanding natural language". En SAVORY (ed.) (1.988): " **Artificial Intelligence and Expert Systems**". Ellis Horwood Limited. London

SAD-SAM de Lindsay ²⁷ y ELIZA de Weizenbaum ²⁸, ambos usan particulares estructuras de datos para almacenar los hechos de su dominio. Porque el conocimiento que incorporaban sobre el dominio era muy restringido, estos primeros programas ignoraban muchas de las complejidades del lenguaje y, obtenían, en ocasiones, resultados sorprendentes en las respuestas a las preguntas formuladas.

- Los programas como PROTO-SYNTHESIS-I ²⁹ y Semantic Memory ³⁰ almacenan una representación del texto en su base de datos y usan una variedad de estructuras de índices para localizar, en aquélla, las palabras específicas o frases. Estos sistemas tenían un funcionamiento muy restringido, al obtener sus respuestas sólo a partir del material que explícitamente se había almacenado previamente.
- El tercer grupo de programas se desarrolló hacia la mitad de la década de los años sesenta, un ejemplo de éstos son los sistemas SIR ³¹ y DEACON ³². En ellos se utiliza representación formal para almacenar la información contenida en la base de datos y proveen mecanismos para traducir las sentencias de entrada en aquella representación interna. El objetivo de éstos sistemas estaba en la realización de inferencias sobre la base de datos en orden a

-
- 27 LINDSAY, R. K. (1.963): " A program for parsing sentences and making inferences about kinship relations" . En BARR, A. y FEIGENBAUM, E. A. (1.981) "The Handbook of Artificial Intelligence " Vol I William Kaufmann Inc. Los Altos, California
- 28 WEIZENBAUM, J. (1.966): "ELIZA- A computer program for the study of natural language communications between man and machine". En GEVARTER, W. M. (1.987) "Máquinas Inteligentes. Una panorámica de la Inteligencia Artificial y de la Robótica". Díaz de Santos S.A. Madrid.
- 29 SIMMONS, R.F., BURGER, J.F. y LONG, R.E. (1.966) "An approach toward answering English questions from text". En BARR, A. y FEIGENBAUM, E. A.(1.981) "The Handbook of Artificial Intelligence " Vol I William Kaufmann Inc. Los Altos, California
- 30 QUILLIAN, M. R. (1.968) "Semantic memory". En NILSSON, N. J. (1.987): "Principios de Inteligencia Artificial". Ed. Díaz de Santos Madrid
- 31 RAPHAEL, B. (1.968):"SIR: A computer program for semantic information retrieval". En NILSSON, N. J. (1.987): " Principios de Inteligencia Artificial". Ed. Díaz de Santos Madrid.
- 32 THOMPSON, F. B. (1.966): "English for the computer". En BARR, A. y FEIGENBAUM, E. A. (1.981) "The Handbook of Artificial Intelligence " Vol I William Kaufmann Inc. Los Altos, California

encontrar respuestas a preguntas que no estaban almacenadas explícitamente en la base de datos.

- El cuarto grupo de programas de comprensión del lenguaje natural, desarrollados en los años setenta, se pueden denominar sistemas basados en el conocimiento y su desarrollo está fuertemente influenciado por la investigación en la representación del conocimiento. Estos programas utilizan abundante información sobre el dominio que les ayudará a comprender las sentencias del lenguaje. El conocimiento se almacena utilizando algún esquema de representación como: lógica, redes semánticas, frames, etc. Los programas LUNAR³³ y SHRDLU³⁴ pertenecen a este grupo.

Actualmente, los programas comerciales de lenguaje natural, están principalmente orientados al establecimiento de *interfaces*³⁵ con Bases de Datos. El intercambio de información con la Base de Datos se produce en forma conversacional y no restringida por los formalismos de los lenguajes de consulta específicos de Bases de Datos.

En el desarrollo de programas de lenguaje natural, la principal dificultad está en la comprensión del lenguaje en el complejo contexto de la comunicación diaria. Los intentos de modelizar el cómo las personas realizan la comunicación lingüística, lleva a las siguientes actuaciones:

- Acumular información sobre el significado de las palabras. Que implica, almacenar las relaciones de unas palabras con otras y con determinados comportamientos. En este sentido, Young (1979) define el lenguaje como: "*cualquier sistema específico de comunicación*

33 WOODS, W. A. (1.977): " Lunar rocks in natural English: Explorations in natural language question answering". En BARR, A., COHEN, P. R. y FEIGENBAUM, E. (1.989): " **The handbook of Artificial Intelligence**". Volume IV Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts.

34 WINOGRAD, T. (1.976): "Parsing natural language via recursive transition net". En BARR, A., COHEN, P. R. y FEIGENBAUM, E. (1.989): " **The handbook of Artificial Intelligence**". Volume IV Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts.

35 Conjunto de informaciones intercambiadas *-diálogo-* y procedimientos de acceso de un usuario con el sistema.

intencionada entre individuos"³⁶, entendiendo que el lenguaje influye en el comportamiento humano, tanto en el que expresa el mensaje como en el que lo recibe.

