

**Luis AMADOR HIDALGO**



**INTELIGENCIA  
ARTIFICIAL  
Y  
SISTEMAS  
EXPERTOS**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**



# **INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS**

por:

***LUIS AMADOR HIDALGO***  
Profesor de Teoría Económica

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (ETEA)

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y  
SISTEMAS EXPERTOS

Autor:

Luis AMADOR HIDALGO

Edita:

Servicio de Publicaciones  
de la UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
Avda. Menéndez Pidal s/n  
14071 - Córdoba

Serie: Monografías N° 244

I.S.B.N.: 84-7801-346-6

Depósito Legal: CO-1059/96

Maquetación e impresión:

NANUK, S.L.

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b> .....	9
<b>I. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL</b> .....	13
1.1 INTRODUCCIÓN .....	15
1.2 LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: SUS OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Definiciones de inteligencia artificial basadas en el objetivo "Estudio de procesos cognitivos" .....	16
1.2.2 Definiciones de inteligencia artificial basadas en el objetivo "Creación de sistemas automáticos" .....	21
1.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	29
<b>II. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL</b> .....	51
2.1. REHISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	54
2.2. EL NACIMIENTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	58
2.2.1. Primera etapa (1955-1965) .....	64
2.2.2. Segunda etapa (1965-1975) .....	83
2.2.3. Tercera etapa (1975 en adelante) .....	100
<b>III. LOS SISTEMAS EXPERTOS. INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES</b> .....	131
3.1 INTRODUCCIÓN .....	133
3.2 GENERALIDADES .....	134
3.2.1 Concepto de Sistema Experto .....	137
3.2.1.1 Aproximación al Concepto basada en el componente humano: definición funcional .....	138
3.2.1.2 Aproximación al Concepto basada en el componente tecnológico: definición estructural .....	146
3.2.1.3 Definición de Sistemas Expertos como sistemas optimizados para búsqueda de información .....	149

<b>IV. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS</b> .....	153
4.1 INTRODUCCIÓN .....	155
4.2 COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS .....	156
4.3 CREACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO. PRINCIPIOS	
ARQUITECTÓNICOS .....	160
4.3.1 Base de conocimiento .....	160
4.3.2 Base de datos total (Memoria de trabajo) .....	163
4.3.3 Motor de inferencia (Estructura de control) .....	164
4.3.4 El componente de adquisición .....	166
4.3.5 El componente explicativo .....	167
4.3.6 Interfaz (Módulo) del experto .....	172
4.3.7 Interfaz de usuario .....	172
4.4 ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO .....	176
4.4.1 Etapa 1: Definición del problema. Identificación .....	179
4.4.2 Etapa 2: Búsqueda del experto o de la fuente de conocimiento .....	181
4.4.3 Etapa 3: Identificación de los conceptos y datos clave .....	183
4.4.4 Etapa 4: Selección del soporte: hardware y software .....	183
4.4.5 Etapa 5: Adquisición del conocimiento I .....	190
4.4.6 Etapa 6: Representación del conocimiento y formalización del	
razonamiento .....	194
4.4.7 Etapa 7: Desarrollo de un prototipo. Testeo y validación .....	197
4.4.8 Etapa 8: Adquisición del conocimiento II .....	200
4.4.9 Etapa 9: Mantenimiento y actualización .....	205
4.5 PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	
ACTUALES .....	206
4.5.1 Problemas y límites impuestos por el contexto donde el	
problema va a ser aplicado .....	207
4.5.2 Problemas y límites derivados del estado actual del arte .....	209
<b>V. TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS</b> .....	215
5.1 INTRODUCCIÓN .....	217
5.2 SEGÚN LA CONFIGURACIÓN QUE PUEDEN PRESENTAR .....	217
5.2.1 Sistemas expertos independientes .....	218
5.2.2 Sistemas expertos híbridos .....	218
5.2.3 Sistemas expertos dedicados .....	219
5.2.4 Sistemas expertos que presentan una arquitectura integrada .....	219
5.2.5 Sistemas expertos embebidos .....	222
5.3 SEGÚN LA TAREA QUE EJECUTAN .....	222
5.3.1 Sistemas expertos de control .....	222
5.3.2 Sistemas expertos de formación .....	224
5.3.3 Sistemas expertos para diagnosis, depuración y reparación .....	225
5.3.4 Sistemas expertos de supervisión .....	226

5.3.5 Sistemas expertos de planificación .....	227
5.3.6 Sistemas expertos de diseño .....	227
5.3.7 Sistemas expertos para pronóstico y predicción .....	228
5.3.8 Sistemas expertos de interpretación .....	229
5.4 SEGÚN EL ÁMBITO DE APLICACIÓN .....	230
5.4.1 Gestión y administración (Cuadro 5.1) .....	231
5.4.2 Ciencia e ingeniería (Cuadro 5.2) .....	232
5.4.3 Industria (Cuadro 5.3) .....	234
5.4.4 Finanzas y legislación (Cuadro 5.4) .....	235
5.4.5 Aplicaciones militares y espaciales (Cuadro 5.5) .....	236
5.4.6 Sistemas de diagnósticos (Cuadro 5.6) .....	237
5.4.7 Aplicaciones en medicina (Cuadro 5.7) .....	238
5.4.8 Aplicaciones en la empresa agrícola .....	239
5.4.8.1 Producción animal .....	239
5.4.8.2 Producción vegetal .....	240
5.4.8.3 Ingeniería e industrias agrícolas .....	241
5.4.8.4 Economía agraria .....	241
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>245</b>



# PRÓLOGO

---



*La Universidad de Córdoba, a través de su Servicio de Publicaciones, ha puesto en el mercado el libro que tienes en tus manos. Es un esfuerzo investigador, en el marco de un proyecto más complejo y, al mismo tiempo, el reflejo parcial de aquel esfuerzo. Su autor, doctor en ciencias económicas y empresariales por la Universidad editora, actualmente es profesor en la Facultad del ramo en la referida institución. He tenido la oportunidad de seguir la evaluación del proceso de formación del doctor Amador Hidalgo, en el ámbito de la inteligencia artificial y el desarrollo de sistemas expertos aplicados a los procesos de optimización en las explotaciones agrarias. En el marco de dicho proceso y como observador analítico externo de dicho trabajo sugerí, en su día, que una pequeña parte de sus aportaciones debería configurarse en un libro, como aproximación científica a la inteligencia artificial y al desarrollo de sistemas expertos. Tan ingente esfuerzo de análisis y puesta al día sobre la evolución histórica de la inteligencia artificial, conceptualización de sistemas expertos y tipología de los mismos no debería quedar restringido al puro ámbito universitario, sino que tal compilación comentada debería incorporarse al acervo público de la universidad cordobesa y del mundo científico. Esta es la razón última del esfuerzo editor.*

*El libro está dividido en cinco capítulos y una aportación bibliográfica, fundamentales para quien quiera acercarse a este territorio. Su lectura aborrrará tiempo y esfuerzo de análisis y de revisión y permitirá a quienes se adentren en este ámbito científico luz suficiente para no perderse en tan compleja boscosidad.*

*En el capítulo primero se ofrecen las acotaciones y definiciones que unos y otros, científicos y expertos, han hecho y ofrecido sobre la naturaleza y esencia de la inteligencia artificial, reforzando el autor la trinidad de sus fundamentos: la búsqueda heurística, al representación del conocimiento y el sentido común, todo ello expresado mediante los lenguajes propios de la inteligencia artificial.*

*En el capítulo segundo el libro presenta la evolución histórica de la inteligencia artificial, desde la prehistoria de este ámbito científico hasta nuestros días. El autor sitúa el inicio histórico en 1955 y hasta nuestros días señala tres eras: la era decenal de 1955-65, que podría denominarse del Triunfalismo; y el decenio 1965-76, que el autor denomina de la Desilusión y la era actual, que acota el tiempo desde 1975-1995 y que podría nombrarse como el período de la Gran aceleración. Sin disentir sobre si los límites de los períodos están nítidamente delimitados, puede aceptarse esta categorización por la expresión real de muchos cuerpos científicos que recorren el proceso desde el triunfalismo infantil a la desilusión juvenil, hasta entrar, tras largo período de reflexión, en el período de alta producción y eficiencia.*

*Escribir sobre inteligencia artificial obliga y conduce a escribir y ensimismarse en los sistemas expertos. Una y otros son complementarios y sobrenadados, por ello los capítulos tercero y cuarto abordan este ámbito. En el capítulo tres el lector, de modo sucinto, recibe la conceptualización funcional y estructural de un sistema experto. En el capítulo cuarto se inicia el lector en los principios arquitectónicos de un sistema experto, para interesarse luego, en el proceso que permite desarrollar el sistema experto hasta recibir un anticipo de los problemas, que puede encontrar en esta aventura y los límites no sobrepasables sin correr el riesgo de obtener un rotundo fracaso.*

*Si el lector está interesado en este tópico no debe dejar de leer el capítulo quinto en el que se ofrecen tipologías de los sistemas en función de la tarea que desempeñan y, sobre todo, un elenco completo de sistemas expertos de acuerdo con el ámbito de aplicación: gestión y administración, ciencia e ingeniería, industria, finanzas, aplicaciones militares y espaciales, diagnóstico y aplicaciones en la empresa agrícola, sobre cuyo último espacio el autor ha desarrollado su propio sistema de optimización.*

*El insistente estímulo que el autor ha recibido del profesor doctor Francisco Amador Hidalgo permite que hoy dispongamos de esta esmerada obra. Este estímulo produjo la adecuada respuesta científica que fue galardonada con la máxima calificación por la Universidad de Córdoba a nivel de tercer ciclo. Esta respuesta ha sido bien aceptada por el Servicio de Publicaciones y, por ello, hoy querido lector tienes en tus manos este ejemplar.*

*José Javier Rodríguez Alcaide*

# I

---

## LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1 INTRODUCCIÓN.

1.2 LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: SUS OBJETIVOS.

1.2.1 Definiciones de inteligencia artificial basadas en el objetivo "Estudio de procesos cognitivos".

1.2.2 Definiciones de inteligencia artificial basadas en el objetivo "Creación de sistemas automáticos".

1.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.



## **1.1 INTRODUCCIÓN.**

Dado que el objetivo principal de este texto se centra en la temática de los sistemas expertos, parece lógico que, en un paso previo a su tratamiento en profundidad, se analice el campo más genérico donde éstos se enmarcan que no es otro sino el de la Inteligencia Artificial. Con ello se pretende que el desarrollo del mismo guarde una continuidad lógica, yendo de lo más genérico, que es el campo correspondiente a la Inteligencia Artificial, a lo más concreto, sistemas expertos, como área de aplicación de aquella. El análisis de este apartado se va a apoyar, con bastante frecuencia, en las opiniones expresadas por diversos investigadores en este campo, las cuales servirán a veces de base y otras de complemento a los comentarios y las conclusiones propias.

En esta primera parte, se pretende dar una visión resumida, dado su carácter introductorio, del desarrollo que ha seguido la Inteligencia Artificial desde su aparición como tal hasta el presente. La misma se estructura en dos capítulos. El primero está dedicado al análisis del concepto de Inteligencia Artificial. En el segundo, se repasan y enumeran algunos de los hechos y autores importantes que en las últimas décadas han sido protagonistas de la evolución de esta disciplina.

## **1.2 LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: SUS OBJETIVOS.**

Como ocurre en otras muchas áreas de la ciencia y del conocimiento, cuando se comienza el estudio y análisis de una determinada disciplina, el primer paso que se suele dar para dicho fin es intentar definirla. Casi siempre resulta bastante tentador delimitar desde un principio, y bajo el formato de definición, el contenido y objeto de la materia en cuestión. Pues bien, en el caso de la Inteligencia Artificial no existe, sobre este aspecto, un consenso entre la comunidad de científicos que se dedican a su estudio y desarrollo. La

dificultad para elaborar una definición de Inteligencia Artificial se deriva de dos hechos fundamentales. Primero, el continuo recelo y rechazo del hombre a admitir que una máquina pueda incorporar capacidades mentales en el más amplio sentido de la expresión. Es muy frecuente que los escépticos pongan el énfasis en aquellas facetas no conseguidas y que caracterizan a la auténtica inteligencia. En segundo lugar, la inteligencia. En sí misma suele ser un concepto mal definido y poco comprendido.

Para Mishkoff<sup>1</sup>

Si existiera una definición concisa y universalmente aceptada, sería mucho más fácil llegar a un conocimiento preciso de la Inteligencia Artificial; desgraciadamente hay un amplio desacuerdo en lo que significa este término.

A partir de aquí no es extraño encontrar investigadores que se consideraran a sí mismos trabajando dentro del campo de la Inteligencia Artificial, pero que no son reconocidos como tales por sus colegas y por otros científicos. Por el contrario, hay científicos en áreas consideradas como tradicionales<sup>2</sup> en Inteligencia Artificial y, no obstante, declinan aplicar esa denominación a sus investigaciones y trabajos.

A pesar de esta dificultad de partida, parece necesario examinar algunas definiciones de Inteligencia Artificial que se han ido dando a medida que se avanzó en el estudio y comprensión de dicha materia. Para Mochón<sup>3</sup> son dos los objetivos que es posible reconocerle a la Inteligencia Artificial y, según se considere uno u otro, las definiciones de Inteligencia Artificial que se pueden citar serán diferentes.

### 1.2.1 Definiciones de Inteligencia Artificial basadas en el objetivo "Estudio de Procesos Cognitivos".

Un primer objetivo de la Inteligencia Artificial se puede centrar, en general, en el estudio de los procesos cognitivos<sup>4</sup>, intentando obtener un desarrollo teórico sistematizado de las diversas actividades del intelecto que nos per-

---

<sup>1</sup> H. C. Mishkoff (1988), **A Fondo: Inteligencia Artificial**, Madrid, Ed. Anaya Multimedia, p. 11, Traducido al castellano de la obra **Understanding Artificial Intelligence**, publicada por Howard W. Sams & Co. Inc. (1985).

<sup>2</sup> Shoham hace mención, como tales, a las siguientes áreas: planificación y resolución de problemas, representación del conocimiento, búsqueda heurística, sistemas basados en conocimiento, lenguaje natural, robótica, demostración de teoremas, y sistemas con capacidad de aprendizaje.

M. P. Shanahan y Y. Shoham (1991), **Temporal Reasoning, Fourth Avanced Course On Artificial Intelligence (ACAI 91)**, Bilbao, 1/12 Julio.

<sup>3</sup> J. Mochón y otros (1987), **Inteligencia Artificial: evolución histórica y perspectivas de futuro**, en J. Mompín (Coor.), **Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones**, Barcelona, Ed. Marcombo, p. 3.

<sup>4</sup> Carretero Díaz considera que los procesos cognitivos fundamentales son:

mitan un conocimiento más profundo y preciso del mismo. Los trabajos sobre métodos automáticos de deducción, sentido común, síntesis de planificación, comprensión y generación del lenguaje natural, entre otros, son ejemplos de investigación en Inteligencia Artificial sobre dichos procesos. Los investigadores en Inteligencia Artificial, a lo largo de estos años, han usado muchas técnicas diferentes para intentar hacer a los ordenadores más inteligentes. Una de estas técnicas, utilizada normalmente, ha sido la determinación de los procesos empleados por el hombre para generar una conducta inteligente y su implementación en un ordenador. Esto es lo que se ha dado en llamar modelación o simulación. Dentro de este ámbito, las definiciones a tener en cuenta son varias:

Para Hayes<sup>5</sup> la Inteligencia Artificial es el estudio de la inteligencia como proceso. Este último término, proceso, no implica siempre obligatoriamente operaciones numéricas, sino que indica los procedimientos efectivos por medio de los cuales se pueden generar comportamientos inteligentes. Por ello, el objetivo principal de esta disciplina no son tanto los programas o el propio ordenador sino la conducta inteligente y, en particular, la conducta humana<sup>6</sup>. El ordenador es una herramienta valiosa, por su capacidad, para representar cualquier sistema discreto de símbolos físicos. Profundizando en esta idea, Bauer<sup>7</sup> apunta que si se observara el área de la Inteligencia Artificial, sólo

(continuación de nota 4)

- Memorización (almacenamiento y recuperación de datos).
- Aprendizaje.
- Solución de problemas.
- Inferencia y deducción lógica.
- Percepción y reconocimiento de formas.
- Toma de decisiones.
- Comprensión del lenguaje natural.

El autor apunta que cada uno de estos aspectos, que conforman sólo una parte del comportamiento inteligente humano, es lo suficientemente complejo como para suscitar, en sí mismo, un dominio diferenciado de investigación dentro del campo genérico de la Inteligencia Artificial. Ver: L. E. Carretero Díaz (1989), *Consideraciones en torno a las posibilidades de implantación de los Sistemas Expertos en las decisiones organizativas*, *ESIC Market*, Julio/Septiembre, nº 65, pp. 77-90.

<sup>5</sup> P. J. Hayes (1973), *Some comments on Sir James Lighthill's Report on Artificial Intelligence*, *AISB (Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour) Study Group European Newsletter*, Julio, nº 14, p. 40.

<sup>6</sup> En sintonía con esta idea se encuentra la opinión de Gervarter. Para él la investigación en el campo de la Inteligencia Artificial debe centrarse, aunque no de forma única, en la comprensión de la inteligencia. Consultar:

W. M. Gevarter (1987), *Máquinas Inteligentes*, Madrid, Ed. Díaz de Santos, p. 5. Traducción al castellano de la obra *Intelligent Machines. An introductory perspective of Artificial Intelligence and robotics*, publicada por Prentice Hall, Englewood Cliffs (New Jersey), (1985).

<sup>7</sup> K. Bauer y otros (1988), *Sistemas Expertos. Introducción a la técnica y aplicación*, Barcelona, Ed. Marcombo, p. 17. Traducido al castellano de la obra *Experten-Systeme*, publicada por Siemens Aktiengesellschaft, Berlín, (1988).

desde el punto de vista de la informática, no podría explicarse el comportamiento humano ante, por ejemplo, la solución de un problema.

En el mismo sentido que los autores anteriores se pronuncia Boden<sup>8</sup>, que afirma:

Sin embargo una cosa es cierta: La Inteligencia Artificial no es el estudio de las computadoras. Las computadoras son máquinas metálicas de interés intrínseco para la Ingeniería Electrónica (...). Por Inteligencia Artificial, en consecuencia, entiendo el uso de programas de computadora y de técnicas de programación para proyectar luz sobre los principios de la inteligencia en general y de la inteligencia humana en particular (...). De ello se sigue que no hago ninguna distinción básica de principio entre la Inteligencia Artificial y la simulación por computadora. Desde luego hay una diferencia de acento entre las investigadoras (sic.) que intentan hacer una máquina que haga algo, independientemente de cuán humano sea, y las que pretenden escribir un programa que sea equivalente funcionalmente a una teoría psicológica.

Como se puede apreciar, la interpretación de Boden pone el énfasis sobre el hecho de que la Inteligencia Artificial abarca toda aquella investigación<sup>9</sup> sobre ordenadores que, de algún modo, sea pertinente para el conocimiento, los procesos intelectuales y la psicología humana en general<sup>10</sup>. Para ella es un término genérico que engloba toda la investigación de Inteligencia Artificial relevante para el conocimiento y la psicología humana, debiendo ayudar a clarificar y entender lo complejo de la mente, e incluso pudiendo llegar a su-

---

<sup>8</sup> M. A. Boden (1984), *Inteligencia Artificial y hombre natural*, Madrid, Ed. Tecnos, pp. 21-23. Traducción al castellano de la obra *Artificial Intelligence and Natural Man*, publicada por The Harvester Press Limited, Brighton (Sussex), (1977).

<sup>9</sup> Para una profundización en ésta, consultar entre otros:

C. Bonnet y otros (1989), *La Inteligencia Artificial y la Automática*, Barcelona, Ed. Herder. Traducción al castellano de la obra *Psychologie, Intelligence Artificielle et automatique*, Bruselas, Pierre Mardaga (ed), (1986).

J. H. Fetzer (1988), *Aspects of Artificial Intelligence*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

S. R. Graubard (1988), *The Artificial Intelligence Debate. False stars, real foundations*, Cambridge (Massachusetts), The MIT Press.

P. H. Lindsay y D. A. Norman (1977), *Human information processing*, New York, Academic Press.

M. Minsky (1986), *La Sociedad de la Mente*, Buenos Aires, Ed. Galápagos. Traducción al castellano de la obra *The Society of Mind*, New York, Simon and Schuster, (1986).

A. Newell y H. A. Simon (1972), *Human Problem Solving*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall.

H. A. Simon (1969), *The sciences of artificial*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.

<sup>10</sup> En la misma línea se sitúan las opiniones de otros autores:

J. Martin y S. Oxman (1988), *Building Expert Systems. A tutorial*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, p. 1.

D. Michie (1974), *On Machine Intelligence*, New York, John Wiley & Sons, p. 156.

P. H. Winston (1977), *Artificial Intelligence*, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 15.

gerir hipótesis sobre todos los procesos mentales implicados. Así los ordenadores son, para la Inteligencia Artificial, herramientas de las que se sirve para expresar sus teorías a modo de programas. Son precisamente los programas los que capacitan a las máquinas para hacer cosas que requerirían inteligencia si fuesen llevadas a cabo por el hombre. En esta misma línea de opinión se encuentran Cortés, Millán y Plaza<sup>11</sup> cuando se refieren a la Inteligencia Artificial como la disciplina que se encarga del estudio de las diversas alternativas que pueden ser arbitradas para captar el conocimiento. Su idea es que (...) La Inteligencia Artificial puede entenderse como el estudio de las posibles representaciones del conocimiento y su empleo en el lenguaje, el razonamiento, el aprendizaje, etc. (...).

El esfuerzo realizado por los investigadores, para encontrar una base teórica aplicable al concepto de inteligencia, ha hecho que el ordenador, según Aubert y Schomberg<sup>12</sup>, termine convirtiéndose precisamente en un método muy útil para poder analizar y estudiar en qué consiste aquella. De esta manera se han llegado a examinar nuevos métodos de razonamiento y, en definitiva, a intentar explicar por qué llamamos inteligencia a este modo de proceder. Gracias a los distintos trabajos realizados ha sido factible un conocimiento más profundo de las analogías existentes entre el cerebro humano y el ordenador. Esta mejor comprensión de la inteligencia humana ha permitido una mejora considerable en el rendimiento de los ordenadores.

Para Sloman<sup>13</sup>, la mejor forma de definir el concepto de Inteligencia Artificial es enumerando sus propósitos en términos generales. Así, él distingue:

(...) tres finalidades principales en el dominio de la Inteligencia Artificial: análisis teórico de posibles explicaciones efectivas del comportamiento inteligente; explicación de las habilidades humanas y construcción de artefactos inteligentes.

Sloman reconoce que el comportamiento inteligente está íntimamente ligado con las habilidades para: construir, interpretar, describir, modificar, comparar y utilizar estructuras complejas, incluidas las simbólicas. Por lo tanto, la investigación en Inteligencia Artificial pasa por las investigaciones en otras ciencias muy relacionadas con la naturaleza humana como son, entre otras, la educación, la psicología, la fisiología, la lingüística y la antropología<sup>14</sup>. A

<sup>11</sup> U. Cortés y otros, (1986), **Inteligencia Artificial: Fundamentos de los Sistemas Basados en Conocimientos**, Ediciones y Distribuciones Universitarias, S. A. (EDUNSA), p. 3.

<sup>12</sup> J. P. Aubert y R. Schomberg (1986), **Inteligencia Artificial**, Madrid, Ed. Paraninfo, p. 9. Traducción de la obra **Pratiquez L'intelligence Artificielle**, publicada por Editions Eyrolles, París.

<sup>13</sup> Citado por G. L. Simons (1987), en **Introducción a la Inteligencia Artificial**, Madrid, Ed. Díaz de Santos, p. 52. Traducción al castellano de la obra **Introducing Artificial Intelligence**, publicada por The National Computing Centre Limited (1984).

<sup>14</sup> Estas son disciplinas que, de alguna manera, se ocupan del estudio y análisis de la actividad cognoscitiva humana.

principios de la década de los 70 se aceptó, por parte de la comunidad científica, que los ordenadores podían ayudar a explicar algunas facetas importantes del funcionamiento de la mente humana. Esto, sin embargo, no tiene por qué relacionarse con la idea, en algunos momentos ampliamente difundida, de que el ordenador inteligente deberá incorporar el mismo esquema de trabajo y funcionamiento que el cerebro humano. Según Schoen y Sykes<sup>15</sup>.

Los trabajos realizados en el área de la Inteligencia Artificial han tenido otro efecto sobre el área de las Ciencias Sociales. La precisión requerida para describir aspectos del conocimiento y la conducta humana, para usarlos en programas de computadora, han conducido a algunos cambios en el estudio del proceso de comprensión e información del ser humano (...).

En la misma línea de pensamiento que los autores anteriores se centra la opinión de Angulo y del Moral<sup>16</sup>. Estos hacen referencia al hecho de que el principal objetivo, dado que es su esencia, de la Inteligencia Artificial es la creación de máquinas inteligentes. Sin embargo, de igual forma y apoyándose en los trabajos desarrollados para alcanzar el fin anterior, la Inteligencia Artificial debe marcarse también como objetivo el colaborar en una mejor comprensión de la inteligencia humana y de todos los procesos que la acompañan: el aprendizaje, la visión, el conocimiento y el lenguaje. Conviene resaltar aquí que esos procesos, a los que ya se ha hecho referencia, constituyen algunas de las áreas de aplicación más importantes dentro del campo genérico de la Inteligencia Artificial. La visión artificial, la representación del conocimiento, la comprensión del lenguaje natural, etc., son algunos de los que han alcanzado un mayor desarrollo e importancia a lo largo de estos años de investigación.

Otra aportación, dentro del grupo de autores que considera el estudio de los procesos cognitivos como el aspecto central sobre el que fijar los desarrollos de la Inteligencia Artificial, es la de Nilsson<sup>17</sup>. Para él:

La Inteligencia Artificial comprende también el ambicioso objetivo de construir una teoría de la inteligencia en base al proceso informático. Si se pudiese desarrollar una ciencia de la inteligencia se podría guiar el diseño de máquinas inteligentes a la vez que se explicaría el comportamiento inteligente que se da en los seres humanos (...).

La cuestión que conviene resaltar ante esta opinión es que, por desgracia, la elaboración de esa teoría general está todavía muy lejos de mostrar

---

<sup>15</sup> S. Schoen y W. G. Sykes (1987), *Putting Artificial Intelligence to Work*, New York, John Wiley & Sons Inc., p. 49.

<sup>16</sup> J. M. Angulo y A. del Moral (1986), *Inteligencia Artificial*, Madrid, Ed. Paraninfo, pp. 100-101.

<sup>17</sup> N. J. Nilsson (1987), *Principios de Inteligencia Artificial*, Madrid, Ed. Díaz de Santos, pp. 1-2. Traducción al castellano de la obra *Principles of Artificial Intelligence*, publicada por Tioga Press, (1980).

una cierta madurez y, por lo tanto, hoy por hoy es un objetivo potencialmente alcanzable y no una realidad con la que poder contar. Ni que decir tiene que poder disponer de un cuerpo elaborado y depurado de conocimiento abrirá múltiples vías de desarrollo tanto a la Inteligencia Artificial como a otras ciencias relacionadas, de alguna forma, con la misma<sup>18</sup>.

Como resumen de este primer objetivo marcado a la Inteligencia Artificial, que se ha analizado a través de las opiniones de los distintos autores citados, se ha de destacar que la meta final de ésta es el estudio de la conducta inteligente y, en particular, de la conducta humana. Los científicos cognitivos al determinar los procesos que incorporan inteligencia humana, en una determinada situación, pretenden concretar los procesos que, más tarde, podrán ser programados en un ordenador para intentar simular dicha conducta. Así, se está intentando crear un modelo de conducta humana inteligente para tratar de simular, en un ordenador, esa conducta y para determinar si éste podrá exhibir la misma conducta inteligente que el ser humano. La comunicación entre la modelación en el ordenador y la Ciencia Cognitiva<sup>19</sup> es bidireccional. Los científicos cognitivos desarrollan teorías e hipótesis que son programadas por los investigadores como modelos en el ordenador. Estos modelos se usan para comprobar la validez de aquellas teorías e hipótesis. La realimentación, a partir de los modelos en el ordenador, permite a los científicos cognitivos ajustar sus teorías que, a su vez, serán utilizadas en la implementación de nuevos y mejores modelos, repitiéndose el proceso de forma sucesiva.

### **1.2.2 Definiciones de Inteligencia Artificial basadas en el objetivo "Creación de Sistemas Automáticos".**

Como segundo objetivo a lograr por la Inteligencia Artificial, está la creación de entes o sistemas automáticos que sean capaces de llevar a cabo tareas y funciones que han estado, hasta el momento, reservadas en su desempeño exclusivamente a los seres humanos. En este segundo enfoque la Inteligencia Artificial se enmarca dentro de un contexto, más tecnológico, donde sea posible diseñar y construir programas, máquinas, etc., con aptitudes similares o superiores a las de un ser humano.

La primera fase de las aplicaciones del ordenador es bien conocido que se ha concentrado en los cálculos numéricos. Actualmente, nos encontramos en un momento de transición hacia otra fase en la que se intenta que los ordenadores posean la facultad de razonar. A la parcela de la informática que se

---

<sup>18</sup> En este apartado las ciencias relacionadas con la Inteligencia Artificial serían, entre otras, la psicología, la neurofisiología, la pedagogía, la lingüística, etc.

<sup>19</sup> Para Mishkoff la Ciencia Cognitiva es el campo que investiga los detalles de los mecanismos de la inteligencia humana para determinar los procesos que producen inteligencia en una situación concreta. Para más detalles consultar:

H. C. Mishkoff, **A Fondo: Inteligencia ...**, op. cit., p. 257.

ocupa de la concepción y el diseño de ordenadores inteligentes se la suele denominar como Inteligencia Artificial. Profundizando en esta idea se encuentran numerosas opiniones que, orientadas en tal sentido, intentan definirla.

Una primera opinión, a la que se hace referencia con bastante frecuencia y que podría ser catalogada como clásica, es la de Rich<sup>20</sup> (...) La Inteligencia Artificial es el estudio de cómo hacer que los ordenadores hagan cosas que por el momento las personas realizan de una forma más perfecta (...). Esta es una aportación que está en la línea de lo que se ha dado en llamar el Teorema de Tessler, según el cual: Inteligencia Artificial es cualquier cosa que los ordenadores aún son incapaces de hacer. Además, es de fácil apreciación que, en la definición dada por Rich, se alude a cosas que los ordenadores hacen peor que los humanos. Es precisamente sobre esas cosas sobre las que se va centrar ahora el análisis. La pregunta que parece obvia en este momento es: ¿qué cosas son las que los ordenadores pueden realizar mejor que nosotros? Para dar una respuesta conviene considerar los siguientes apartados:

- 1) Cálculo numérico. Una operación de cálculo que se podría encontrar, entre otras y en cualquier momento sería, por ejemplo, dividir 6287 entre 19. Aparentemente, dos podrían ser las vías alternativas para solucionar la cuestión. Una, realizar el cálculo utilizando nuestra capacidad mental, es decir, "de cabeza". Otra, consistiría en la utilización de una simple calculadora de bolsillo. ¿Cuál de estas dos vías sería más rápida y precisa? Lógicamente la utilización de la calculadora de bolsillo nos llevaría a la obtención de un resultado más inmediato y preciso. Hoy día los ordenadores han llegado a tener una potencialidad tan grande que resultaría imposible para una persona ocuparse de las tareas, a nivel simple de cálculos, desarrolladas por éstos.
- 2) Almacenaje de información. En la actualidad y para cualquier actividad, de la naturaleza que sea, se manejan grandes cantidades de información que hacen referencia a aspectos muy diversos. Se entremezclan datos numéricos con símbolos, textos, figuras, etc., que, casi siempre, es necesario retener o guardar por si en un momento posterior nos fuese útil emplearlos. Nuevamente encontraríamos la posibilidad de emplear los medios propios para intentar retener y almacenar todos los datos e información o bien utilizar, como instrumento de apoyo, el ordenador. Este permitirá retener y almacenar grandes cantidades de datos e información, además de poder disponer de ello cuando así se le requiera.

---

<sup>20</sup> E. Rich (1983), *Artificial Intelligence*, New York, McGraw-Hill, p. 1.

- 3) Ejecución de operaciones repetitivas. Con bastante asiduidad surge la obligación de tener que repetir determinadas actividades o procesos de forma casi mecánica. En la ejecución de estas tareas, si la serie es larga, podemos llegar a perder efectividad e incluso al desempeño poco estimulante y tedioso de las mismas. Sin embargo, si se dispone de un ordenador, éste realizará las tareas siempre a un mismo nivel de efectividad y sin llegar nunca a cansarse en dicha realización.

Muy en relación con la cuestión planteada con anterioridad se situaría la contraria a ella. Es decir, ¿cuáles son las cosas que, tradicionalmente nosotros, los humanos, podemos hacer mejor que los ordenadores?<sup>21</sup> De inmediato la idea que fluye de la mente es: todas aquellas que comportan inteligencia. El hombre va más allá del simple procesamiento de la información ya que es capaz de entenderla. Además, puede dar sentido a lo que ve y oye, puede relacionar ideas y objetos, generando nuevos hechos y, por último, dispone del sentido común que le sirve de guía a través de un entorno frecuentemente poco definido. De lo anterior parece oportuno entresacar la conclusión de que los humanos, todavía, son más inteligentes que los ordenadores. Dado que, según la definición de Rich, la Inteligencia Artificial pretende perfeccionar la actuación de los ordenadores en aquellas actividades en las que los humanos, aún, se comportan de forma más adecuada que éstos, parece entonces evidente que la tarea principal de tal disciplina ha de ser la de hacer a los ordenadores más inteligentes. Para Barr y Feigenbaum<sup>22</sup> la Inteligencia Artificial es una parte de la informática relacionada con el diseño de sistemas de ordenadores inteligentes, es decir, sistemas que exhiben características que, normalmente, asociamos con la inteligencia de la conducta humana. Es importante resaltar la idea de que Barr y Feigenbaum definen el ordenador inteligente como aquel que emula o imita la conducta inteligente de los seres humanos<sup>23</sup>. Y esta conducta inteligente de los seres humanos,

<sup>21</sup> Una definición que apunta en este sentido y que se encuentra en la línea de lo expuesto en el Teorema de Tessler, aunque quizá de una forma un tanto extrema, es la de Hofstadter. Él define la Inteligencia Artificial como cualquier cosa que los ordenadores son incapaces de hacer. Esta definición quizá peca de ser excesivamente abierta en la delimitación del campo de actuación de esta disciplina. Ver: G. L. Simons, *Introducción a la ...*, op. cit., p. 44.

<sup>22</sup> A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.) (1981), *The Handbook of Artificial Intelligence*, Los Altos (California), William Kaufman, vol. 1, p. 3.

<sup>23</sup> Sobre esta cuestión, y aunque ya se ha apuntado algo en esta investigación, existe una controversia entre los investigadores que opinan de la misma forma que Barr y Feigenbaum acerca del objetivo de la Inteligencia Artificial, es decir, la simulación en ordenador de conductas inteligentes utilizando para ello las mismas técnicas que utiliza un ser humano, y aquellos otros que opinan que el objetivo de ésta no es otro que simular con un ordenador conducta inteligente, utilizando para ello cualquier técnica aunque no sea la propia de los humanos. En un intento de superar dicha controversia hay investigadores que proponen, como última meta de la Inteligencia Artificial, algo bastante más ambicioso que el crear ordenadores que simulen procesos humanos o que exhiban conducta humana inteligente. Estos apuntan al hecho de que la Inteligencia Artificial debe producir ordenadores que piensen, es decir, máquinas que de por sí sean inteligentes.

¿cómo es?, o expresándolo en otros términos, ¿qué es inteligencia? Se intentará responder a esta cuestión, aunque no es fácil<sup>24</sup>.

Es generalmente admitida la dificultad que entraña encontrar una definición precisa de lo que se considera como inteligencia. Incluso (...) La principal dificultad para el desarrollo de la Inteligencia Artificial está en el hecho de que aún no estamos totalmente seguros de cuál es la definición de Inteligencia Natural<sup>25</sup>. A pesar de tal dificultad, y aún con el riesgo que siempre comportan las definiciones, parece oportuno incluir aquí algunas de ellas por si pudieran servir, en lo posible, como elemento clarificador del término objeto de estudio. Para Angulo y del Moral<sup>26</sup> la Inteligencia Natural se puede considerar como (...) la capacidad de respuesta de un ser inteligente ante determinadas circunstancias (...), o bien, la facultad de adquirir y manipular conocimientos para obtener razonamientos útiles. Esta capacidad, a la que Angulo y del Moral hacen referencia, depende de diversos elementos como son: las reglas de comportamiento, la lógica en deducir consecuencias, la experiencia, la facilidad para incorporar información externa, la rapidez para encadenar pensamientos y, en general, otra serie de elementos no definibles. En el cuadro 1.1 se recoge un estudio comparativo de las características definitorias más importantes de la Inteligencia Natural y la Artificial.