- Transformar una expresión lingüística en otra lógicamente equivalente y capaz de ser interpretada.
- Sustituir información lingüística obsoleta por otra más actualizada.

Los programas de lenguaje natural están limitados en la actualidad a procesar consultas sobre campos de conocimiento que forman su base de datos, reconociendo únicamente el vocabulario codificado en ellas. La automatización del proceso de adquisición de conocimiento, permitiría la incorporación de nuevos elementos a la base de datos, a medida de las necesidades del usuario, flexibilizando su aplicación.

- c) **Visión Artificial:** La visión artificial puede considerarse una tarea de proceso de información consistente en la comprensión de una escena a partir de imágenes proyectadas. El objetivo de la investigación actual en visión artificial es conseguir sistemas de visión por ordenador capaces de identificar cualquier objeto en su entorno tridimensional.

El interés por acercar la comunicación con el ordenador a los requerimientos psicológicos del ser humano y la posibilidad de modelizar los distintos procesos que permiten la visión, ha llevado a un gran desarrollo de este área de la Inteligencia Artificial. Los trabajos de investigación en visión artificial han proporcionado una serie de técnicas, que en la actualidad se aplican en distintos ámbitos: automatización de procesos industriales o adquisición de objetos por brazos robot; en la inspección en ciertas fases de los procesos de fabricación, tales como los resultados de procesos de fundición para la localización de impurezas y fracturas; las imágenes por satélite, para predicciones meteorológicas y

³⁶ YOUNG, J. Z. (1.979) "Programs of the Brain". En SIMONS, G. L. (1.988): "Introducción a la Inteligencia Artificial ". Ed. Díaz de Santos Madrid.

producción de cartografía; el facilitar la comunicación con los ordenadores, con entrada gráfica de datos o ayudas de diseño; las aplicaciones militares; el seguimiento de objetos en movimiento o navegación automática.

Los campos sobre los que trabaja la investigación en visión artificial se pueden categorizar en tres grupos dependiendo de los objetivos y los métodos empleados:

- Proceso de señales: transforma una imagen -de entrada- en otra imagen -de salida- con determinadas características. Por ejemplo, la imagen de salida puede enfatizar ciertos detalles que faciliten su inspección posterior. El contenido de la imagen es, con frecuencia, irrelevante.
- Clasificación de imágenes: técnicas para clasificar imágenes en categorías predeterminadas. El reconocimiento de caracteres es un ejemplo clásico.
- Comprensión de imágenes: dada una imagen, se pretende construir una descripción no solo de aquella sino, también, de la escena representada. Las primeras investigaciones en visión artificial, usaban el término "análisis de escenas" para enfatizar la distinción entre el proceso bidimensional de imágenes -clasificación- y las escenas tridimensionales. El proceso de comprensión de imágenes requiere conocimiento sobre el mundo al que ésta pertenece, así como, técnicas sofisticadas para su proceso.

Los sistemas de visión artificial actuales limitan el entorno a percibir con el fin de rentabilizar su empleo. La construcción de un sistema de visión artificial de propósito general, plantea una serie de problemas:

- La capacidad de interpretación tridimensional es muy limitada. La visión estereoscópica es difícil de implantar en los sistemas automáticos de visión.

- La conversión analógica-digital de la imagen ³⁷ puede verse dificultada -pérdida de información- si no son óptimas las condiciones de iluminación. Es el caso de imágenes borrosas, partes oscuras etc.
- El aceptar entradas inesperadas y no familiares para el sistema. Implica incorporar mayor cantidad de conocimientos previos, para permitir la interpretación de cualquier imagen del mundo exterior. Ha de tenerse en cuenta que en el hombre, el reconocimiento visual está relacionado con la memorización masiva de información.

Estos problemas se refuerzan si nos referimos a sistemas de visión de propósito general con capacidad de proceso de información, es decir, sistemas capaces de identificar un objeto arbitrario en tiempo real, en un escenario cualquiera y bajo cualquier tipo de iluminación y especificando una acción arbitraria. Estos sistemas en la actualidad no están disponibles dada la gran complejidad que presentan los problemas de visión-cognición. Una aplicación muy importante de los sistemas de visión artificial es la visión de robots. Se trata de desarrollar una tecnología capaz de dotar de capacidades visuales a robots industriales y manipuladores antropomórficos que les permita operar en entornos físicos no previstos. La visión de robots se está utilizando especialmente en la industria y en medicina.

El diseño de un sistema de visión robótica requiere el control de los factores: coste, operación en tiempo real, exactitud y flexibilidad. Si, los sistemas de visión de robots tienen su principal empleo en la industria es porque son sistemas capaces de competir en la realización de una determinada tarea con el trabajo humano. En la actualidad, los sistemas de visión aplicados a tareas industriales son aquellos diseñados específicamente para un entorno particular, donde el análisis minucioso de

³⁷ Conversión de los datos bidimensionales de imagen -compuesta por un elevado número de puntos de imagen, *pixeles*- en símbolos que puedan ser manipulados por un ordenador.

la tarea a realizar permite minimizar errores y obtener resultados satisfactorios. Un ejemplo de aplicación es CONSIGHT-I desarrollado en los Laboratorios de Investigación de General Motors ³⁸. El sistema basado en visión robótica recoge piezas colocadas aleatoriamente en una cinta transportadora. El sistema de visión opera en un ruidoso entorno visual, determinando la posición y orientación de la pieza en la cinta. Una vez localizada, la cinta se para y el robot transfiere la pieza a una determinada ubicación.