Para Wechsler<sup>27</sup>, la inteligencia es la capacidad global que posee un individuo para actuar en orden a conseguir determinados objetivos, pensar racionalmente y relacionarse de forma eficaz con su entorno. Por su parte, el psicólogo Stern<sup>28</sup>, la concibe como la capacidad general que tienen los individuos para ajustar conscientemente su modo de pensar a los nuevos requisitos del entorno, adaptándose de una forma dinámica a los nuevos problemas y condicionantes. Es observable una cierta similitud entre una y otra definición<sup>29</sup>.

---

<sup>24</sup> Winston, en referencia a esta cuestión, destaca el hecho de que definir el concepto de inteligencia puede implicar tarea para al menos seis meses y, aún transcurrido este tiempo, es posible que no se haya llegado a una definición concreta. Ver:

P. H. Winston y K. A. Prendergast (eds.) (1984), **The AI Business**, Cambridge (Mass.), The MIT Press, pp. 1-13.

<sup>25</sup> G. L. Simons (1985), **Los ordenadores de la quinta generación**, Madrid, Ed. Díaz de Santos, p. 79. Traducción de la obra **Towards Fifth-Generation Computers**, publicada por The National Computing Centre Limited, (1983).

<sup>26</sup> J. M. Angulo y A. del Moral, **Inteligencia ...**, op. cit., p. 9.

<sup>27</sup> Citado por G. L. Simons, en **Los ordenadores de la quinta...**, op. cit., p. 80.

<sup>28</sup> Citado por G. L. Simons, en **Los ordenadores de la quinta ...**, op. cit., p. 80.

<sup>29</sup> Algunas definiciones más al respecto pueden encontrar en:

G. L. Simons, **Introducción a la ...**, op. cit., pp. 16-20.

Cuadro 1.1 COMPARACIÓN INTELIGENCIA ARTIFICIAL-INTELIGENCIA NATURAL.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL	INTELIGENCIA NATURAL
<b>RASGOS COMUNES</b>	
*Se acrecienta con la experiencia *Obsolescencia y empobrecimiento por falta de uso	*Se acrecienta con la experiencia *Obsolescencia y empobrecimiento por falta de uso
<b>ASPECTOS POSITIVOS</b>	<b>ASPECTOS NEGATIVOS</b>
*Suele estar bien documentada. Se puede reproducir y transmitir con facilidad *Posibilidad de acumular conocimiento permanentemente *Es consistente *Perdura tras la desaparición de la persona *Coste razonable	*Documentación escasa *No resulta fácil su transmisión *Es efímera y no permanente *Es irregular *Desaparece con la persona *Coste alto
<b>ASPECTOS NEGATIVOS</b>	<b>ASPECTOS POSITIVOS</b>
*De forma general no es creativa *No forma parte de la cultura general de una persona	*Es creativa *Forma parte de la cultura general de una persona

Fuente: Elaboración propia

No obstante, prescindiendo del mayor o menor acierto que comportan algunas de estas definiciones, sí que se puede estar de acuerdo en la existencia de una serie de características, sugeridas por Hofstadter<sup>30</sup>, como actitudes esenciales de la inteligencia. Algunas de tales características son las siguientes:

- Responder de una manera flexible a las situaciones. No hay motivo para proceder de la misma forma siempre que uno se enfrenta consecutivamente a un problema similar. Si así se hiciera, se seguiría una conducta mecánica en lugar de inteligente.
- Saber extraer el sentido de mensajes contradictorios o ambiguos. Se entienden muchas expresiones, que aparecen como contradictorias o ambiguas, ya que se es capaz de referirlas a un contexto adecuado debido al conocimiento y experiencia que se posee.
- Se puede reconocer la importancia relativa de los diferentes elementos que concurren en una situación. Diariamente, se reciben grandes cantidades de mensajes e información y se da un sentido al entorno circundante, asignando diferentes niveles de importancia a todos los acontecimientos ocurridos en el mismo.
- Se encuentran semejanzas entre distintas situaciones, a pesar de las

<sup>30</sup> D. R. Hofstadter (1987), *Gödel, Escher, Bach: Un eterno y grácil bucle*, Barcelona, Ed. Tusquets. Traducción de la obra *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Brain*, publicada por Basic Books, New York, (1979).

diferencias posibles que puede haber entre ellas. En el reconocimiento de estas semejanzas se basan las acciones futuras, dado que del pasado se han retenido y aprendido cosas. Por eso, no es necesario que dos hechos o situaciones sean idénticas para que se le aplique la experiencia.

- Se detectan las diferencias existentes entre dos situaciones, a pesar de las aparentes similitudes que se puedan dar entre ellas, obrando en consecuencia.

A esta serie de características que se han enumerado previamente se las suele denominar, en su conjunto, como sentido común. No hay nada de especial en ellas y son corrientes y comunes a todos los seres humanos. No obstante, son varias las voces que proclaman el hecho de que, todas las cualidades y características referidas con anterioridad, son algo exclusivo del ser humano. Por eso, según ciertos autores, ninguna máquina puede pensar. Hay quien apunta la idea de que el ordenador no es nada más que una máquina voluminosa y rápida para efectuar cálculos aritméticos. Pues bien, aunque los ordenadores pueden realizar operaciones aritméticas, éstas no son las únicas posibles. Hoy día los ordenadores se consideran ya máquinas manipuladoras de símbolos, un enfoque que, sin embargo, no limita su tremenda potencialidad con el cálculo aunque sí les permita además, entre otras cosas, resolver problemas, interpretar datos y tomar determinados tipos de decisiones. Hay también quien opina que los ordenadores son sólo capaces de hacer lo que se les ordena que hagan. Ningún mecanismo podrá actuar más allá de lo que su programación interna le permita y obligue. La cuestión de si un ordenador puede, por sí sólo, realizar innovaciones está actualmente abierta al estudio e investigación de los expertos, si bien es cierto que se han logrado ya algunos éxitos en la obtención de nuevos conocimientos y planteamientos por parte de los ordenadores.

Una vez delimitado con aproximación el concepto de Inteligencia Natural, se retoma el tema de la definición de Inteligencia Artificial. Según Gevarter<sup>31</sup>, y desde una perspectiva un tanto simplista, la Inteligencia Artificial trata de idear programas de ordenador que aumenten la inteligencia de éstos. Los programas en los que la Inteligencia Artificial se interesa son, primariamente, procesos simbólicos que implican complejidad, incertidumbre y ambigüedad. Son procesos que requieren búsqueda, ya que no admiten soluciones algorítmicas. Este modo de resolución difiere, de forma notable, de los cálculos técnicos y científicos, fundamentalmente numéricos, que suministran siempre resultados adecuados y satisfactorios. En contraposición, los programas de In-

---

<sup>31</sup> W. M. Gevarter, *Máquinas ...*, op. cit., p. 5.

<sup>32</sup> B. G. Buchanan y E. H. Shortliffe (1984), *Rule-Based Expert Systems*, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 3.

teligencia Artificial tratan con conceptos y palabras, no garantizando siempre una solución válida. Buchanan y Shortliffe<sup>32</sup> ponen el énfasis en esta cuestión a la hora de definir la Inteligencia Artificial. Según ellos (...) La Inteligencia Artificial es una rama de la informática que trata de la resolución de problemas por métodos simbólicos y no algorítmicos. Es el mismo Buchanan<sup>33</sup> el que, en otra obra, hace referencia a esta misma cuestión, añadiendo un matiz que tiene cierta importancia en este intento de conceptualizar la Inteligencia Artificial. Según él son factibles, como métodos para procesar información, la representación del conocimiento, usando símbolos en lugar de números, y la heurística<sup>34</sup> o reglas de razonamiento informal basadas en la experiencia<sup>35</sup>. No obstante, ésta será una cuestión que se tratará con algo más de detenimiento en el apartado tercero del presente capítulo.

De esta forma, la investigación en este campo se centrará en el desarrollo de planteamientos inteligentes del comportamiento inteligente y tendrá como objetivo, aunque no único, aumentar la utilidad de las máquinas y los procesos informáticos.

Quizá una de las aportaciones que más aceptación ha tenido, en términos generales, es la del pionero en cuestiones de Inteligencia Artificial Marvin Minsky<sup>36</sup>. Según su criterio ésta se dedica a programar los ordenadores de forma que realicen tareas que, si fuesen llevadas a cabo por un ser humano, exigirían inteligencia por parte de la persona que las ejecuta. Actividades como escribir un libro, conducir un coche o la comprensión del lenguaje se dice que requieren e implican un cierto nivel de inteligencia. Por eso, los investigadores en Inteligencia Artificial se ocupan del desarrollo e implementación de sistemas informáticos que generan resultados normalmente asociados con la inteligencia humana. Es decir, se apunta a la aplicación de una serie de cualidades como son la comprensión, el aprendizaje, el conocimiento, la toma de decisiones, la percepción, la creación, el razonamiento, etc., a las que se ha hecho referencia con anterioridad al estudiar el concepto de Inteligencia Natural. También, para Duda<sup>37</sup> y sus discípulos, la Inteligencia Artificial encierra el contenido al que se acaba de hacer referencia y tiene, según ellos,

<sup>33</sup> Citado por H. C. Mishkoff en *A fondo:...*, op. cit., p. 21.

<sup>34</sup> Esta se puede definir como una aproximación al problema, basada en la experiencia, que proporciona un determinado procedimiento para intentar la resolución del mismo. Estas aproximaciones no garantizan siempre soluciones adecuadas a los problemas planteados.

<sup>35</sup> En el mismo sentido se pronuncia Hayes-Roth. Ver para ello:

F. Hayes-Roth (1981), *Artificial Intelligence: The New Wave-A technical tutorial for R & D Management*, Santa Mónica (Ca.), Rand Corporation, (AIAA-81-0827), p. 1.

<sup>36</sup> Citado por S. Lindsay (1988), en *Practical applications of Expert Systems*, Wellesley (Mass.), QED Information Sciences Inc., p. 1.

<sup>37</sup> R. O. Duda y otros (1979), *State of the Technology in Artificial Intelligence, Research Directions in Software Technology*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, pp. 729-749.

como último objetivo una expansión cualitativa de la capacidad de los ordenadores. Se trata de una búsqueda de métodos y procedimientos con el objeto de conseguir que la "herramienta ordenador" sea de mayor utilidad para el hombre.

Una vez comentadas las opiniones de algunos investigadores en esta materia y siguiendo con el intento de clarificar la cuestión relativa a la determinación de una definición de Inteligencia Artificial, puede resultar interesante recoger ahora la aportación hecha al respecto por Schank<sup>38</sup>. Este autor se aleja un tanto de los enfoques más clásicos que se han analizado hasta ahora, orientando su opinión mediante la aplicación de otro criterio distinto a los utilizados previamente. Según él, para entender el concepto de Inteligencia Artificial se ha de tener presente que esta materia está sufriendo un cambio continuo. La Inteligencia Artificial debe ser considerada como una "evolución" en lugar de una "revolución". Debido a que constantemente se buscan nuevas vías y problemas de mayor interés para ser estudiados, es lógico pensar en una definición evolutiva de la Inteligencia Artificial en función de los trabajos de investigación que se desarrollen. Aunque los límites de esta materia experimentan una expansión continua, es razonable suponer que, la definición en sí, está en proceso de ser algo menos cambiante. Además, hay que tener en cuenta que los principios básicos, sobre los que se fundamenta esta disciplina, empiezan a conocerse en profundidad y con cierta precisión, lo cual viene a facilitar, de alguna manera, la ardua tarea de definirla.

Por último, como contrapunto a las ideas expuestas en este apartado hasta el momento, se presentan a continuación ciertas opiniones orientadas en el sentido de que quizá no tenga excesiva trascendencia el hecho de tener que dar, por fuerza y dentro de la más estricta ortodoxia metodológica, una definición de la disciplina que nos ocupa. Bastantes personas que mantienen una relación estrecha con el tema, son de la opinión de que no es vital el tener que aportar una definición precisa de Inteligencia Artificial. Cuando los editores de la revista "Artificial Intelligence" entrevistaron a algunas personalidades importantes dentro de este campo, les plantearon cuestiones tales como: ¿Es la Inteligencia Artificial una disciplina única? ¿Cuáles son sus rasgos distintivos respecto de otras áreas? Pues bien, ninguno de ellos encontró problema en la falta de una definición precisa sobre esta materia e, incluso, algunos hicieron hincapié en su poca importancia. Como muestra de esta corriente de opinión se retoman las palabras de Amarel<sup>39</sup> a este respecto. Él afirma (...) no estoy preocupado por el momento con la naturaleza de la Inteligencia Artificial

---

<sup>38</sup> R. C. Shank y P. G. Chiders (1984), *The Cognitive Computer*, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 26.

<sup>39</sup> Opinión expresada en:

D. G. Bobrow y P. J. Hayes (1985), *Artificial Intelligence Where are We?, Artificial Intelligence*, Marzo, vol. 25, pp. 375-415.

y las definiciones de esta disciplina. Mucho más rotundo en sus afirmaciones se muestra Davis<sup>40</sup> cuando es preguntado acerca de esta cuestión:

Existen un gran número de aproximaciones a un gran número de objetivos. En mi opinión no se puede dibujar una línea definida que nos diga esto es Inteligencia Artificial y esto no. Y tampoco es relevante. El dar un nombre a una cosa no lo es todo.

Finalmente, se recoge una opinión más sobre este punto que sirva de colofón al apartado. Las palabras de Witkowsky<sup>41</sup>, al referirse a este tema, apuntan hacia que en definitiva por Inteligencia Artificial hay que entender una combinación, sin una clara definición, de conceptos bastante diversos. Según él<sup>42</sup>, esta disciplina es una mezcla de ideas sobre percepción, resolución de problemas, abstracción, generalización, habilidades, aprendizaje, memorización, conocimiento, etc.

Es por lo tanto ésta una cuestión que, como se puede constatar, se presta a una amplia diversidad de tratamientos y enfoques por parte de las distintas personas que se han dedicado a su estudio y análisis y que, por el momento, no ha conocido una unanimidad en los criterios para su tratamiento. Sería deseable, sin embargo, el conseguir que la coordinación y unificación de estos criterios sea, cuanto antes, una realidad. Se ahorrarían así esfuerzos que, en numerosas ocasiones, resultan redundantes y, en otras, demasiado aislados. Con ello, además, se facilitaría un progreso adecuado en el conocimiento de esta materia que, en el momento que vivimos, ha cobrado un gran auge y cuyas expectativas cara al futuro son muy prometedoras.

Dado el carácter introductorio y de marco de referencia que tiene el presente capítulo, se concluye con estas últimas opiniones la cuestión relativa a la definición de Inteligencia Artificial. En el apartado siguiente se tratarán algunos de los elementos básicos que la componen y caracterizan.

### 1.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La metodología a seguir para el desarrollo de esta cuestión estará basada, en gran medida, en la comparación de las peculiaridades de la informática convencional y la Inteligencia Artificial como nueva alternativa. Algunos de los aspectos a tratar aquí lo van a ser de forma breve debido al menor protagonismo de los mismos dentro de la presente investigación.

Al igual que a la informática convencional se le han venido reconociendo una serie de características peculiares, desde las etapas iniciales de su de-

<sup>40</sup> Citado en H. C. Mishkoff, *A Fondo: ...*, op. cit., p. 29.

<sup>41</sup> M. Witkowsky (1980), *Planning techniques find optimal routes*, *Practical Computing*, June, pp. 90-94.

<sup>42</sup> Citado por G. L. Simons, en *Introducción a la ...*, op. cit., p. 212.

sarrollo, la Inteligencia Artificial también posee una serie de elementos particulares que la caracterizan y diferencian. Del análisis de estos elementos particulares tratarán los apartados siguientes.

Para Nilsson<sup>43</sup> son cuatro los elementos o pilares básicos sobre los que descansa el fundamento de un programa de Inteligencia Artificial. Él los enumera así: la búsqueda heurística, la modelación y representación del conocimiento, el razonamiento de sentido común y lógica y, por último, los lenguajes y herramientas de Inteligencia Artificial.

a) Búsqueda heurística. Hasta la aparición de la Inteligencia Artificial, la mayoría de los programas de ordenador existentes estaban concebidos para realizar operaciones y cálculos fundamentalmente numéricos o alfa-numéricos, efectuándolos con gran rapidez y exactitud. La aplicación de algoritmos<sup>44</sup> era la base de sustentación de la mayoría de los programas convencionales que exigían, además, un conocimiento completo de la cuestión a resolver. Según Van Horn<sup>45</sup>, en un algoritmo cada factor es delimitado con precisión y las definiciones son todas fijadas en términos de números o relaciones numéricas. La ejecución de cualquier programa convencional conlleva la cumplimentación rígida de una serie de procesos hasta alcanzar la solución deseada.

Estos programas, utilizados ampliamente en las últimas décadas, han proporcionado resultados satisfactorios hasta tal punto que las predicciones más optimistas, pero a la vez también precipitadas y osadas, pronosticaron la posibilidad de que los mismos fuesen capaces de superar a la inteligencia humana simplemente mediante la reducción de todo hecho, fenómeno o problema a elementos que puedan ser representados en términos matemáticos, procesándolos con posterioridad mediante ordenadores cada vez más rápidos y precisos. Sin embargo, esta posibilidad se vio muy pronto frustrada debido a que muchos de los problemas más frecuentes e interesantes que se afrontan casi a diario, no pueden ser reducidos a simples números. A esto se le añade, además, el hecho de que el tratamiento de tales cuestiones tampoco depende de la disponibilidad o no de potentes ordenadores capaces de procesar con rapidez grandes series numéricas.

La cuestión fundamental de este tema radica en que los humanos poseen la cualidad de detectar posibles vías, para solucionar un problema, que están fuera del alcance de los programas convencionales. Una persona pue-

---

<sup>43</sup> N. J. Nilsson (1981-82), *Artificial Intelligence: Engineering, Science or Slogan*, *AI Magazine*, Invierno, nº 1, vol. 3, pp. 2-9.

<sup>44</sup> Un algoritmo se define como un procedimiento, paso a paso, con un principio y un fin concretos, existiendo la garantía de poder encontrar una solución adecuada para resolver un problema específico.

<sup>45</sup> M. Van Horn (1986), *Understanding Expert Systems*, New York, Bantam Computers Books, pp. 22-23.

de desarrollar toda una serie de procesos cognoscitivos que le capacitan para reducir el área de búsqueda, en la resolución de un problema, partiendo de un amplio abanico de posibilidades iniciales. Si no se fuese capaz de hacer ésto, el número de casos a verificar sería tan amplio que seríamos virtualmente aplastados bajo su enorme peso. Es lo que con frecuencia se viene a denominar formalmente como explosión combinatoria. Obsérvese que cada vez que se toma una decisión se abren nuevas oportunidades de decisiones posteriores, existiendo por lo tanto puntos de bifurcación. Para problemas de gran complejidad resulta muy difícil explicitar y verificar todas las posibles alternativas de solución hasta localizar la que nos lleve a la más idónea, o en su caso, a la única factible. El método tradicional de representación de las alternativas posibles en la resolución de un problema ha sido, hasta ahora, el árbol de decisión. Inicialmente se usaron métodos ciegos para el examen de estos árboles. Eran métodos de búsqueda que garantizaban la no utilización de una misma vía de solución más de una vez. La realidad demostró pronto que en problemas complejos estos enfoques no eran, en ningún modo, los más adecuados. Como alternativa a dichos modelos la Inteligencia Artificial aportó lo que se ha denominado búsqueda heurística o, simplemente, heurística. Según Feigenbaum y Feldman<sup>46</sup> (...) Una heurística es una estrategia, truco, simplificación o cualquier otra clase de estratagema que limita drásticamente la búsqueda de soluciones en grandes espacios de problemas (...). Por lo tanto nos permite determinar cómo se debe proceder ante un problema, seleccionando las bifurcaciones, dentro de un árbol, con más posibilidades. Con ello se restringe la búsqueda, aunque no se garantiza siempre la obtención de una solución adecuada o correcta. Todo lo que se puede decir, para que una heurística sea útil, es que debe ofrecer soluciones que sean lo suficientemente buenas y aceptables en la mayoría de las ocasiones. Además, utilizando la heurística no hay que replantear por completo un problema cada vez que se afronte. Si ya se tiene una experiencia anterior, ésta sugerirá la forma en que se debe proceder para resolverlo de la manera más conveniente. En el cuadro 1.2 y la figura 1.1 se muestra una comparación entre la informática convencional y la metodología aplicada dentro de su ámbito, y la correspondiente a la aplicada en el ámbito de la Inteligencia Artificial<sup>47</sup>. Se puede advertir cómo el concepto de dato es ampliado al de conocimiento y los algoritmos son sustituidos por una búsqueda inteligente orientada a la localización de vías de solución empleando dicho conocimiento.

<sup>46</sup> E. A. Feigenbaum y J. Feldman (1963), **Computers and Thought**, New York, McGraw-Hill, p. 6.

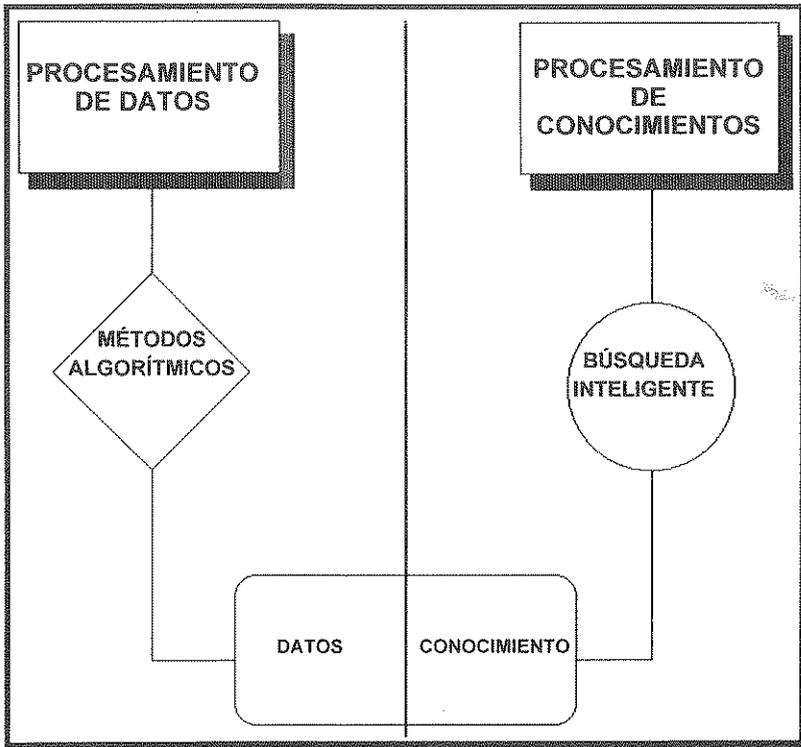
<sup>47</sup> Otros autores que tratan esta cuestión son:

N. Bryant (1988), **Managing Expert Systems**, Chichester (West Sussex), John Wiley & Sons Inc., pp. 7-13.

T. Coleman (1989), **Expert Systems for the Data Processing Professional**, Manchester, NCC Publications, pp. 5-8.

L. E. Frenzel, Jr. (1989), **A Fondo: Sistemas Expertos**, Madrid, Ed. Anaya-Multimedia, pp. 15-18.

Figura 1.1 TRANSICIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS AL PROCESAMIENTO DE CONOCIMIENTO.



Fuente: Elaboración propia.

b) Representación del conocimiento. El conocimiento y la comprensión de las cosas, hechos y fenómenos, y en general de todo cuanto acontece en el entorno, es fruto de un proceso mediante el cual se realiza una abstracción y representación de lo percibido a través de los sentidos. Hoy día nadie pone ya en duda que la representación de esa realidad, a través de una amplia diversidad de modelos y esquemas, es una de las cuestiones más complejas que el hombre ha afrontado a lo largo de su historia. Cuando se analiza el problema de la representación del conocimiento es frecuente centrar la atención sobre la manera en que se pueden representar, de una forma natural y asequible, los objetos y fenómenos que conforman dicha realidad. Si ésto se consigue se hará posible, además, una interpretación exacta y precisa de la misma que, con posterioridad, posibilitará actuar convenientemente sobre ella para modificarla según los objetivos que se hayan planteado. Es, por lo tanto, la representación una cuestión clave a la hora de encontrar soluciones a los problemas planteados intentando, además, que éstas sean adecuadas.

Cuadro 1.2 PROGRAMACIÓN CONVENCIONAL-PROGRAMACIÓN SIMBÓLICA. COMPARACIÓN.

PROGRAMACIÓN CONVENCIONAL	PROGRAMACIÓN SIMBÓLICA
Orientada hacia el procesamiento numérico	Orientada hacia el procesamiento simbólico
Emplea algoritmos	Emplea heurísticos
Procesamiento por lotes y secuencial	Procesamiento interactivos
Imposibilidad de acceso a explicaciones o aclaraciones	Fácil acceso a explicaciones y aclaraciones
Base de datos dirigida numéricamente	Base de conocimiento estructurada simbólicamente

Fuente: Elaboración propia.

Una profundización en el análisis del concepto y en su delimitación, aunque dentro ya del ámbito de la informática, y más concretamente de la Inteligencia Artificial, llevará a recoger algunas opiniones y comentarios significativos que sobre el mismo se han expresado. La primera corresponde a Barr y Feigenbaum<sup>48</sup> que en una de sus obras más conocidas se refieren al mismo en los siguientes términos:

(...) la representación del conocimiento es una combinación de estructuras de datos y procedimientos de interpretación que, si son utilizados correctamente por un programa, éste podrá exhibir una conducta "inteligente".

Es decir, su objeto se centra, fundamentalmente, en permitir que el saber (conocimiento) pueda ser utilizado (empleado) de forma inteligente por parte de los ordenadores e, indirectamente, por las personas que los programan. Para ello, será objetivo prioritario en este campo el diseño de estructuras que permitan la (el) acumulación (almacenaje) del conocimiento y la creación de métodos que posibiliten un manejo inteligente del mismo. Este último punto viene a conectar, de forma clara, con lo que actualmente, y casi de forma unánime, se reconoce como el propósito mismo de la Inteligencia Artificial. La opinión de Fariñas y Verdejo<sup>49</sup> al respecto:

La Inteligencia Artificial tiene como objetivo construir modelos computacionales (programas) que al ejecutarse resuelvan tareas con resultados similares a los que obtendría una persona. Por ello, el tema central de esta disciplina es el estudio del conocimiento y su manejo (...).

Finalmente, se recoge el comentario de Buchanan y Shortliffe<sup>50</sup> acerca de este mismo concepto, encontrándose éste en la misma línea de lo ya apun-

<sup>48</sup> A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 1, p. 143.

<sup>49</sup> L. Fariñas del Cerro y M. F. Verdejo, *Representación del Conocimiento*, en J. Mompín (Coord.), *Inteligencia Artificial. Conceptos ...*, op. cit., p. 27.

<sup>50</sup> B. G. Buchanan y E. H. Shortliffe, *Rule-Based ...*, op. cit., p. 391.

tado con anterioridad. Según ellos (...) La Representación del Conocimiento en un programa de Inteligencia Artificial significa elegir una serie de convenciones para describir objetos, relaciones, y procesos en el mundo (...).

Con todo ello ha ocurrido que, en los últimos años, según Raphael<sup>51</sup>, gran parte del esfuerzo realizado en la consecución de ordenadores inteligentes ha estado caracterizado por el intento continuo de conseguir más y mejores estructuras de representación del conocimiento, junto con técnicas adecuadas para su manipulación, que permitiesen la resolución inteligente de algunos de los problemas ya planteados. Tanto es así que numerosas cuestiones no se pudieron solucionar satisfactoriamente hasta que no se arbitraron sistemas de representación y manejo del conocimiento adecuados al contexto en el que aquellas se insertaban. Por ello, ha sido constante el empeño por diseñar diferentes estructuras, para el almacenaje de información, con las cuales poder suministrar el conocimiento necesario a un sistema. También se han concebido diversas técnicas y métodos que posibilitan un manejo inteligente de dichas estructuras y del conocimiento en sí mismo.

Ha sido bastante frecuente que el hombre, en su afán de representar y modelizar la realidad que le rodea, haya utilizado una simbología muy variada aunque no siempre igualmente válida o afortunada. En este intento de modelización de la realidad la Inteligencia Artificial incorpora un enfoque flexible, principalmente en procesos no numéricos que implican complejidad, incertidumbre y ambigüedad, y para los que no se conocen soluciones algorítmicas. La Inteligencia Artificial posibilita la resolución de problemas que pueden ser expresados sólo en términos lingüísticos. Estos programas son capaces de manejar símbolos como conceptos e ideas. Se diferencian en esto de los convencionales por el hecho de que éstos últimos no incorporan la información ni el conocimiento<sup>52</sup> en sus planteamientos de resolución. En un

---

<sup>51</sup> B. Raphael (1984), **El Computador Pensante. Introducción a la Informática para Psicólogos y Humanistas**, Madrid, Ediciones Cátedra S. A., p. 69. Traducido al castellano de la obra **The Thinking Computer**, publicada por W. H. Freeman and Company, (1976).

<sup>52</sup> El conocimiento es definido por Harmon como un cuerpo de información organizada y estructurada acerca de un tema particular y concreto. En Inteligencia Artificial es frecuente el hacer distinción entre varios tipos de conocimiento:

\* Conocimiento descriptivo (declarativo). Está relacionado con los objetos, las personas, los lugares, los hechos y todo lo que tiene que ver con las interacciones que se dan entre ellos. De este tipo de conocimiento nos servimos para clasificar, relacionar, representar, enjuiciar o afirmar algo. No es factible, sin embargo, su utilización en explicaciones o demostraciones. El conocimiento descriptivo se puede adquirir y almacenar pero no ejecutar de forma inmediata. Para hacerlo efectivo deberá ser interpretado por el conocimiento procedimental.

\* Conocimiento procedimental (prescriptivo). Es el encargado de proveernos la forma en que podemos emplear el conocimiento descriptivo acumulado. Mediante su aplicación se estará en disposición para indicar qué hacer y cómo hacerlo, mediante la ejecución de acciones. El mismo puede ser activado de forma inmediata mediante la utilización del conocimiento descriptivo a modo de dato.

programa de Inteligencia Artificial toda la información está interconectada e interrelacionada. A su vez, estas interconexiones se usan para representar relaciones que también están unidas al conocimiento genérico sobre el tema en cuestión. El dominio en el que se circunscribe el problema a dilucidar deberá estar claramente acotado y estructurado para que pueda ser manejado adecuadamente. No se debe pasar por alto que, en los primeros estudios llevados a cabo en este campo, el propósito era obtener métodos e instrumentos que incorporaran conocimientos genéricos para la resolución de problemas diversos. Un ejemplo: el General Problem Solver (GPS) de Newell, Simon y Shaw<sup>53</sup>. En estos trabajos iniciales el campo de exploración considerado era, casi siempre, demasiado amplio. Ello se debió, fundamentalmente, a la ya referida explosión combinatoria, característica de los cálculos exhaustivos que conlleva la resolución de problemas bajo una concepción tradicional, la cual restringe notablemente el número de conocimientos que se pueden procesar. Los resultados que con su aplicación se obtuvieron inicialmente fueron muy desalentadores. Por ello, y según López de Mántaras<sup>54</sup>, (...) Los esquemas de representación del conocimiento surgen de la necesidad de controlar los efectos de la explosión combinatorial en estos espacios de soluciones. Aparte de esta cuestión, estaban además las limitaciones, en lo que a prestaciones se refiere, del hardware existente en aquella época. Éste se encontraba, fundamentalmente, adaptado al cálculo numérico y no al simbólico.

Otra característica a resaltar en este apartado, y referida a los programas de Inteligencia Artificial, es la inclusión dentro de éstos, aunque por separado, de los conocimientos y la unidad que controla y dirige la búsqueda de soluciones. Al contrario ocurre en los programas de informática convencional donde ambos elementos se encuentran juntos formando un único bloque (figura 1.2).

(continuación de nota 52)

\* **Metaconocimiento.** Se trata de la información (conocimiento) de la que disponemos, acerca de nuestro propio conocimiento, con la que se le hacen indicaciones al sistema de lo que éste conoce, de cómo utilizar de forma apropiada dicho conocimiento y de cuáles son sus límites. Sirve además como comprobante para asegurar una correcta aplicación de éste.

Para una mayor extensión en el análisis de esta materia se pueden consultar:

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 1, pp. 143-152.

D. G. Bobrow y A. Collins (eds.) (1975), **Representation and understanding: Studies in cognitive science**, New York, Academic Press.

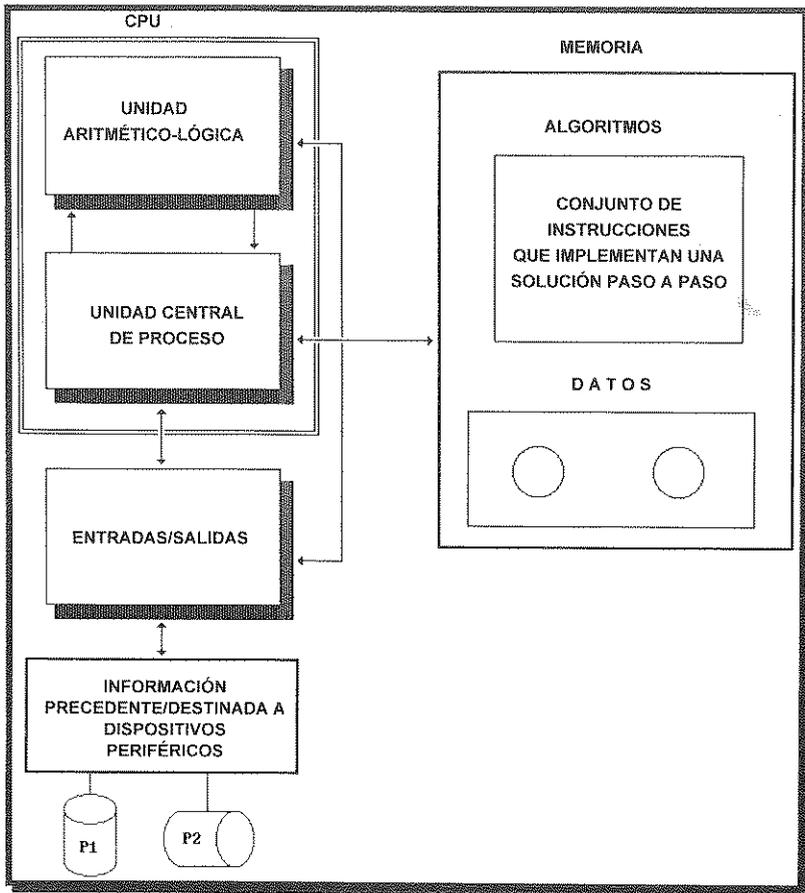
R. Keller (1987), **Expert System Technology. Development and Application**, Englewood Cliffs (N. J.), Yourdon Press, pp. 152-153.

A. Wensley, **Research Directions in Expert Systems**, en G. I. Doukidis y otros (eds.) (1989), **Knowledge-Based Management Support Systems**, Chichester (W. S.) Ellis Horwood Ltd., pp. 255-259.

<sup>53</sup> Para más detalles sobre el desarrollo y la composición del mismo consultar la obra: A. Newell y H. A. Simon, **Human Problem ...**, op. cit., p. 1.

<sup>54</sup> R. López de Mántaras, **Concepto y Perspectivas de las Técnicas de Representación y Adquisición del Conocimiento**, en R. Valle Sánchez y otros (eds.) (1984), **Inteligencia Artificial. Introducción y Situación en España**, FUNDESCO, p. 59.

Figura 1.2 DISPOSICIÓN INTERNA DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES QUE COMPONEN UN PROGRAMA CONVENCIONAL.



Fuente: Elaboración propia.

Dada esta disposición, en estos programas se hace fácil la modificación, ampliación y actualización de los mismos, permitiendo así que desaparezca en parte el determinismo algorítmico que caracteriza a la programación convencional.