- d) Ingeniería del Conocimiento: Desarrollo de técnicas para la manipulación inteligente de estructuras de datos con objeto de obtener, *inferir*, conocimiento. El conocimiento incorporado a los programas de Inteligencia Artificial, supone la capacidad de éstos para definir estructuras de datos y sus correspondientes procedimientos interpretativos, de forma, que el programa muestre un comportamiento inteligente o experto. Se trata de alcanzar una representación formal del conocimiento -esquemas de representación-.

Sin embargo, de la misma forma que no hay un lenguaje de programación universal, no existe tampoco un formalismo ideal para representar el conocimiento en Inteligencia Artificial. Distintos programas, requerirán diferentes representaciones, en función del propio conocimiento que incorporan.

Los distintos formalismos desarrollados para la representación de conocimiento en Inteligencia Artificial, pueden agruparse en declarativos y procedurales. En los esquemas declarativos, el conocimiento se representa como un conjunto de hechos, al que acompaña un conjunto de procedimientos generales capaces de manipular cualquier conjunto de

³⁸ HOLLAND, S. W., ROSSOL, L. y WARD, M. R. (1.979): "CONSIGHT-I: A vision-controlled robot system for transferring parts from belt conveyors". En BARR, A., COHEN, P. R. y FEIGENBAUM, E. (1.989): " **The handbook of Artificial Intelligence**". Volume IV Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.

hechos. Durante la ejecución, los procedimientos generales de resolución se aplican a los hechos específicos almacenados, para realizar inferencias. En los esquemas de tipo procedural, el conocimiento se presenta como un conjunto de acciones a llevar a cabo si se producen ciertos hechos. Su aplicación va dirigida hacia aquel tipo de conocimiento que se adapta con dificultad a los esquemas declarativos, particularmente en el caso de inferencias a partir de hechos parcialmente conocidos u obtenidos por defecto. Sin embargo en la práctica, se utilizan representaciones que combinan ambos esquemas, o bien, esquemas de representación que, como los marcos o *frames* incorporan ambos en sí mismos.

De acuerdo con la clasificación anterior, se pueden considerar como esquemas declarativos los esquemas lógicos y las redes semánticas. Y como esquemas procedurales, los sistemas de producción y los frames, aunque estos últimos comparten características de ambos.

Al margen de la problemática que presentan los esquemas de representación de conocimiento, hay otros aspectos básicos a tener en cuenta cuando se plantea la adquisición de conocimiento en un programa de Inteligencia Artificial. Son aspectos como el aprendizaje y el conocimiento impreciso o incompleto. En ellos se encuentran, actualmente, las mayores dificultades para el desarrollo de los sistemas basados en conocimiento.

1.4 SINTESIS EVOLUTIVA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La idea de fabricar máquinas capaces de realizar facultades propias de los seres humanos, es antigua ³⁹. Su concreción e impulso más reciente se puede relacionar con el desarrollo de los ordenadores digitales electrónicos, que se inicia a principios de la

³⁹ SIMONS, G. L. (1.988) "Introducción a la Inteligencia Artificial". Ed. Díaz de Santos, Madrid.

década de los años 40, con la incorporación de los primeros componentes electrónicos a máquinas de procesamiento de números.

El ordenador digital tiene un primer antecedente en la "máquina analítica" de Charles Babbage (1.792-1.871), quien proyecta una máquina mecánica que: "sumaría, calcularía y obtendría resultados almacenables en tarjetas perforadas". Tarjetas que también serían capaces de almacenar los datos e instrucciones necesarias para llevar a cabo las operaciones. La máquina de Babbage era un concepto prematuro para el estado de la técnica de la época y no fue construida. Sería la posterior construcción, desarrollo y éxito de las máquinas analógicas lo que contribuyó, de forma decisiva, al nacimiento del ordenador digital.

La construcción de ordenadores analógicos se inicia en los años 30 con el Analizador Diferencial de Bush ⁴⁰. Al término de dicha década, fue aceptado como instrumento práctico de cálculos matemáticos aproximados y como mecanismo, también práctico, para el control y simulación de movimientos y fuerzas físicas. La construcción de la primera máquina digital se debe a Aiken y como la máquina analítica de Babbage podía realizar cálculos aritméticos utilizando tarjetas perforadas para suministrar datos, dar órdenes y almacenar resultados. Conocida como la Harvard Mark I, fue terminada en 1.944. Después vendría la construcción de la máquina digital ENIAC, en la que se utilizaron tubos de vacío y circuitos electrónicos por primera vez. El rápido desarrollo posterior de los ordenadores digitales tiene que ver con sus posibilidades de imitación de cualquier máquina de funcionamiento discreto, es decir, la posibilidad de realizar diferentes procesos de cálculo, siempre que dispusieran de las adecuadas instrucciones en cada caso.

En este sentido, la aportación de Von Neumann es decisiva. A mediados de los años cuarenta, Neumann resalta la conveniencia de combinar órdenes y datos en una memoria central de la máquina, proporcionando así, al ordenador digital, mayor

⁴⁰ SIMON, H. A. y NEWELL, A. (1.964) "Proceso de Información en el computador y en el hombre". En AIKEN, H. y otros "Perspectivas de la revolución de los computadores". Alianza Editorial Madrid 1.975.

flexibilidad y potencia para tratar problemas numéricos complejos en tiempos muy breves. Son estas propiedades incorporadas a los ordenadores digitales las que, en gran parte, permiten el desarrollo de los ordenadores digitales electrónicos de alta velocidad para usos generales construidos a partir de los años cincuenta.

La idea de utilizar los ordenadores para la realización de actividades inteligentes surge ya en las primeras etapas de su desarrollo. Alan Turing ⁴¹ propone en la primera mitad de los años 40 el empleo del ordenador en el juego del ajedrez. En un trabajo titulado "Intelligent Machinery", escrito en 1.948 y no publicado hasta mucho más tarde de su muerte, Turing establece un punto de vista general sobre la construcción de ordenadores inteligentes. El argumento de Turing es, que la construcción de una máquina que piense es posible, siempre que sea posible la imitación de alguna pequeña parte del cuerpo humano. Turing concluye que el juego es uno de los mejores dominios para explorar la mecanización del pensamiento ya que "requiere poco contacto con el mundo exterior". Turing concibió el juego del ajedrez como un vehículo adecuado para estudiar los procesos del pensamiento humano.

La cuestión de "¿pueden las máquinas pensar?" es planteada por Turing en "Computing Machinery and Intelligence" ⁴², quien propone un test de comportamiento, conocido como *test de Turing*, donde una persona se comunica en lenguaje natural a través del teletipo, con otra persona o un ordenador. El objetivo es distinguir cuándo el destinatario de la comunicación es una persona o un ordenador. Se destaca aquí, el aspecto simbólico de la inteligencia, que se relaciona con la simulación del comportamiento humano por parte de la máquina. En esta línea, Turing sugiere la simulación por ordenador del comportamiento de una persona que para resolver problemas aritméticos necesitara de tiempo extra y cometiera errores de cálculo. Esta versión del test de Turing es todavía un objetivo informal de la investigación de Inteligencia Artificial.

41 TURING, A. (1.937) "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem". En BROOKS, R. A. (1.991) "Intelligence Without Reason" IJCAI-91.

42 TURING, A. (1.950) "Computing Machinery and Intelligence". En SIMONS, G. L. (1.988): "Introducción a la Inteligencia Artificial". Ed. Diaz de Santos, Madrid.

El establecimiento de la Inteligencia Artificial como la disciplina que es hoy, se produce a mediados de los años 50. La iniciativa de su creación procede de la conocida conferencia de Dartmouth de 1.956 y la publicación del libro "Computers and Thought" ⁴³ en 1.963.

En esta conferencia participaron investigadores, que han tenido una importancia relevante, en el posterior desarrollo de la Inteligencia Artificial. Cabe destacar entre ellos ⁴⁴ a Samuel, que incorpora el aprendizaje en un programa inteligente para el juego de damas; Minsky, investigador de la problemática de la geometría plana y, en particular, de la implantación en el ordenador de razonamientos analógicos sobre figuras; McCarthy, dedicado a la realización de programas que incorporan razonamientos de sentido común y quién propusiera el nombre de Inteligencia Artificial para designar el nuevo conjunto de operaciones objeto de investigación; Newell, Shaw y Simon, que habían ya iniciado la construcción de un programa capaz de demostrar teoremas automáticamente: el "Logic Theorist", como resultado de un proyecto conjunto de la RAND Corporation y del Carnegie Institute of Technology.

Las iniciativas de investigación de los participantes en aquella conferencia dieron lugar, más tarde, a la creación de laboratorios de Inteligencia Artificial, como sería el caso, por ejemplo, del Laboratorio del MIT, por iniciativa de Minsky y McCarthy, quién también fundaría el Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad de Stanford. A su vez, Newell y Simon crearon y lideraron el grupo que constituyó el departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad Carnegie-Mellon.

De las ideas expresadas en la conferencia de Dartmouth, se acepta la "búsqueda" como método de resolución de problemas en Inteligencia Artificial, reforzado como tal por Minsky quien, en su Tesis Doctoral sobre un modelo neuronal ⁴⁵ y en varios

⁴³ FEIGENBAUM y FELDMAN (1.963): "Computers and Thought". En BROOKS, R. A. (1.991) "Intelligence Without Reason" IJCAI-91.