Las diversas investigaciones llevadas a cabo en los años precedentes han puesto de manifiesto que el comportamiento inteligente no depende tanto de los métodos de razonamiento como de los conocimientos que sirven de base al razonamiento en sí. Debido a esto, cuando hay que incorporar conocimientos específicos sobre problemas particulares y justo al afrontar la resolución de los mismos, se necesitan métodos adecuados de modelación de dichos conocimientos para hacerlos accesibles y manejables. Hay que hacer

constar el hecho de que no es tarea fácil la representación del conocimiento en un entorno concreto y ello debido, fundamentalmente, a que éste viene representado de distinta forma según nos encontremos en un campo u otro del saber. Es fundamental, para el buen funcionamiento de un sistema, que la elección del esquema de representación se haga acorde con la naturaleza del dominio de conocimiento donde se vaya a trabajar. No se puede pasar por alto que una mala selección del método de representación puede limitar, de forma importante, la capacidad del sistema para conocer, razonar, etc. Como consecuencia de esto existen diversas modalidades de esquemas de representación<sup>55</sup> incorporables a un ordenador y que se adecuan mejor unos que otros a determinados dominios o áreas. Aquí se mencionan algunos como, por ejemplo, las reglas de producción, el cálculo de predicados, las redes semánticas, los objetos estructurados, las expresiones lógicas, etc.<sup>56</sup>

<sup>55</sup> A pesar de la diversidad de esquemas existente, Cortés define en general a todos como una combinación de estructuras de datos y procedimientos de representación que, si son utilizados convenientemente por un sistema, pueden producir (mostrar) un comportamiento inteligente. La cuestión se analiza con más detalle y extensión en:

U. Cortés y otros, *Inteligencia Artificial: ...*, op. cit., p. 3.

J. Giarratano y G. Riley (1989), *Expert Systems, Principles and Programming*, Boston (Mass.), PWS-KENT Publishing Company, pp. 63-102.

<sup>56</sup> Si el lector desea adentrarse en el estudio de esta cuestión puede consultar algunas de las obras citadas seguidamente:

J. L. Alty y M. J. Coombs (1986), *Sistemas Expertos. Conceptos y Ejemplos*, Ed. Díaz de Santos S. A., pp. 17-22 y pp. 55-88. Traducido al castellano de la obra *Expert Systems. Concepts and Examples*, NCC Publications, (1984).

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 1, pp. 141-222.

M. L. Barrett y A. C. Beerel (1988), *Expert Systems in Business. A practical approach*, Chichester (W. S.), Ellis Horwood Limited, pp. 35-48 y pp. 103-117.

D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), *Representation and understanding: ...*, op. cit.

T. Coleman, *Expert Systems for the ...*, op. cit., pp. 61-75.

U. Cortés y otros, *Inteligencia Artificial: ...*, op. cit., pp. 1-86.

L. Fariñas del Cerro y M. F. Verdejo, *Representación del Conocimiento*, en J. Mompín (Coor.), *Inteligencia Artificial. Conceptos ...*, op. cit., pp. 27-37.

H. Farreny, *Expert Systems and Knowledge Representation Lenguajes*, en C. J. Ernst (ed.) (1988), *Management Expert Systems*, Reading (Mass.), Addison-Wesley, pp. 45-65.

C. Freksa y otros (1984), *Cognition and Representation*, TUM, ATP-34-X-84.

D. Kayser (1984), *Examen de diverses methodes utilisses en representation des connaissances*, en *Fourth Afcet Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, París, vol. II, pp. 115-144.

C. Loggia y A. C. Schultz, *Knowledge Representation Methodologies for Expert Systems Development*, en J. Liebowitz y D. A. De Salvo (eds.) (1989), *Structuring Expert Systems*, Englewood Cliffs (N. J.), Yourdon Press, pp. 273-301.

R. López de Mántaras, *Concepto y Perspectivas de las Técnicas de Representación y Adquisición del Conocimiento*, en R. Valle Sánchez y otros (eds.), *Inteligencia Artificial. Introducción ...*, op. cit., pp. 59-69.

G. McCalla y N. Cercone (eds.) (1983), *Computer*, vol. 16, nº 10, Octubre. En este número se recogen varios artículos dedicados a la representación del conocimiento.

C. Remy (1987), *La representation des connaissances*, *Mycro-Sistemas*, Mayo, pp. 109-119.

c) Sentido común y lógica. El razonamiento informal de cada día, que cualquier persona puede poner en práctica, ha demostrado ser una de las cosas más difíciles de modelar en un ordenador. El sentido común se suele calificar como razonamiento de bajo nivel basado en la riqueza de la experiencia. Con la paulatina adquisición del sentido común se aprende a prever multitud de hechos y acontecimientos corrientes del acontecer diario que, incluso, pueden estar difusamente especificados y comprendidos. Sin embargo, estos hechos y fenómenos corrientes, que se dan en la vida de cualquier persona, han resultado ser, como ya se refirió antes, los más complicados a la hora de representarlos en un ordenador. El motivo es que los razonamientos de sentido común son, casi siempre, inexactos, dado que sus conclusiones y los hechos y reglas en los que se basan, son sólo aproximadamente verdaderos. Incluso la gente es capaz de usar hechos y reglas inciertos para llegar a conclusiones útiles sobre temas cotidianos o especializados.

d) Lenguajes, entornos y herramientas de Inteligencia Artificial. En el ámbito de la informática convencional se han desarrollado diversos lenguajes específicos de alto nivel para los diferentes campos de aplicación. Esto mismo ha ocurrido en el caso de la Inteligencia Artificial. Un esquema de la evolución temporal seguida por los lenguajes de ordenador aparece en la cuadro 1.3.

**Cuadro 1.3 CINCO GENERACIONES DEL SOFTWARE DE ORDENADOR.**

CARACTERÍSTICAS	GENERACIÓN				
	1	3	2	4	5
1. WITHINGTON					
*Período	1950/58	1958/56	1966/72	1972/82	1982-
*Nuevo Software	Ninguno	Compiladores sistemas de entrada y salida	Sistema operando en función múltiple	Máquinas virtuales	Lenguajes interactivos, simuladores convenientes
*Facetas	"Artefactos sorprendentes"	"Rellenadores de papel"	Comunicadores	"Almacenes de información"	Apoyo a la acción
2. GUPTA					
*Período	1954/60	1960/67	1967/74	1974/81	1982
*Características	Lenguaje de máquina	Lenguaje de ensamblado	Lenguajes de alto nivel	Sistema de información administrativa	Sistemas de apoyo a la decisión orientados a la no tramitación
*Aplicaciones principales	Generación de tablas	Nóminas	Científicas	Admón. y finanzas	Diversas

Fuente: Preston<sup>57</sup>

(continuación de nota 56)

W. A. Woods (1986), *Important issues in knowledge representation*, en **Proceedings of IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers)**, Computer Society, October, pp. 1322-1334.

W. A. Woods (1983), *What's important about Knowledge Representation?*, **Computer**, vol. 15, nº 10, pp. 22-29.

<sup>57</sup> J. Preston, *Una nueva orientación del software para los ordenadores personales*, en R. Portaencasa y otros (1986), **Programación Informática. Sistemas Expertos**, Madrid, Instituto de Ciencias del Hombre (Banco de Bilbao), p. 77.

Los lenguajes nuevos aparecidos dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial cuentan, en su mayoría, con una serie de características y particularidades comunes a todos que se pueden resumir de la forma siguiente:

- En general este tipo de software se caracteriza por ofrecer una gran modularidad.
- Los lenguajes de Inteligencia Artificial poseen la capacidad de diferir decisiones finales de programación hasta el último momento, cuando el programa ya está en ejecución.
- Estos lenguajes ofrecen grandes facilidades en el manejo de listas<sup>58</sup>. Esto es importante dado que las listas son la estructura, para representación del conocimiento, más usada hasta ahora en Inteligencia Artificial, fundamentalmente cuando se emplea el lenguaje de programación denominado LISP.
- Facilitan la realización de ciertos tipos de deducción automática permitiendo, además, la creación de una base de hechos, lugar donde se recogen los datos iniciales que describen el problema a resolver y donde se recogen también los resultados intermedios que se han obtenido mediante las deducciones hechas a través del razonamiento.
- Este tipo de lenguajes permiten el uso simultáneo de estructuras que incorporan conocimiento declarativo (aquel referido al problema que se representa en la base de datos global) y conocimiento procedimental (el relativo a los distintos procesos, estrategias y estructuras que se usan para coordinar la resolución de un problema).
- Los entornos de Inteligencia Artificial tienen una marcada orientación gráfica que permite, a los diseñadores de sistemas, visualizar las estructuras de los mismos cuando los están creando o cuando realizan alguna modificación. Además, las herramientas de Inteligencia Artificial suelen hacer un seguimiento de todos los cambios efectuados en el transcurso de una sesión o ejecución programática, lo cuál facilita la mejora y depuración de los programas.
- Estos entornos disponen de numerosas herramientas que permiten a los diseñadores de sistemas desarrollar programas capaces de comprender otros programas y efectuar, de forma automática, transformaciones en ellos.

En cuanto al desarrollo y aplicación concreta de estos lenguajes de programación decir que son numerosos los existentes, ya sean lenguajes origina-

---

<sup>58</sup> Una lista se representa en la memoria de un ordenador como una serie de celdas conteniendo, cada una de ellas, dos partes o campos. En una lista sencilla un campo contendrá un símbolo y el otro un puntero que apunta a la siguiente celda de la lista. Dada esta peculiaridad y a la vez ventaja, las celdas contenidas en una lista no tienen por qué ocupar posiciones consecutivas en la memoria del ordenador.

les, en sus diversas versiones, o dialectos de éstos. No todos han tenido el mismo grado de desarrollo, utilización y aplicación real. Dado el objetivo perseguido en este capítulo, se hará una breve reseña de los distintos tipos de lenguajes existentes destacando los más importantes. En la actualidad, como ya se apuntó, son bastantes los lenguajes existentes dentro del campo de la Inteligencia Artificial orientados a la programación. De hecho, se pueden diferenciar diversas modalidades o tipos de lenguajes. Aquí se distinguirán los siguientes: LISP, PROLOG, Lenguajes Orientados a Objetos y Lenguajes Imperativos.

Hasta el momento, LISP (List Processing)<sup>59</sup> ha sido el principal lenguaje de Inteligencia Artificial. Se trata de un Lenguaje Funcional<sup>60</sup> muy conocido, avanzado y rico en entornos de programación. Fue diseñado en el MIT, año 1958, por McCarthy junto con un grupo de colaboradores. Con su uso se han ideado herramientas de software, desarrollado aplicaciones concretas de Inteligencia Artificial y ayudas básicas a la programación. Los programas en LISP consisten en un conjunto de procedimientos, con forma de listado, que operan conjuntamente con la finalidad de cumplir un propósito concreto. Los programas, además, se hacen acompañar de diversos procedimientos ya elaborados, denominados funciones, que operan sobre los argumentos que van detrás y entre paréntesis, produciendo valores<sup>61</sup>. LISP es un lenguaje de gran flexibilidad y extensibilidad, muy modular e interactivo, que posee además una sintaxis sencilla. Esto lo hace muy fácil de aprender y proporciona una gran seguridad en las tareas de programación. Por último señalar, en relación con este lenguaje, que continuamente ha sufrido revisiones y mejoras, siendo numerosísimas las versiones<sup>62</sup> (dialectos) aparecidas a lo largo de las últimas décadas, normalmente cada una de ellas con un propósito distinto.

---

<sup>59</sup> Se puede traducir como proceso o procedimiento de listas.

<sup>60</sup> Los lenguajes funcionales o aplicativos se caracterizan por incluir en sus estructuras funciones en el sentido matemático más estricto. El flujo del programa viene marcado por las necesidades que aparecen al evaluar una función. El programador sólo indica el orden de evaluación de las funciones sin tener que preocuparse por la posición de éstas dentro del programa. Este tipo de lenguajes tuvieron su origen en la prehistoria de la informática. En la década de los treinta algunos trabajos desarrollados por matemáticos como Gödel, Church, etc., para la caracterización del concepto de función computable, incorporaron también la definición de lo que pudieron ser los primeros lenguajes de programación funcional. Un ejemplo de este tipo de lenguajes lo constituye el  $\lambda$ -cálculo de Church.

<sup>61</sup> Para más detalles consultar:

T. Hasemer (1984), **Looking at Lisp**, Reading (Mass.), Addison Wesley.

D. R. Hofstadter (1983), *La mil delicias del Lisp*, **Investigación y Ciencia**, nº 79, 80 y 81.

G. F. Luger y W. A. Stubblefield (1989), **Artificial Intelligence and the design of Expert Systems**, New York, The Benjamin/Cummings Publishing Company, pp. 235-284.

(1987), *Lisp y Prolog. Los lenguajes de la Inteligencia Artificial*, **PC Magazine** (Ed. en castellano), nº 30, Octubre, pp. 125-138.

<sup>62</sup> En cualquier texto donde se analicen cuestiones relativas a la Inteligencia Artificial se podrán encontrar referencias sobre los distintos dialectos de LISP aparecidos. No obstante, parece oportuno que esta investigación recoja una relación, aunque no extensa, de ellos. La misma no es fruto de una revisión exhaustiva de los dialectos aparecidos debido a que lo único que

Otro lenguaje funcional interesante que conviene mencionar es LOGO<sup>63</sup>, desarrollado por Papert en 1980.

se ha pretendido en este caso es recoger algunos de los más importantes y conocidos.

Diversas son las versiones elaboradas a partir del lenguaje originario. Se pueden citar las siguientes:

- Derivados del LISP desarrollado por la compañía BBN:
    - \* InterLISP, desarrollado por Xerox.
    - \* InterLISP-D, diseñado por Xerox para la serie de estaciones de trabajo Xerox 1100.
    - \* VAX LISP, diseñado para el sistema VAX de Digital Equipment Corporation.
  - BYSO LISP, desarrollo de Levien Instrument.
  - Cambridge LISP, desarrollado por la Universidad de Bath y el Cambridge Computer Laboratory.
  - CommonLISP, propuesta de estandarización del lenguaje LISP hecha por el gobierno americano y desarrollada por la compañía Gold Hill Computers.
  - C-LISP, desarrollo hecho en la Universidad de Massachusetts.
  - DG Common LISP, desarrollado por la compañía Data General.
  - ISI-INTERLISP, desarrollado por la compañía Digital Equipment Corporation.
  - Le-LISP, desarrollado en el INRIA.
  - LISP/VM, desarrollado por la multinacional IBM.
  - LISP 80, desarrollado por la compañía Software Toolworks.
  - MacLISP, desarrollado en el MIT. Como derivados de este dialecto podemos encontrar:
    - \* Franz LISP, creado en la Universidad de California.
    - \* Zeta LISP, desarrollado por las compañías Lisp Machines Inc., Symbolics y Xerox.
    - \* GC-LISP (Golden Common LISP).
  - Microsoft LISP, desarrollado por Microsoft Corporation.
  - NIL, nueva implementación de LISP hecha en el MIT.
  - PSL (Portable Standard Lisp), creado en la Universidad de Utah.
  - QLISP, desarrollado bajo la dirección de E. D. Sacerdoti.
  - SCHEME, desarrollado en el MIT.
  - T LISP, elaborado en la Universidad de Yale.
  - TransLISP, desarrollado por la compañía Solution Systems.
  - UNXLISP, desarrollado por la compañía Cybernetics.
  - UNXLISP-86, desarrollado por la firma Automata Design Associates.
  - UO-LISP, creado por la compañía Northwest Computers Algorithms.
  - VLISP, desarrollado por Vincennes.
  - Waltz LISP, creado por Pro Code International.
  - XLISP, creado por PC/Blue Users Group.
- Por último, existen diversas versiones de LISP para micros y ordenadores personales entre las que se encuentran:
- CROMENCO LISP, desarrollado por The Lisp Company.
  - EXPERT LISP, creado por ExpertTelligence, Inc.
  - LISP-88, desarrollado por Norell Data Systems.
  - GC-LISP (Golden Common LISP), creado por Goldhill Computers, Inc.
  - IQ LISP, desarrollado por Integral Quality, Inc.
  - LISP-88, desarrollo de Norell Data Systems.
  - muLISP, creado por Microsoft Corp., The Soft Warehouse.
  - PC-LISP, desarrollado por IOTC, Inc.
  - PC Scheme LISP, creado por Texas Instrument.
  - P-LISP, desarrollado por Gnosis, Inc.
  - TLC-LISP 86, creado por The Lisp Company.

<sup>63</sup> Detalles técnicos del mismo y de su configuración se encuentran en: S. Papert (1980), *Mindstorms*, New York, Basic Books.

PROLOG (Programming in Logic) es un Lenguaje Declarativo<sup>64</sup> que fue creado en la Universidad d'Aix-Marsella por Colmerauer y Roussel en 1972. Su desarrollo está basado en el principio de resolución automática de Robinson (A Machine-oriented Logic Based on the Resolution Principle), el cual permite resolver problemas mediante la aplicación de una serie de inferencias lógicas siendo, además, muy adecuado su tratamiento a través de ordenador. Por lo tanto se trata de un lenguaje de programación en lógica. La idea básica de la programación lógica es relativamente simple y se puede mostrar a través de la expresión: algoritmos = lógica + control<sup>65</sup>. El elemento constitutivo fundamental de PROLOG<sup>66</sup> son los predicados que, como se sabe, es aquello que se afirma o se dice de un sujeto. Dichos predicados están compuestos por un nombre y un conjunto de atributos. Los predicados podrán ser creados por el programador o estar ya definidos en el lenguaje. Este lenguaje ha sido seleccionado para el núcleo de los ordenadores llamados de Quinta Generación. Estos utilizarán posiblemente versiones mejoradas o dialectos<sup>67</sup> del mismo. También surgió, como lenguaje declarativo de relieve,

---

<sup>64</sup> Los lenguajes declarativos son aquellos en los que sólo se debe indicar al programa el objetivo que se pretende alcanzar, especificando además en el mismo el universo sobre el que se debe trabajar y las reglas a aplicar. En definitiva se señala el qué pero no el cómo.

<sup>65</sup> R. A. Kowalski (1979), *Algorithm = Logic + Control*, **Communications of the Association for Computing Machinery (ACM)**, 22 de Julio, pp. 424-431.

<sup>66</sup> Para más detalles acerca de este lenguaje ver:

A. Colmerauer (1984), *Prolog, lenguaje de Inteligencia Artificial*, Mundo Científico, Noviembre.

G. F. Luger y W. A. Stubblefield, **Artificial Intelligence and ...**, op. cit., pp. 203-234.

J. M. Orenge y Ortega y J. P. Sánchez y Beltrán (1987), **Prolog: Introducción a la programación de los Sistemas Expertos**, Madrid, Ed. Ra-ma, pp. 215.