⁴⁴ SARABIA ALZAGA, J. M. (1.988): "Sistemas Expertos: una aproximación en el entorno empresa". Actualidad Financiera nº 26. Junio

⁴⁵ MINSKY, M. (1.954) "Neural Nets and the Brain Model Problem". En BROOKS, R. A. "Intelligence Without Reason" IJCAI-91.

trabajos posteriores ⁴⁶, se refiere a la necesidad de definir y controlar un apropiado espacio de búsqueda para la solución de problemas. A su vez, Simon y Newell ⁴⁷, con la utilización en su programa Logic Theorist de heurísticos para reducir el espacio de búsqueda, provocan la aceptación mayoritaria de la idea de búsqueda heurística por la comunidad de investigadores en Inteligencia Artificial. La búsqueda se adopta, así, como una tecnología básica en los inicios de la disciplina formal de la Inteligencia Artificial.

Por otra parte, el desarrollo del cuerpo de conocimientos que forma hoy la Inteligencia Artificial, pasa por varias etapas desde sus inicios: En una primera época - Etapa inicial 1956-1970- los esfuerzos de los investigadores se centran en la creación de las técnicas básicas para representar el comportamiento inteligente, tanto a nivel de métodos como de lenguajes. En esta línea se realizó por Newell, Shaw y Simon la formalización de los procesos de búsqueda heurística en las denominadas reglas de producción, constituidas por pares situación-acción. Estas reglas incluyen las características de situación del dominio donde se sitúa el problema, una vez verificados los antecedentes, y el conjunto de operaciones básicas a aplicar si aquellas se producen. En esta etapa también se pone de manifiesto, como consecuencia de la experiencia adquirida, que el conocimiento es fundamental para la resolución inteligente de problemas, de tal forma que la falta de conocimiento contextual limita severamente las posibilidades de resolución de problemas en Inteligencia Artificial.

En 1957, Newell, Shaw y Simon crean el lenguaje IPL que aplican en sus trabajos iniciales sobre métodos de resolución de problemas en Inteligencia Artificial. En este lenguaje los elementos simbólicos adquieren relevancia respecto a los elementos estrictamente numéricos. En IPL los datos se estructuran en "*cells*", que se componen de dos campos, cada uno de los cuales puede contener un valor o un puntero a otro "*cell*". Se trata de una estructura de datos en lista que es una forma general de organización de datos. Otra característica que aportó IPL fue "*generator*", un procedimiento para procesar

⁴⁶ MINSKY, M. (1.968) "Semantic Information Processing" En BARR, A. y FEIGENBAUM, E. (1.982): "**The Handbook of Artificial Intelligence**". Vol. III. William Kaufmann Los Altos, California.

⁴⁷ NEWELL, A., SHAW, J.C. y SIMON, H. (1.957): "Empirical Explorations with the Logic Theory Machine". En BROOKS, R. A. "**Intelligence Without Reason**" IJCAI-91.

una serie de valores. Este proporciona un valor cada vez que es llamado, para a continuación suspender su ejecución y reiniciarla a partir de ese punto en la siguiente ejecución. Muchos de los primeros programas de Inteligencia Artificial se escribieron en IPL, tal es el caso de Logic Theorist y de General Problem Solver.

El lenguaje LISP -List Processing Language-, creado por McCarthy en 1958, se puede considerar el primer lenguaje de programación utilizado en la representación y desarrollo de procesos inteligentes. En LISP los datos también se estructuran en lista, permitiendo, además sus características la elaboración de distintos entornos de programación diseñados en función del problema a resolver. Partiendo de un primer núcleo de funciones básicas, y dada su alta recursividad, se pueden desarrollar nuevas funciones, hasta el nivel requerido en la resolución de un problema.

La siguiente etapa histórica -Etapa de prototipos- corresponde a la década de los años 70. Se basa en las experiencias anteriores y se inicia con la construcción de prototipos en temas como resolución automática de problemas, visión computerizada y comprensión del lenguaje natural. Es en esta etapa donde se inicia la construcción de los primeros sistemas expertos -sistemas informáticos que incorporan, en forma operativa el conocimiento de una persona experimentada en una determinada área de conocimiento- con lo que se motiva la interacción de la Inteligencia Artificial con otras disciplinas. Los proyectos en esta etapa se desarrollan en busca de una posible aplicación comercial, perfeccionándose, en unos casos, modelos y procedimientos trabajados con anterioridad. Cabe citar como ejemplo, el desarrollo de proyectos capaces de entender subconjuntos del lenguaje natural y que alcanzan cierta eficacia en el campo donde se desenvuelven. En otros casos, es la integración de técnicas de Inteligencia Artificial lo que se intenta, con resultados positivos. El método STRIPS -Stanford Research Institute Problem Solver-, aplicado a la planificación de acciones de robots, es un ejemplo acertado de síntesis de dos técnicas empleadas en Inteligencia Artificial: la técnica heurística y la lógica.

Fruto de esta etapa es la primera versión del lenguaje PROLOG -Programming in Logic-, desarrollado en 1.975 por los profesores Colmerauer, Roussel y Kowalski ⁴⁸. Significa un cambio cualitativo en el enfoque de la programación que desplaza su centro de gravedad de las estrictas operaciones de resolución -el "cómo"- a incluir los conocimientos necesarios para la resolución -el "qué"-. El lenguaje PROLOG, está diseñado para procesos simbólicos. Es un lenguaje interpretado que responde, por tanto, a cualquier consulta intentando devolver inmediatamente una respuesta. Además es un lenguaje lógico, en el sentido que, una vez establecidos los hechos, se puede comprobar si una conclusión determinada puede deducirse de aquéllos o no.