G. Rossi (1986), *Uses of Prolog in implementation of Expert Systems*, **New Generation Computing**, nº 4, pp. 321-329.

W. G. Wilson (1986), *Prolog for applications programming*, **IBM Journal**, vol. 25, nº 2, pp. 190-206.

*Lisp y Prolog. Los lenguajes de ...*, op. cit., pp. 125-138.

<sup>67</sup> Hoy día existen numerosas versiones de este lenguaje de programación e incluso, en la actualidad, se realiza un notable esfuerzo para lograr su normalización. Los expertos suelen agrupar la totalidad de estas versiones entorno a varios grupos que serían:

- El estándar de Marsella. Este grupo recoge de hecho la herencia del PROLOG I inicial, que desarrollaron Colmerauer y Roussel en el año 1972. Las versiones más populares de esta tipología son:

\* PROLOG II, desarrollado en la Universidad de Marsella.

\* PROLOG/P, creado por el CNET de Lannion, Francia.

\* PROLOG-Criss, desarrollado por CRISS.

\* PROLOG-FIL, desarrollo de FIL.

\* XILOG, desarrollo de CEDIAG.

- El estándar de Edimburgo. En él se encuentra casi la generalidad de versiones que no encontraron su desarrollo en Francia. Las más relevantes serían:

\* PROLOG-10, desarrollo en la Universidad de Edimburgo.

\* UNSW PROLOG, desarrollo de Claude Sammut.

el OPS<sup>68</sup> (Official Production System), creado por Forgy y McDermott, de la Universidad Carnegie Mellon, en 1977.

Existen algunas otras modalidades de lenguajes de Inteligencia Artificial, aparte de las que se han reseñado con anterioridad, como son los Lenguajes Orientados a Objetos<sup>69/70</sup>. De esta tipología se puede citar como ejemplo SMALLTALK<sup>71</sup>, desarrollado en Xerox PARC bajo la dirección de Kay (inicio de

(continuación de nota 67)

- \* Micro-PROLOG, desarrollado en el Imperial College de Londres.
- \* PROLOG-86.
- \* Quintus PROLOG.
- \* PROLOG-1 y PROLOG-2.
- \* C-PROLOG es un desarrollo hecho en la Universidad de Edimburgo.
- \* IF-PROLOG.
- \* VM/PROLOG, desarrollado en el IBM Scientific Center de París.
- \* Turbo PROLOG es un desarrollo hecho en Borland International of Scotts Valley.
- \* PROLOG/V, desarrollado por Digital Inc.
- \* ALS PROLOG, creado por ALS.
- La versión MPROLOG está bastante bien considerada y fue desarrollada en el Instituto para la Coordinación de Técnicas de la Computación radicado en Budapest.
- Otras versiones de este lenguaje son:
  - \* Metalog, desarrollado en el CNET de Lannion, Francia.
  - \* D-PROLOG.
  - \* Wisdom PROLOG.
  - \* IC-PROLOG, concebido por Clark y McCabe.
  - \* Sigma PROLOG.
  - \* MU-PROLOG, desarrollado por Naish.
  - \* Ni PROLOG de Whitechapel.
  - \* SP-PROLOG, desarrollo de Bull.
  - \* Waterloo PROLOG.
  - \* Logic WorkBench PROLOG.
  - \* V-PROLOG, desarrollo de Amaia.
  - \* VM/PROLOG, creación de IBM.
  - \* MVS/PROLOG, creación de IBM.
  - \* LPA Micro-PROLOG, de IBM.
  - \* ARITY PROLOG.

<sup>68</sup> Detalles de su creación y desarrollo se pueden consultar en:

C. Forgy y J. McDermott (1977), *OPS: A domain-independent production system language, Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Cambridge (Mass.), MIT, August 22/25, pp. 933-939.

<sup>69</sup> Un objeto se define como un dato que puede ser simbólico o numérico.

<sup>70</sup> Los lenguajes orientados a objetos poseen una característica importante y es que no existe distinción entre los procedimientos y los datos. Los programas se componen de objetos, que a la vez desempeñan el papel de procedimientos y los datos. Los objetos envían información a otros objetos que se encargan de interpretarla, y aplican métodos a la recepción de la misma. Estos métodos pueden enviar a su vez informaciones o provocar también modificaciones en el estado del objeto. Además, los objetos tienen una serie de propiedades que les hacen particulares y que se llaman atributos.

<sup>71</sup> Detalles del mismo se pueden encontrar en:

A. Goldberg y D. Robson (1983), *Smalltalk-80: The Language and Its Implementation*, Reading (Mass.), Addison Wesley.

la década de los setenta). El mismo está considerado como el primer lenguaje desarrollado con esta concepción. Otros ejemplos<sup>72</sup> de esta tipología son: FLAVORS<sup>73</sup> desarrollado por Moon (1980), ROSS<sup>74</sup> desarrollado por McArthur y Klahr (1982), LOOPS<sup>75</sup> desarrollado por Bobrow y Stefik (1983), y STROBE<sup>76</sup> desarrollado por Schlumberger-Doll Research.

Como cuarta variedad se encuentran los denominados Lenguajes Imperativos<sup>77</sup>, entre los que se pueden destacar: PASCAL (finales de la década de los sesenta), Fortran (1954), C (comienzos de la década de los setenta), COBOL (1959/60) y BASIC (1964) como los más representativos de esta tipología y que son bastante conocidos.

Reseñar por último, para completar este punto, la aparición de diversos sistemas o entornos de programación que emplean conjuntamente la programación funcional (LISP) y la relacional (PROLOG). Ejemplos de esto los constituyen los sistemas LISLOG de CNET (Francia); LM-PROLOG, desarrollo hecho en la Universidad de Uppala (Suecia); POPLOG, desarrollo de la Universidad de Sussex (Gran Bretaña), etc.

---

<sup>72</sup> Una enumeración exhaustiva de otros lenguajes orientados a objetos, y las personas que los desarrollaron, se puede encontrar en:

J. P. Sánchez y Beltrán (1988), **Sistemas Expertos. Una metodología de programación**, Madrid, Ed. Rama, pp. 112-114.

<sup>73</sup> Para más detalles ver:

P. Jackson (1990), **Introduction to Expert Systems**, Workingham (U. K.), Second ed., Addison Wesley Publishing Company, pp. 175-186.

D. Weinreb y D. Moon (1981), **Objects, Message Passing, and Flavors**, Lisp Machine Manual, Symbolics, Inc., July, pp. 279-313.

<sup>74</sup> Para más detalles ver:

D. J. McArthur y P. Klahr (1982), **The ROSS Language Manual**. The Rand Corporation, N-1885-AF, September.

D. J. McArthur y otros, *Ross: An Object-Oriented language for constructing simulations*, en P. Klahr y D. A. Waterman (ed.) (1986), **Expert Systems. Techniques, Tools, and Applications**, Workingham (U. K.), Addison Wesley Publishing Company, pp. 70-89.

<sup>75</sup> Para más detalles ver:

D. G. Bobrow y M. Stefik (1983), **The LOOPS Manual**, Xerox Corporation, December.

P. Jackson, **Introduction to Expert ...**, op. cit., pp. 179-186.

M. Stefik y otros (1983), *Knowledge programming in LOOPS: Report on an experimental course*, **The AI Magazine**, vol. 4, nº 3, pp. 3-13.

<sup>76</sup> Una profundización en el conocimiento de este lenguaje puede llevarse a efecto en:

R. G. Smith (1983), *STROBE: support for structured object knowledge representation*, **Proceedings of the Eight International Joint Conference on Artificial Intelligence**, August 8/12, pp. 855-858.

D. A. Waterman (1986), **A guide to Expert Systems**, Menlo Park (Ca.), Addison Wesley Publishing Company, p. 354.

<sup>77</sup> Los lenguajes imperativos son aquellos en los cuales el control del mismo pasa siempre a la siguiente línea del programa salvo cuando se le especifica lo contrario. El programador determina en el programa, mediante el número de la línea o una etiqueta, el orden de ejecución de las instrucciones.

Una vez perfilados los rasgos más importantes de este tipo de lenguajes y de sus variedades es necesario hacer una puntualización sobre algunos otros elementos utilizados en la creación de sistemas inteligentes. Se trata, en concreto, de los denominados entornos de programación y las herramientas de desarrollo que están, de algún modo, relacionados con aquellos y que, a veces, se tratan de una forma no excesivamente diferenciada<sup>78</sup> y clara. Algunos ejemplos que ponen de manifiesto este hecho se encuentran en las siguientes afirmaciones de Barton<sup>79</sup> y de Harmon & King<sup>80</sup>, respectivamente:

A lo largo de los años las personas que han trabajado en Inteligencia Artificial han desarrollado un gran número de herramientas, lenguajes, sistemas y técnicas de computación.

(...) De PROLOG y OPS5 también se dice que son lenguajes, pero algunos observadores los llamarían más bien herramientas. (...)

A la hora de plantear el desarrollo de un programa de Inteligencia Artificial, supongamos un sistema experto, se puede recurrir al software disponible que presenta diversos niveles de desarrollo. Edmunds<sup>81</sup> reconoce hasta siete niveles distintos

El software necesario para crear un sistema experto está disponible a diversos niveles. Estos son: (a) el nivel máquina; (b) el nivel de sistema operativo; (c) los lenguajes de programación; (d) los entornos de programación; (e) las herramientas de sistemas expertos; (f) los sistemas por sí mismos; y (g) el software último, el conocimiento poseído por los expertos humanos (...).

Inicialmente, lo más razonable para cualquier persona no experimentada, puede ser el recurrir a la utilización de algún lenguaje tradicional (PASCAL, COBOL, C, FORTRAN, etc.) o bien a alguno de los creados para tal efecto (LISP, PROLOG o cualquier otro). No obstante esta opción, a poco que el programa a diseñar incorpore un cierto grado de complicación y extensión, suele quedar para los programadores experimentados, dado el alto conocimiento y preparación que para ello se exige. Sin embargo, hoy día, algunas ramas de esta disciplina están experimentando tal auge, dada su gran aplicabilidad, que trascienden su propio ámbito, haciéndose necesario, por

<sup>78</sup> Ciertamente que algunos de los problemas, surgidos a la hora de hacer una correcta distinción entre las distintas tipologías de elementos identificables en este área, se derivan de la diversidad terminológica empleada en las referencias que de este tipo de sistemas se hace en gran parte de la bibliografía disponible sobre ellos.

<sup>79</sup> A. Barton (1987), *Experiences in Expert Systems*, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 38, nº 10, p. 966.

<sup>80</sup> P. Harmon y P. King (1988), *Sistemas Expertos. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la actividad empresarial*, Madrid, Ed. Díaz de Santos, p. 110. Traducido al castellano de la obra *Expert Systems. Artificial Intelligence in Business*, New York, John Wiley, (1985).

<sup>81</sup> R. A. Edmunds (1988), *The Prentice Hall Guide to Expert Systems*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, Inc., p. 125.

ello, el poder disponer de útiles que permitan a los no iniciados en esta actividad desarrollar y crear sus propios programas. Actualmente se está realizando un gran esfuerzo para lograr que las técnicas de programación y las distintas aplicaciones de Inteligencia Artificial sean más accesibles de lo que hasta el momento han sido. Existen ya incluso compañías dedicadas al desarrollo de herramientas con las que poder crear aplicaciones de Inteligencia Artificial. En la mayoría de los casos se hace referencia a aquellas cuyo propósito es facilitar la generación de sistemas expertos. De esta forma, no resulta ya necesario poseer el conocimiento ni la experiencia de un experto en estas cuestiones para poder crear un sistema inteligente, sino que bastará con conocer algunos preceptos básicos sobre tal disciplina y sobre métodos de representación del conocimiento.

Otra cuestión, relacionada con el cada vez más importante papel desempeñado por estos útiles de apoyo a la programación, es también la creciente demanda que empieza a haber en la sociedad actual de sistemas inteligentes con aplicación diversa. En palabras de Garijo<sup>82</sup>:

La presión económica y la crisis de las herramientas clásicas (editores, procesadores de lenguaje, etc.) han atraído hacia el campo de los Entornos de Programación gran parte del esfuerzo de investigación procedente de otras áreas (metodología de la programación, diseño de lenguajes, verificación, semántica, etc.); (...).

De este modo los útiles a los que se ha hecho referencia con anterioridad suelen concretarse, en la mayoría de los casos, en dos elementos denominados comúnmente como entornos de programación y herramientas de desarrollo<sup>83</sup>. De los primeros (Programming Environment), y según se muestra en la figura 1.3, se suele decir que son el punto intermedio entre los lenguajes de programación y las herramientas de desarrollo. Los lenguajes poseen la cualidad de ser más flexibles en su aplicación porque permiten al ingeniero dirigir la construcción, aunque son también más difíciles de emplear dado el alto conocimiento que de ellos se exige para el desarrollo de nuevos sistemas

---

<sup>82</sup> F. Garijo Mazarío, *Entorno de Programación para la Inteligencia Artificial*, en R. Valle Sánchez y otros (eds.), *Inteligencia Artificial. Introducción ...*, op. cit., p. 105.

<sup>83</sup> Lo cierto es que en el caso de los entornos y las herramientas, e incluso también con los lenguajes, suele resultar frecuente referirse a algunos de estos sistemas empleando indistintamente una denominación u otra. Por ejemplo, se suele hacer referencia al sistema INTERLISP en ocasiones catalogándolo como lenguaje (dialecto de LISP) y en otras como herramienta para el desarrollo de programas. Hay incluso quien reconoce, como ya se apuntó previamente, la falta de homogeneidad en la composición y presentación de muchos de estos sistemas lo cual hace que, en ocasiones, no se pueda realizar una clara distinción entre unos y otros. En este sentido se pronuncia, por ejemplo, Botella al afirmar que (...) tratamos con un concepto poco establecido, en el que es fácil emplear los mismos términos para expresar ideas diferentes o términos diferentes para expresar la misma idea.(...). Ver:

P. Botella, *Entornos de Programación de aplicación general*, en J. Mompín (Coor.), *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., p. 217.

(programas). Por su lado, las herramientas de desarrollo, son bastante menos flexibles dado que una gran parte de las técnicas y procesos de la Ingeniería del Conocimiento se encuentran incorporadas a ellas de forma rígida e inmutable. Permiten elegir entre diversas modalidades de construcción pero no guiar la misma. Para los entornos de programación resulta difícil concretar una definición y una descripción dada la gran variedad de aspectos relacionados con ellos y también, en ocasiones, por la heterogeneidad de sus presentaciones. Waite<sup>84</sup> los compara con ciertos conceptos abstractos y afirma que (...) es difícil definirlos, pero elemental reconocerlos.

Figura 1.3 EL CONTINUO LENGUAJE-HERRAMIENTA.

LENGUAJES DE ALTO NIVEL	ENTORNO		HERRAMIENTAS	
LISP	PROLOG	OPS5	KEE	EMYCIN
	INTERLISP		LOOPS	S1
			ART	M1
FORTRAN				TIMM
PASCAL				INSIGHT

Fuente: Harmon y King(85).

No obstante, gran parte de los catalogados hasta ahora puramente como lenguajes se presentan ya con una constitución más compleja (completa), siendo en realidad algo más que eso. Los entornos de programación tienen como propósito, según Barr y Feigenbaum<sup>86</sup>, asistir al programador en las distintas fases del desarrollo de un programa. Para ello suelen contar, por lo general, con una serie de facilidades o métodos simplificados (subrutinas para ejecutar diversas actividades de programación), además de una serie de componentes (editores, creadores de ventanas, sistemas lógicos de detección de errores de sintaxis, compiladores, trazadores del programa, etc.) que asisten y ayudan al programador en las distintas fases del diseño y desarrollo del prototipo o de la versión definitiva del programa. Con ello se evita a la persona encargada del mismo la obligación, si utilizase algún tipo de lenguaje, de repetir obligatoriamente determinados procesos o actividades cada vez que afronte dicha tarea. Estos quedarían, de alguna manera, a disposición del programador para ser ejecutados de forma automática con el correspondiente ahorro de tiempo y esfuerzo en el desempeño de tal actividad. Como ejemplos de entornos de programación clásicos se pueden citar los casos de INTERLISP y OPS. Los lenguajes empleados en la implementación de este

<sup>84</sup> Citado por P. Botella en *Entornos de Programación de aplicación general*, en J. Mompín (Coor.), *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., p. 217.

<sup>85</sup> P. Harmon y P. King (1988), *Sistemas Expertos. Aplicaciones ...*, op. cit. pp. 110.

<sup>86</sup> A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.) (1982), *The Handbook of Artificial Intelligence*, Los Altos (Ca.), Addison Wesley, vol. 2, p. 65.

tipo de sistemas suelen ser, en primer lugar, LISP y más recientemente, además, PROLOG, SMALLTALK y algún otro.

En cuanto a las herramientas, denominadas indistintamente como "Tools", "Entornos de Desarrollo", "Shells"<sup>87</sup>, "Toolkits"<sup>88</sup>, etc., se trata de auténticos paquetes de software constituidos por un conjunto de programas integrados, lenguajes de programación y otros elementos auxiliares, que permiten y ofrecen a la persona o personas encargadas del desarrollo, experimentadas o no, un amplio espectro de capacidades, posibilidades y componentes (interfaces) para la creación de programas inteligentes de muy diversa índole. Un análisis

**Cuadro 1.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES QUE PRESENTA LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE DESARROLLO O DE LENGUAJES EN LA CREACIÓN DE SISTEMAS EXPERTOS.**

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
SHELLS	*FÁCIL DE USAR *BARATAS *APTAS PARA: -Entrenamiento -Pequeñas tareas de diagnóstico -Regulaciones	*MODOS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO POCO FLEXIBLE *NO MUY APTAS PARA CREAR PROTOTIPOS DEL SISTEMA *INTERACCIÓN HOMBRE-MÁQUINA DISCRETA
LENGUAJES	*MUY FLEXIBLES *APTOS PARA: -Lenguaje natural -Desarrollo de tareas poco usuales -Ejecuciones rápidas	*DIFÍCILES DE USAR *PROCESO LENTO HASTA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS
TOOLKITS	*MUY POTENTES *APTAS PARA: -Crear prototipos -Tareas que implican la utilización de una amplia gama de técnicas -Difícil interacción hombre-máquina	*MUY CARAS *DIFÍCIL MANEJO

Fuente: Cleal y Heaton.<sup>89</sup>

<sup>87</sup> En el caso de algunas herramientas para el desarrollo de Sistemas Expertos, éstas se han derivado directamente de algunos sistemas ya creados. Partiendo de éstos se ha eliminado la base de conocimientos y conservado el (esqueleto del sistema) resto de componentes del sistema originario (interfaz de usuario, editores, motor de inferencia, subsistema para adquisición del conocimiento, etc.), lo cual ha posibilitado su aplicación a dominios de conocimiento diversos y diferentes del inicial. Estas herramientas proporcionan un medio para representar el conocimiento y razonar sobre él. Suelen incorporar, de forma genérica, una estructura predeterminada para la representación del conocimiento y un módulo de inferencias.