El auge de la Inteligencia Artificial se pone de manifiesto en la Séptima Conferencia Internacional de Inteligencia Artificial (IJCAI) Canadá 1981 donde se tratan temas como: sistemas expertos, lenguaje natural, visión artificial, métodos de búsqueda, etc. A partir de 1981 hasta el momento actual -Etapa de difusión- la elaboración de proyectos de Inteligencia Artificial empieza a considerarse como una actividad informática profesional, extendiendo su ámbito de aplicación a la práctica totalidad de los campos socioeconómicos. De tal forma que las aplicaciones de las técnicas de Inteligencia Artificial no sólo son desarrolladas por los laboratorios de Instituciones y Universidades (Stanford, Instituto Tecnológico de Massachussetts (MIT), Carnegie-Mellon, etc.), sino también por las grandes empresas de alta tecnología (IBM, Hewlett Packard, Digital Equipment Corporation, etc.), que disponen de sus propios laboratorios de investigación en Inteligencia Artificial. Además, nuevas empresas se han establecido dedicadas en exclusiva al desarrollo de estos productos, dando respuesta al mercado potencial que se prevé en visión artificial, proceso en lenguaje natural, robótica y sistemas expertos. Las universidades también han iniciado la docencia de las técnicas de Inteligencia Artificial, así como su aplicación a la resolución de problemas en variadas disciplinas, con la utilización en su caso de herramientas de desarrollo ya elaboradas y disponibles comercialmente.

⁴⁸ CUENA, J. (1.985): "Lógica Informática" Alianza Editorial S.A. Madrid.

Un gran proyecto de esta etapa es la creación del *ordenador de quinta generación* iniciado por Japón en 1.982, con el objetivo de desarrollar un prototipo de ordenador que disponga, entre otras, de las siguientes características: interface en lenguaje natural, gestión de base de conocimientos, resolución automática de problemas y compresión de imágenes.

1.5 PERSPECTIVAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La evolución de las técnicas de Inteligencia Artificial en los últimos años, permite que el ámbito de los problemas a resolver sea cada vez mayor y más complejo. Sin embargo, todavía quedan muchos problemas por resolver y preguntas no contestadas. El desarrollo actual de la Inteligencia Artificial muestra las siguientes características: ⁴⁹ los principios y técnicas básicas en las distintas áreas objeto de estudio están diseñadas y demostradas; se dispone de lenguajes iniciales para programación y de herramientas que permiten la construcción de aplicaciones, aunque éstas todavía son escasas; por último, las aplicaciones actuales de Inteligencia Artificial se utilizan principalmente como ayuda inteligente, en la resolución de problemas, bajo control del usuario. El futuro de la investigación y el desarrollo de aplicaciones de Inteligencia Artificial va a depender, básicamente, del perfeccionamiento y creación de nuevas técnicas, pero también será relevante el interés y la utilidad que las nuevas aplicaciones tengan para las organizaciones empresariales, el grado y número de personas formadas en la creación y utilización de estas técnicas, la disponibilidad de "software" intercambiable y la necesidad de una comunicación "software" simple y fluida entre las aplicaciones de Inteligencia Artificial y los usuarios. Un resumen de la situación actual y perspectivas de las distintas áreas en las que se ocupa la Inteligencia Artificial podría resumirse como sigue:

- a) Resolución de problemas: Los programas basados en árboles de búsqueda exhaustiva, son ineficaces cuando se plantea la resolución de problemas reales y complejos. Se hace necesaria la incorporación al programa de

⁴⁹ GEVARTER, W.M. (1.987) "Máquinas Inteligentes. Una panorámica de la Inteligencia Artificial y de la Robótica". Díaz de Santos S.A. Madrid.

conocimientos y heurísticos para dirigir la búsqueda de la solución. Por otra parte, la mayoría de las aplicaciones de Inteligencia Artificial requieren la incorporación de las técnicas de resolución de problemas, de ahí que su evolución esté ligada, en cierta forma, al desarrollo de las aplicaciones a las que sirve de soporte.

- b) **Procesamiento del lenguaje natural:** Se dirige hacia la modelización de los procesos de comunicación entre el usuario y los programas de Inteligencia Artificial. Algunas de las funciones que cubren actualmente son: consultas al contenido de una Base de Datos, restringidas al campo de conocimiento almacenado en la misma; flexibilización y facilidad en la comunicación del usuario, con complejos programas de ordenador; la comprensión y generación de textos; y la enseñanza asistida por ordenador. La investigación actual se orienta a incorporar a los programas cada vez más conocimiento sobre la estructura del lenguaje y la definición de contextos para su correcta interpretación. Se trabaja en la ampliación de los campos de aplicación de los programas de proceso del lenguaje natural en orden a comprender y generar textos especializados, en incorporar interfaces en lenguaje natural a los microordenadores -facilitando así su acceso a personas no especializadas-, y en la traducción totalmente automatizada. Es en este último campo donde destaca un proyecto de la Comunidad Económica Europea: el programa EUROTRA⁵⁰. Un ambicioso programa de traducción automática con previsible pleno funcionamiento en este año 1.992, que pretende eliminar trabajo pesado y repetitivo, acelerar el proceso de traducción en las nueve lenguas oficiales de la CEE. y reducir costes ⁵¹. Ha sido desarrollado en PROLOG para ser ejecutado en estaciones de trabajo UNIX.