Como ejemplo se puede citar a EMYCIN (MYCIN sin la base de conocimientos) que es considerado como el primer sistema o herramienta de la Ingeniería del conocimiento.

<sup>88</sup> Este tipo de sistema, a diferencia de lo que ocurre con las Shells, suele incorporar una amplia variedad de opciones para representación del conocimiento y la realización de inferencias.

<sup>89</sup> D. M. Cleal y N. O. Heaton (1988), **Knowledge-Based Systems. Implications for human-computer interfaces**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood Limited, p. 125.

comparativo, donde se enumeran algunas de las ventajas y desventajas que incorporan las "toolkits" en relación con los lenguajes y "shells", aparece en el cuadro 1.4.

Como ejemplos de este tipo de sistemas se pueden referir los casos de EMYCIN, ART, ART-IM y GURU, entre otros. Su tamaño, composición y prestaciones cubren un amplio espectro de posibilidades.

Apuntar finalmente la importancia que ha tenido el hecho de la aparición de este tipo de sistemas en cuanto a mejora y apoyo a la labor creativa del programador (ingeniero) en general y sobre algunas tareas específicas. Incluso, hoy día, se realizan trabajos orientados a la consecución de sistemas capaces de apoyar en las tareas propias de las distintas etapas que se pueden distinguir en la creación del software. No obstante, es muy importante tener presente que la utilización que se pueda hacer de algunos de ellos (lenguajes, entornos, herramientas, etc.) dependerá del tipo de aplicación que se pretenda desarrollar y, en última instancia, del problema que se plantee resolver<sup>90</sup>. Esta elección es una cuestión difícil de dilucidar, no siendo recomenda-

---

<sup>90</sup> Es recomendable para profundizar convenientemente en el análisis de esta cuestión, y puesto que en esta investigación no se persigue ese objetivo, consultar alguna de las siguientes obras:

J. L. Alty (1989), *Expert System Buildings Tools*, en G. Guida y C. Tasso (eds.), *Topics in Expert Systems Design*, Amsterdam, North Holland, pp. 181-204.

D. R. Barstow y otros, (1983), *Languages and Tools for Knowledge Engineering*, en F. Hayes-Roth y otros (eds.), *Building Expert Systems*, Reading (Mass.), Addison Wesley, pp. 283-345.

G. Benchimol y otros (1988), *Los Sistemas Expertos en la Empresa*, Madrid, Ed. Rama, pp. 117-154. Traducción al castellano de la obra *Systèmes Experts dans l'Enterprise*, publicada por Editions Ermes, París.

P. Botella López, *Entornos de programación de aplicación general*, en J. Mompin (Coor.), *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 217-222.

R. G. Bowerman y D. E. Glover (1988), *Putting Expert Systems into Practice*, New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc., pp. 94-255.

T. Coleman, *Expert Systems for the ...*, op. cit., pp. 85-121.

F. Garijo Mazario, *Entorno de Programación para la Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 105-124.

P. Harmon y P. King, *Sistemas Expertos. Aplicaciones de la ...*, op. cit., pp. 105-177.

G. S. Kahn y M. Bauer, *Prototyping: Tools and Motivations*, en G. Guida y C. Tasso (eds.), *Topics in ...*, op. cit., pp. 47-68.

J. Martin y S. Oxman, *Building Expert Systems ...*, op. cit., pp. 201-299.

J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra (1988), *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y construcción de Sistemas Expertos*, Córdoba (Argentina), Ed. SEPA S. A., pp. 446-504.

W. B. Rauch-Hindin (1989), *Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Actividad Empresarial, la Ciencia y la Industria*, Madrid, Ed. Díaz de Santos S. A., pp. 675-681. Traducido al castellano de la obra *Artificial Intelligence in Business, Science, and Industry*, publicada por Prentice Hall (1985).

J. Rothenberg, *Expert System Tool Evaluation*, en G. Guida y C. Tasso (eds.), *Topics in ...*, op. cit., pp. 205-229.

S. E. Savory (1988), *Tools for Building Expert Systems*, en S. E. Savory (ed.), *Expert Systems in the Organization*, Chichester, Ellis Horwood, pp. 87-94.

ble, en cualquier circunstancia en la que nos podamos encontrar, la aplicación continuada de una misma solución, es decir, intentar desarrollar un programa empleando siempre una herramienta, un lenguaje de programación, etc. Convendrá estudiar detenidamente el tipo de aplicación que se quiere desarrollar (dominio del problema), además de las características y prestaciones de los sistemas (lenguajes, entornos, etc.) de los que podamos disponer, eligiendo conforme a ello el que mejor se adecue a los condicionantes más relevantes. Para Waterman y Hayes-Roth<sup>91</sup> hay una serie de aspectos importantes a considerar cuando se quiere realizar una correcta elección de la herramienta, el lenguaje o cualquier otro elemento afín que se pretenda emplear en el desarrollo de un programa inteligente. Entre otros, conviene tener presente los siguientes: generalidad, accesibilidad, tiempo de desarrollo, posibilidad de comprobar con rapidez la efectividad del sistema, características del sistema, etc.

---

(continuación de nota 90)

J. R. Slagle (1988), *Expert Systems Shells and Their Applications*, en M. L. Emrich y otros (eds.), *Expert Systems and Avanced Data Processing*, New York, North Holland, pp. 90-104.

D. A. Waterman y F. Hayes-Roth, *An Investigation of Tools for Building Expert Systems*, en F. Hayes-Roth y otros (eds.), *Building Expert ...*, op. cit., pp. 169-215.

<sup>91</sup> D. A. Waterman y F. Hayes-Roth, *An Investigation of Tools for Building ...*, op. cit., p. 210.

## II

---

# EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

2.1. REHISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

2.2. EL NACIMIENTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

2.2.1. Primera etapa (1955-1965).

2.2.2. Segunda etapa (1965-1975).

2.2.3. Tercera etapa (1975 en adelante).



Con bastante frecuencia para poder comprender dentro de un determinado proceso dónde se está en un momento dado resulta, a veces, imprescindible conocer y comprender dónde se ha estado antes o de dónde se viene. En el caso que en este momento se trata, ésto se pone una vez más de manifiesto. Ahora bien, la evolución histórica de la Inteligencia Artificial es quizá uno de los puntos que mayor problemática pueda plantear en su tratamiento y desarrollo. Como en cualquier otra área, un seguimiento de la evolución histórica puede llevarse a efecto con distintos grados de minuciosidad en la descripción de los hechos y eventos más relevantes. En esta ocasión el tratamiento de la evolución de la Inteligencia Artificial podrá variar dependiendo de la época histórica que se analice, si bien en ningún momento se pretenderá realizar un estudio con extraordinaria precisión y minuciosidad. En este apartado se van a recoger las aportaciones de las personalidades e instituciones más relevantes en este campo, además de los hechos y acontecimientos más significativos e importantes que nos ayuden a comprender, en última instancia, el estado actual del arte.

En bastantes obras y manuales que se ocupan de la evolución histórica de esta disciplina es frecuente hacer referencia a dos periodos bien diferenciados. Un primer periodo, al que se le suele denominar prehistoria (precursores) de la Inteligencia Artificial, aparece rodeado, casi siempre, de un halo de ficción y fantasía, teniendo sus inicios en la Grecia Clásica. Un segundo periodo, mucho más significativo e importante, en el que se inscribe el verdadero nacimiento de esta disciplina con sus rasgos auténticos tal como hoy se la reconoce. El objeto de análisis de este libro va a estar centrado fundamentalmente en el segundo.

Por último indicar que, dado el objetivo de revisión histórica que este apartado persigue, se han evitado las descripciones técnicas minuciosas para la mayoría de los sistemas y programas, remitiendo éstas a otras partes del libro. No obstante, sí se ha creído conveniente y de utilidad para el lector in-

cluir algunas reseñas bibliográficas, en los casos que ésto ha sido factible, por si se desea profundizar en el estudio y conocimiento de alguno de ellos. Además, es también conveniente señalar en este momento el hecho de que, debido a la amplitud de objetivos que se persigue con cada uno de estos trabajos y a la propia dificultad que ello entrañaría, no se ha pretendido en este punto relacionar, de forma minuciosa, los diversos sistemas aparecidos en cada una de los campos de aplicación.

## 2.1 PREHISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

Este periodo inicial abarcaría desde los primeros tiempos de nuestra civilización hasta casi la mitad del siglo veinte. En él se van a producir hechos y acontecimientos en un doble ámbito. Por un lado, la creación de innumerables artefactos y autómatas que simulaban, de alguna manera y desde una perspectiva externa, el comportamiento humano, exhibiendo determinadas habilidades que denotaban un cierto grado de inteligencia. Es lo que más recientemente se ha dado en llamar Antropomorfismo<sup>1</sup>. Por otro, encontramos aquellos hechos que se relacionan con la información y automatización del razonamiento lógico y matemático.

A lo largo de la historia se han fabricado multiplicidad de artilugios, autómatas, juguetes muy perfeccionados, etc., intentando siempre simular a las criaturas vivientes, queriendo crear la ilusión de vivacidad e inteligencia. Las referencias a su existencia son numerosas en multiplicidad de escritos de todas las épocas. Figuras de material diverso a las que se le confería vida, máquinas parlantes capaces de responder preguntas sobre determinados temas, autómatas que podían dibujar y escribir, muñecos que podían realizar movimientos diversos o interpretar melodías con instrumentos, robots<sup>2</sup> con diferentes habilidades, artefactos capaces de jugar a diversos juegos, etc.; son una muestra, a modo de ejemplo, de este amplísimo espectro.

El segundo ámbito al que se ha hecho referencia con anterioridad, el de la automatización del razonamiento, sí que suscita un mayor interés. Intentos de crear máquinas que liberasen al intelecto humano de las ocupaciones más inferiores los ha habido casi desde los albores de nuestra civilización. Las primeras máquinas de calcular se remontan mucho tiempo atrás, remitiéndose a los milenarios Japón y China. Con posterioridad, se han sucedido un sin fin de artilugios y máquinas de calcular, de diversa índole técnica y de aplicación, hasta llegar a las versiones más modernas y actuales de nuestros días. El ocuparse aquí, de forma pormenorizada, de cada una de ellas sería excesivamente prolijo y trabajoso, no estando, además, en el objetivo fijado.

---

<sup>1</sup> Atribución de características humanas a las cosas.

<sup>2</sup> La palabra robot fue utilizada por primera vez en 1920 por el escritor checo Karel Capek en su obra teatral R. U. R.

No obstante, se ha de tomar como punto de referencia de cierta relevancia la figura de Charles Babbage, nacido en 1792, y al que se le considera como el padre y precursor de la informática actual. Él ideó y desarrolló dos máquinas llamadas la Máquina Diferencial y la Máquina Analítica. El desarrollo de la segunda fue muy importante para la posterior computación electrónica ya que en ella se apuntaron, aunque en términos mecánicos, los componentes esenciales de cualquier sistema de computación de propósito general, es decir: la entrada, el almacenamiento, la unidad aritmética, la unidad de control y la salida. Otras aportaciones a destacar en esta línea serían, por ejemplo, la de el Dr. Herman, el cual creó la primera máquina de computación que usó medios no mecánicos de proceso; la de Burroughs en 1892 y su primera sumadora comercial; y Zuse que en 1935 puso en práctica la aritmética binaria en su ordenador Z1.

Dentro ya de este siglo, en la década de los cuarenta, aparecieron los ordenadores de primera generación los cuales tenían como componente técnico básico la válvula termiónica de cristal. Ésta dio paso, en la década de los cincuenta, al transistor, y éste, con su aplicación, a la segunda generación de ordenadores. A principios de los setenta, con la aparición de las técnicas de miniaturización electrónica, se hizo posible la implantación de miles de transistores en una minúscula plaqueta de silicio, el famoso "chip". Surgieron así los ordenadores de tercera generación. Con la ampliación de los niveles de integración y la aparición de nuevos lenguajes de programación, fue posible el advenimiento de las máquinas de cuarta generación en la década de los ochenta. Por último, también en dicha década, se pusieron las bases para el desarrollo de los superordenadores de la quinta generación<sup>3</sup>, donde la Inteligencia Artificial desempeñará un papel fundamental y decisivo.

En otro ámbito distinto, el de las ideas, los procesos y el razonamiento, hay que remontarse a los albores del siglo XIX, cuando los matemáticos se plantearon el abandono de la institución como fundamento de su ciencia, buscando para su razonamiento unas bases más sólidas sobre las que fundamentarse. Así, la aparición de las paradojas llevaron al desarrollo de los llamados sistemas formales y de la lógica matemática. En algunos casos, como por ejemplo las escuelas de Hilbert o Russell, el razonamiento fue reducido a la manipulación abstracta de cadenas de símbolos.

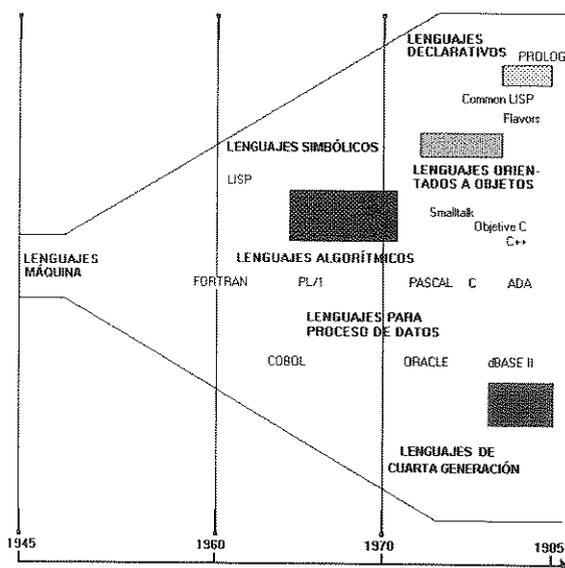
Por su parte las teorías de la computabilidad y de los autómatas proporcionaron el nexo de unión entre la formalización del razonamiento y las máquinas que iban a surgir tras la Segunda Guerra Mundial. Diversos científicos,

---

<sup>3</sup> Finalizada la década de los 70 y principios de los 80, Japón formuló las directrices de un ambicioso programa de investigación y desarrollo. Este alcanzará su punto álgido cuando se termine el primer prototipo de ordenador de un nuevo concepto. Esta innovación tecnológica supondrá la consecución de importantes avances tecnológicos en Inteligencia Artificial, lenguajes de programación y nuevas cotas de integración de microcircuitos a escala muy elevada.

ingleses y americanos en su mayoría, trabajaron sobre la creación de máquinas electrónicas que fueran capaces, mediante el suministro de instrucciones, de realizar operaciones numéricas complejas. Un grupo reducido de estos científicos, interesados en emular los razonamientos y comportamientos humanos, orientó su trabajo de investigación al procesamiento de información simbólica. Dado que se pretendía trabajar con conocimientos e ideas se hacía necesario contar con ordenadores capaces de manipular símbolos que no fueran numéricos. En relación a esto, los estudiosos y expertos en computación han afirmado siempre que puede sacarse de los ordenadores mucho más de lo que se ha conseguido con los programas convencionales. El desarrollo de estos programas de proceso de datos se ha orientado, durante bastante tiempo, según el principio de construcción del hardware y según los lenguajes clásicos de programación como son el C, BASIC, ADA, FORTRAN, COBOL, etc<sup>4</sup>. No obstante, está claro que este principio de construcción de programas, al que se acaba de hacer referencia, nunca fue pensado para producir un comportamiento inteligente. Este tipo de construcción fue fruto de la combinación de sistemas de telecomunicación y calculadoras programables. La cuestión se ha visto concretada siempre en el planteamiento de cómo obtener resultados a partir de diversos cálculos realizados, y transferirlos entre las distintas estaciones de entrada y salida cada vez con mayor rapidez. Las teorías correspondientes a este área fueron descritas, entre otros, por

<sup>4</sup> Una perspectiva histórica de la evolución seguida por los principales lenguajes de programación está recogida en la siguiente figura:



Fuente: Elaboración propia.

Shannon (Teoría de la Información<sup>5</sup>, von Neumann (Principio de Construcción del Ordenador) y Wiener (Cibernética)<sup>6</sup>. Este último elemento al que se ha hecho referencia, la cibernética, ejerció una influencia notable en otros campos de la ciencia debido a su naturaleza fundamentalmente interdisciplinar, ligando así materias tales como la fisiología neuronal, la teoría de la información, la lógica matemática y la muy nueva tecnología informática. En 1948 Wiener se encargó de adelantar una idea que tuvo una enorme trascendencia: la cibernética era aplicable, de igual forma, tanto a los sistemas biológicos autogobernados como a los sistemas artificiales. De esta manera las teorías de los precursores de la cibernética influyeron notablemente en los investigadores pioneros en Inteligencia Artificial. Conviene resaltar que, como fruto de todas estas investigaciones, se lograron diversos desarrollos prácticos incorporados con posterioridad al diseño de algunas máquinas calificadas en ocasiones por sus creadores como pensantes<sup>7</sup>. Un muestra de estos prototipos lo constituye el Modelo Homeostático de Ashby<sup>8</sup>, que no deja de ser sino un intento de aproximación, desde la cibernética, a la consecución de inteligencia. No obstante, a finales de la década de los cincuenta, el creciente interés en el procesamiento simbólico digital eclipsó totalmente este tipo de modelos.

También como intentos de aproximación a la consecución de inteligencia, o por lo menos de semejanza en lo que a determinadas capacidades del cerebro humano se refiere, hay que catalogar a diversos estudios que se enmarcan dentro del área de lo que se ha dado en llamar Redes Neuronales<sup>9</sup>. Es conveniente destacar también las aportaciones hechas por McCulloch y

<sup>5</sup> La Teoría de la Información tiene como objetivo fundamental el estudio de la información mediante métodos matemáticos. De manera informal la información puede considerarse como la medida en que un mensaje comunica lo que previamente se desconocía y, así, resulta nuevo y sorprendente. Desde el punto de vista matemático la medida de la información que es transmitida desde la fuente se identifica con la entropía de ésta (por segundo o por símbolo).