50 Comité Economique et Social des Communautés Européennes.(1.988): "**L'Europe et les Nouvelles Technologies**". Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Bruxelles.

51 DATAMATION (1.990): "Programa Eurotra: destino 1.992". Nº 53 Febrero

- c) **Visión artificial:** Los programas de visión artificial se pueden agrupar en dos categorías ⁵², identificadas como Primera y Segunda Generación de inteligencia. Los programas clasificados como de Primera Generación utilizan las propiedades geométricas de la imagen y requieren nueva programación para el desarrollo de distintas tareas. Con los programas de Segunda Generación se intenta la adaptabilidad a las distintas tareas, suprimiendo la programación previa y disponiéndose para ello de información dirigida y dedicada al problema a resolver. La investigación actual se centra en los sistemas de Tercera Generación que tratan de ampliar la comunicación, limitada en los anteriores a un teclado muy restringido, entre el operador y la máquina de visión pretendiendo que la comunicación se produzca en lenguaje natural. Los productos de visión de Primera y Segunda Generación funcionan ya en la industria del automóvil, como es el caso de General Motors Corporation que en 1.984 realizó una inversión de 100 millones de dólares en empresas americanas dedicadas al campo de la visión y Volkswagen, donde se lleva a cabo trabajos de inspección en distintas fases de su proceso de producción. La introducción de sistemas de Tercera Generación, acelerará el avance de la automatización y el desarrollo de plantas automatizadas en la industria. La Comunidad Económica Europea tiene en marcha un proyecto de visión artificial, denominado VIDIMUS - A Vision System Development Environment For Industrial Applications- cuyo objetivo ⁵³ es lograr una serie de herramientas de desarrollo de sistemas de visión. Deberá soportar la creación de sistemas relativamente genéricos, superando la especialización inherente a los actuales sistemas de visión artificial. El

52 CEDEFOP (1.987): "Desarrollos en Robótica y Futuras Aplicaciones". Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo.

53 CHIP (1.990): "Visión artificial: Una tecnología en vías de desarrollo". Nº 103. Junio

presupuesto total del proyecto es de 2.479 millones de pesetas, con una duración de cinco años.

- d) Robótica. La evolución de la visión artificial, ha tenido una clara repercusión en el desarrollo de la robótica. El desarrollo de las capacidades visuales de los robots constituye una de las barreras más importantes en el empleo de éstos en la industria. Sin embargo, la aplicación de los robots al campo industrial presenta ya ventajas, como son el incremento de productividad, la mejora de la calidad de los productos y la eliminación de trabajos repetitivos y tediosos.

En la actualidad, un alto porcentaje de los robots utilizados en la industria, realizan las tareas en *bucle abierto*, lo que significa que los brazos manipuladores del robot ejecutan la tarea previamente programada sin realimentación informativa del entorno en el que actúan. Es necesario dotar al robot de capacidades sensoriales para que esta realimentación se produzca. La visión en el robot tiene como objetivo el permitir que el programa pueda seguir distintos caminos, en función de lo captado por el ojo del robot, produciendo como consecuencia diferentes acciones. Los efectos de la visión sobre futuros usos de robots, se pueden resumir ⁵⁴ en: una mayor eficacia en la realización de tareas, especialmente aquellas que se refieren a operaciones de montaje; extensión del uso de robots hacia nuevas aplicaciones, como por ejemplo el control de calidad; introducir los robots en industrias donde actualmente no se utilizan, por ejemplo en agricultura para tareas de recolección, fabricación del calzado, confección e industria envasadora. En la investigación actual en robots móviles destacan los proyectos ⁵⁵: NAVIAB y TERREGATOR de la Universidad Carnegie Mellon y AUTONOMOUS LAND VEHICLE proyecto del DARPA agencia

⁵⁴ CEDEFOP (1.987): "Desarrollos en Robótica y Futuras Aplicaciones". Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo.

⁵⁵ CIMWORLD (1.992) " Visión Artificial y Robótica en Aplicaciones Industriales". Nº 29 Marzo/Abril.

gubernamental USA. Los dos primeros, pretenden el desarrollo de vehículos comerciales dotados de sensores, cámaras de vídeo y láser como detector de distancias, y el tercero tiene como objetivo el desarrollo de un vehículo totalmente autónomo con capacidad de desplazamiento en espacios abiertos.

En la actualidad es la industria del automóvil -con un porcentaje de aplicación del 35 por ciento en 1.990-, el sector que en Europa ha aceptado de forma plena los robots industriales, incorporándolos a su proceso de producción. También, Japón presenta un porcentaje similar de penetración de robots en la industria del automóvil, además de su amplia aplicación en la industria eléctrica/electrónica. La tendencia se orienta hacia el creciente empleo de robots, principalmente en las industrias en la que se requiere el montaje, como parte importante del proceso de fabricación.

- e) Respecto a la Ingeniería del conocimiento y más concretamente a las formas de representación del conocimiento, no hay un acuerdo sobre cuál de los distintos modos de representación es el más adecuado y se ajusta mejor al problema a resolver. Los formalismos de representación empleados dependen, en muchos casos, del área donde el conocimiento es aplicado. Así, en los sistemas de visión se utilizan preferentemente redes semánticas y, las reglas de producción son actualmente el modo de representación de conocimientos dominante en los sistemas expertos. Es de esperar, sin embargo, que en un futuro próximo se alcance una norma en las representaciones, permitiendo ajustar a cada problema la representación más idónea. Por otra parte, y teniendo en cuenta que la representación de conocimientos es especialmente importante en las aplicaciones de sistemas expertos, visión artificial y procesamiento del lenguaje natural, es previsible un gran incremento en el tamaño de las

bases de conocimiento y el desarrollo de técnicas eficientes que faciliten la adición y eliminación de conocimiento a las mismas.

Es de interés, para completar el estudio de las perspectivas de la Inteligencia Artificial, hacer mención a los principales proyectos europeos en curso, poniendo de relieve la participación española en dichos proyectos. La política comunitaria de investigación y tecnología se coordina mediante programas marco plurianuales que los Estados miembros aprueban por unanimidad ⁵⁶. Estos programas marco fijan los objetivos científicos y técnicos, presentando unas determinadas líneas de actuación. Las tecnologías de la información son una de ellas y se encuadran en el programa ESPRIT (European Strategic Programme for Research and Development in Information Technology). Este programa tiene una duración prevista de 10 años y auna los esfuerzos de investigadores de la industria, universidades y administraciones nacionales. Su objetivo es proporcionar a Europa el potencial tecnológico necesario para el tratamiento avanzado de la información incluyendo, entre otros estudios, el reconocimiento y síntesis de la imagen y la palabra y la robótica.

La industria y las instituciones españolas que desarrollan su actividad en el campo de las tecnologías de la información han intensificado su presencia en los programas comunitarios de I+D, tras las convocatorias correspondientes a 1.990 de EUREKA y ESPRIT. En el programa EUREKA están en marcha cerca de 400 proyectos, con una inversión aproximada de 950.000 millones de pesetas. La representación española se concreta en un total de 103 propuestas, que representan una inversión de 85.000 millones de pesetas. En la conferencia interministerial de EUREKA en mayo de 1.990 en Roma, del total de 93 proyectos aprobados 25 tienen participación española. De estos proyectos aprobados, 2 estaban adscritos al área de informática y 7 al área de robótica. La segunda convocatoria de ESPRIT, efectuada el año 1.990, concretó la

⁵⁶ Comunidades Europeas-Comisión (1.987): "La comunidad europea de la investigación y la tecnología" Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo.

aprobación de 104 proyectos, de los cuales 49 contaron con participación española con una subvención de 2.800 millones de pesetas ⁵⁷.

Por lo que se refiere a la Administración central española, el Plan Electrónico e Informático Nacional (PEIN) tiene como objetivo prioritario la consolidación progresiva del sector informático. Desgajado del PEIN, y con entidad propia, está el Plan de Automatización Industrial Avanzada (PAUTA), cuyo objetivo explícito es el apoyo al desarrollo de tecnologías básicas en automatización avanzada y robótica y en el desarrollo de aplicaciones industriales de las mismas. En el año 1.990 la inversión total en el PAUTA ascendió a 5.500 millones de pesetas ⁵⁸. Ahora bien, no solo la Administración central actúa de motor de la investigación y el desarrollo, sino también las comunidades autónomas disponen de sus propios planes y estrategias de I+D, como es el caso relevante de la comunidad del País Vasco y Madrid.

Fuera de Europa otros países también emplean importantes recursos en la investigación y desarrollo de proyectos de Inteligencia Artificial. En Japón destaca fundamentalmente su proyecto de ordenadores de quinta generación, y en Estados Unidos el "Defense Advanced Research projects Agency" -DARPA- con una inversión de 20 millones de dólares anuales ⁵⁹ en investigación en Inteligencia Artificial, ha desarrollado un programa de ordenadores superinteligentes, el SCS (Strategic Computers y Survivability) orientado hacia la creación de ordenadores de quinta generación, con el objetivo de competir en un mercado que se espera tenga un crecimiento continuado en los próximos años.

57 CHIP (1.991) "Investigación y desarrollo: una puerta abierta al futuro" Nº 110 Febrero Informe.

58 CHIP (1.991) "Investigación y desarrollo....." (Op. cit.)

59 GEVARTER, W.M. (1.987) "Máquinas Inteligentes. Una panorámica de la Inteligencia Artificial y de la Robótica". Díaz de Santos S.A. Madrid.