<sup>6</sup> Cibernética fue el nombre dado por Norbert Wiener para describir su acercamiento a los fenómenos a través de la información. Este propuso que algunos fenómenos podían ser modelados mejor si se describía la transferencia de información entre sistemas interrelacionados. 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 demostraron ser muy valiosas en las primeras investigaciones llevadas a cabo en el campo de la Inteligencia Artificial.

<sup>7</sup> Algunos de estos modelos se diseñaban a modo de grandes sistemas compuestos por multitud de elementos o módulos más simples, suponiendo que la gran complejidad de los mismos sería motivo suficiente y fundamental para generar inteligencia.

<sup>8</sup> Citado por A. Goodall (1985), en la obra **The Guide to Expert Systems**, Oxford (U. K.), Learned Information, p. 163.

<sup>9</sup> Dichos estudios han estado orientados a la consecución de modelos, de aplicación práctica, que incorporan una estructura interna que intenta aproximarse a la del cerebro humano (intentar reproducir mediante el ordenador el funcionamiento del cerebro humano). De esta forma se persigue la realización y ejecución, de forma artificial, de tareas propias de este último. Recurriendo a terminología propia de la informática, lo que se pretendía era simular el hardware.

Pitts<sup>10</sup> en su aproximación al estudio del cerebro humano y sus atractivas descripciones de la semejanza entre éste y el ordenador que, aunque no se han visto refrendadas en investigaciones posteriores, más profundas y precisas, sí que contribuyeron de forma notable al desarrollo de lo que se ha denominado como Ciencia de la Información y, en última instancia, de la Inteligencia Artificial.

Por último indicar que, en el año 1945, von Neumann inició el diseño de EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer), un ordenador electrónico automático de variable discreta<sup>11</sup>. Por primera vez se incluyó en el proyecto del diseño de un ordenador digital electrónico el concepto de control por programa almacenado<sup>12</sup>. Von Neumann fue el que introdujo también el concepto de sistema informático autorreproductible.

## 2.2 EL NACIMIENTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

A pesar de la falta de acuerdo que todavía impera en numerosas cuestiones relativas a la Inteligencia Artificial, parece haberse llegado, sin embargo, a un consenso general sobre el hecho de que esta disciplina, tal y como hoy se la concibe, hizo su aparición en este siglo, más concretamente en la década de los cincuenta, cuando se inició el estudio de los programas de ordenador de tipo simbólico para la resolución automática de problemas. Además, los desarrollos en esta materia han estado muy ligados, desde sus orígenes, a los avances conseguidos en el campo de los ordenadores y éstos están, a su vez, íntimamente ligados a los desarrollos de la microelectrónica.

Otra cuestión sobre la que no parece haber desavenencias es la de considerar a la figura del matemático Alan Turing como un personaje que contribuyó notablemente al surgimiento de la Inteligencia Artificial, además de

---

<sup>10</sup> En el año 1943, McCulloch y Pitts publicaron, de forma compartida, un artículo titulado Cálculo Lógico de las Ideas Inmanentes en la Actividad Neuronal, en el Boletín de Biofísica Matemática. En él proponían que una red de neuronas en el cerebro trabajaba de forma análoga a una hipotética máquina de Turing, considerando por lo tanto al cerebro como un ordenador. Para más detalles consultar:

W. S. McCulloch y W. Pitts (1943), *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neuron Activity*, **The bulleting of Mathematics Biophysics**, Chicago, The University of Chicago Press, December, pp. 115-133.

<sup>11</sup> En este tipo de ordenador se dan las siguientes características:

- a) Las unidades principales son una unidad de control, una unidad aritmética y lógica, una memoria y los recursos de entrada y salida.
- b) Los programas y los datos comparten la misma memoria. Así, el concepto del programa almacenado resulta fundamental.
- c) Las unidades de control y aritméticas, generalmente combinadas en un procesador central (que puede contener almacenamiento interno-acumuladores y otros registros), determinan las acciones que van a realizarse leyendo las intrusiones en la memoria.

<sup>12</sup> El programa de una máquina de von Neumann consiste en un conjunto de instrucciones que son examinadas sistemáticamente una detrás de otra.

ayudar en el diseño de uno de los primeros ordenadores que se llegaron a construir. En el año 1937 Turing publicó una ponencia sobre números computables en la que expuso, por primera vez, el concepto de lo que hoy se ha dado en llamar máquina universal de Turing. En esta ponencia planteaba que dicha máquina hipotética podría desarrollar cualquier procedimiento matemático usando, para ello, un sistema de códigos binarios siempre que se le proporcionase una tabla adecuada de instrucciones. Este modelo era tan genérico que permitió la descripción de todos los ordenadores que surgieron en décadas posteriores. En 1950 Turing escribió, según la opinión general, un sorprendente artículo titulado "Computing Machinery and Intelligence"<sup>13</sup> por el que se le reconoce como uno de los personajes clave en la concepción de la Inteligencia Artificial. En dicho artículo planteó una cuestión que, aún hoy día, sigue suscitando numerosas controversias. ¿Pueden las máquinas pensar? En aquel mismo momento él ya predijo que habría numerosas objeciones a tal proposición e intuyendo las dificultades semánticas que implica el intento de responder a esa pregunta, propuso una prueba, en forma de juego, que pudiese ayudar a clarificar el tema. A través de dicha prueba se pretendió el reconocimiento de comportamientos inteligentes. Según la misma la inteligencia de un sistema viene dada por la sensación de inteligencia que recibimos por un terminal conectado a un interlocutor, desconocido para nosotros, y que es el propio sistema bajo estudio. Turing la denominó como "juego de imitación", pero en su honor se le reconoce como Test de Turing<sup>14</sup>. Por último, sería conveniente apuntar dos cuestiones importantes, entre otras derivadas de esta prueba, ya que han contribuido a conformar las bases para muchos de los esquemas actualmente utilizados en la evaluación de programas modernos de Inteligencia Artificial. Dichas cuestiones son:

- Primero, este test nos ha suministrado una noción objetiva de inteligencia.
- Segundo, el mismo nos previene del riesgo de centrarnos sobre cuestiones de poca importancia, confusas y corrientemente incontestables, tales como si una computadora emplea un proceso interno apropiado o si las máquinas, en general, son actualmente conscientes de sus acciones. Es, de alguna manera, una llamada de atención ante la posibilidad de cometer un error grave al orientar nuestros esfuerzos hacia cuestiones poco relevantes, dentro de esta controversia, en lugar de centrarnos en las cuestiones más trascendentales y básicas.

<sup>13</sup> Citado por H. C. Mishkoff, en la obra **A Fondo: ...**, op. cit., pp. 36-37.

<sup>14</sup> Para detalles más concretos sobre el contenido del Test de Turing consultar:

J. H. Fetzer, **Aspects of Artificial ...**, op. cit., p. 83.

G. F. Luger y W. A. Stubblefield, **Artificial Intelligence and ...**, op. cit., pp. 10-12.

H. C. Mishkoff, **A Fondo: ...**, op. cit., pp. 36-38.

A. M. Turing (1964), **Minds and Machines**, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, pp. 4-30.

Desde su aparición como una disciplina independiente y durante algunos años, las investigaciones llevadas a cabo en este campo se redujeron y concentraron en varias instituciones, tanto públicas como privadas. La mayoría de los centros de investigación (laboratorios de Inteligencia Artificial) pertenecían a universidades. Parece por lo tanto necesario en este momento hacer una referencia, aunque sea breve, a algunas de ellas, las más importantes, dado que se constituyeron como vanguardia de la investigación en las distintas áreas que componen este cuerpo de conocimiento.

En la década de los años cincuenta y también en la de los sesenta las investigaciones se llevaron a cabo en centros radicados en diversos países como Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia. Con posterioridad, a partir de la década de los años setenta, fueron apareciendo nuevos proyectos de investigación desarrollados en instituciones de otros países como Alemania Occidental, Japón, Canadá, Australia, etc., con los que se amplió y reforzó el potencial investigador en este área. En la actualidad son ya muy numerosos los centros, tanto públicos como privados y repartidos por todo el mundo, que se dedican al estudio y desarrollo de alguna parcela concreta de esta materia. Incluso, en la reciente década de los ochenta, se han creado numerosas compañías especializadas exclusivamente en Inteligencia Artificial con el objetivo de comercializar lo que hoy se ha dado en denominar ya como productos de Inteligencia Artificial. Estados Unidos es un país donde se concentraron inicialmente el grueso de las investigaciones a nivel teórico, junto con el desarrollo de numerosas aplicaciones prácticas. Son varias las instituciones de las que conviene hacer una mención especial.

a) Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Esta institución es una de las de mayor tradición contando, entre otros, con un Laboratorio de Inteligencia Artificial cuyos fundadores fueron los conocidos investigadores McCarthy y Minsky. En el mismo se han llevado a cabo investigaciones importantes en campos diversos que abarcan un amplio espectro de materias como el estudio de la naturaleza del cerebro y las máquinas, la comprensión del lenguaje natural, la representación del conocimiento, el reconocimiento del habla, los sistemas expertos, la resolución de problemas, la visión artificial, la robótica, etc.

Son numerosos los investigadores que han desarrollado sus trabajos en alguno de los laboratorios con los que cuenta este instituto. Cabría citar, como ejemplo, a personajes tan ilustres y representativos de este campo como los ya referidos Minsky y McCarthy, además de Wiemer, Genesereth, Pople, McCulloch, Martin, Davis, Shannon, Bobrow, Papert, Moses, Winograd, Raphael, etc.

b) Universidad Carnegie-Mellon<sup>15</sup>. Esta universidad logró en décadas

---

<sup>15</sup> Inicialmente comenzó denominándose Carnegie Institute of Technology, en Pittsburg (Kansas).

anteriores una reputación notable como centro de investigación en cuestiones relacionadas con la Inteligencia Artificial, encontrándose actualmente entre los más avanzados del mundo en algunos de los campos comprendidos dentro de esta disciplina. Las áreas fundamentales de investigación sobre las que se han centrados los diversos estudios y realizaciones han sido: la visión artificial, el reconocimiento del habla, automatización de procesos, programación en Inteligencia Artificial, procesamiento de la información, etc. En cuanto a las personas que desarrollaron sus trabajos de investigación en este centro, o que de alguna manera tuvieron relación en este ámbito con el mismo, cabe citar a los siguientes: Newell, Simon, Reddy, Feigenbaum, Lenat, Shaw, McDermott, etc.

c) Universidad de Stanford. En este caso la primera cuestión que conviene resaltar hace referencia al hecho de que algunos de los investigadores más importantes en Inteligencia Artificial que desarrollaron gran parte de su labor en centros como el MIT o la Universidad de Carnegie-Mellon confluyeron, con posterioridad, precisamente aquí. Por citar alguno, casos como los de Genseereth, McCarthy y Winograd, procedentes del MIT; Lenat y Feigenbaum, procedentes de la Universidad Carnegie-Mellon, son un ejemplo de ello. Además, cabe citar como miembros destacados por sus trabajos a Shortliffe, Buchanan, Cohen, etc.

Los proyectos de investigación con un mayor desarrollo en este centro han sido los pertenecientes a las áreas de programación heurística, robótica, visión artificial, sistemas de planificación, programación automática, resolución de problemas, etc.

d) Instituto de Investigación de Stanford (SRI)<sup>16</sup>. Esta es una de las organizaciones privadas más importantes de entre todas las que se han visto involucradas en programas de investigación desarrollados en el ámbito de la Inteligencia Artificial. El prestigio que ha alcanzado a lo largo de su historia en este campo la sitúa a la altura de instituciones como el MIT o la Universidad de Carnegie-Mellon. En el SRI han trabajado investigadores como Nilsson, Fikes, Reboh, Raphael, Hart, Duda, Gaschnig, etc. Las investigaciones llevadas a cabo en el SRI han combinado materias correspondientes a diversas áreas de la Inteligencia Artificial como son el reconocimiento y síntesis del habla, la visión artificial, la planificación inteligente de robots, la resolución de problemas, los sistemas expertos, la programación automática, etc.

e) Otros centros de investigación. En Estados Unidos, hoy día, prácticamente todas las universidades cuentan con un departamento donde se imparten cursos o se llevan a cabo investigaciones referidas a materias pertenecientes a algunos de los subcampos reconocidos dentro de la Inteligencia

<sup>16</sup> Durante una época este instituto estuvo asociado con la Universidad de Stanford. En la actualidad está constituido como una institución totalmente independiente.

Artificial. Aparte de los centros citados con anterioridad, conviene mencionar también otros como la Universidad de Illinois, la Universidad de Southern California, la Universidad de Palo Alto, la Universidad de Rochester, la Universidad de Rutgers, la Universidad de Pittsburgh, la Universidad de Yale, la Universidad de Massachusetts, la Universidad de Harvard, la Universidad de Purdue, la Universidad de Maryland, el Instituto Politécnico de Virginia, el National Institute of Health (NIH), la National Library of Medicine (NLM), la National Science Foundation (NSF), la Office of Naval Research (ONR), la National Aeronautics and Space Administration (NASA), el U. S. Geological Survey (USGS), etc., como algunos de los centros que más se han destacado en estas últimas décadas.

A pesar de que hasta el momento las referencias que se han hecho sobre las entidades comprometidas con el desarrollo de esta materia apuntan, en su mayoría, a centros universitarios, no todas las investigaciones en este campo se han efectuado exclusivamente en ellos. En este apartado cabría citar también a algunas empresas y firmas comerciales importantes de este país que se interesaron por esta nueva disciplina y que, además, incorporaron a sus equipos de trabajo a algunos de los investigadores más relevantes y destacados. De hecho, actualmente son numerosas las empresas privadas que, dedicadas a la investigación y comercialización de alta tecnología, han creado sus propias divisiones o secciones de I+D orientadas a productos "AI" en las diversas áreas reconocidas. Nombres de firmas como los de Digital Equipment Corporation (DEC), Xerox-PARC, Artificial Intelligence Corporation, BBN (Bolt, Beranek y Newman Inc.), Carnegie Group Inc. (CGI), Avanced Information and Decision Systems (AI&DS), Hughes Aircraft Company, Smart Systems Technology, The Rand Corporation, Cognitive Systems, Teknowledge, APEX, AT&T Bell Laboratories, Schlumberger-Doll Research, Framentec, Inference Corporation, Intellicorp, Software Architecture and Engineering, Texas Instrument, Symbolics Inc., SRI International, etc., son una clara muestra de ello<sup>17</sup>.

Por último, en lo que a Estados Unidos concierne, resaltar el papel jugado por DARPA (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa) en toda la cuestión de financiación de investigaciones en el ámbito de la Inteligencia Artificial con aplicación y de la informática en general. La misma asumió la responsabilidad financiera de numerosos proyectos desarrollados por distintos equipos de investigación en Inteligencia Artificial que operaban en

---

<sup>17</sup> Una relación más amplia, incluyendo direcciones para establecimiento de contactos se puede encontrar en:

P. Harmon y P. King, **Sistemas Expertos. Aplicaciones de la ...**, op. cit., pp. 357-362.

V. D. Hunt (1986), **Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook**, New York, Chapman & Hall, pp. 279-291.

W. B. Rauch-Hindin, **Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en ...**, op. cit., pp. 675-681.

D. A. Waterman, **A Guide to Expert ...**, op. cit., pp. 203-211 y 380-387.

universidades americanas, empresas privadas y otras organizaciones dedicadas a la investigación. Asimismo, es conveniente destacar el protagonismo que tienen algunos proyectos como el de la corporación MCC (Microelectronics and Computer Development Corporation) en Austin, detrás del que se encuentran diversas empresas privadas relacionadas con la informática y las comunicaciones, promoviendo de forma notable la investigación en Inteligencia Artificial.

A nivel europeo y, más concretamente en Gran Bretaña, destaca un centro de una gran tradición en cuestiones relacionadas con la Inteligencia Artificial, la Universidad de Edimburgo en Escocia. En ella han desarrollado su labor investigadores como Warren, Niblett, Tate, Palmer, L. Pereira, Mellish, Michie, Luger, Byrd, F. Pereira, Bundy, etc., ocupándose, entre otros temas, de la resolución de problemas, la comprensión del lenguaje natural, sistemas expertos, etc. Otros centros en este mismo país donde existen grupos importantes de investigación en diversas áreas de Inteligencia Artificial serían: la Universidad de Sussex (Brady, P. J. Hayes, Sloman, Hardy, etc.), el Imperial College de Londres (Clark, McCabe), la Universidad de Nottingham, etc. Tampoco se debe pasar por alto aquí el papel revitalizador jugado por algunos programas de investigación como, por ejemplo, el Intelligent Knowledge-Based Systems Programme (IKBS), y la actuación de algunos grupos de negocios (PLANIT, ARIES, WIESC, DAPES, TRACE, EMEX, ALFEX, RICS, RESCU), creados dentro del marco más genérico del Programa Alvey. Dicho programa fue publicado en 1982 como repuesta al plan japonés de la Quinta Generación para la potenciación de la tecnología de la información. A nivel comercial debe destacarse a firmas como ISIS System Ltd., Systems Designers, Helix Expert Systems Ltd. y algunas otras.

En Francia hay que destacar el papel jugado por la Universidad de Marsella como centro pionero en cuestiones de Inteligencia Artificial. Otra instituciones a tener en cuenta son la Universidad de las Ciencias y la Técnica del Languedoc, la Universidad Paul Sabatier en Toulouse, la Universidad de París SUD, el laboratorio IMAG de Grenoble, el Instituto Nacional de Investigación en Informática y Automática (INRIA) y el laboratorio de Automática y Análisis de Sistemas (LAAS) también en Toulouse. En cuanto a firmas comerciales de este país conviene mencionar a empresas como ACT Informatique, la sociedad CRIL, Formatique, etc.

En el caso de Alemania son varias las entidades, a nivel público y privado, que conviene citar por los trabajos que en ellas se han desarrollado. Por un lado se encuentran centros como la Universidad de Karlsruhe, la Universidad de Stuttgart o la Universidad de Hamburgo. Por otro, firmas comerciales como la multinacional Siemens, la multinacional Software AG, etc.

En el viejo continente otras organizaciones que merecen ser destacadas, por haber fomentado o desarrollado investigaciones relevantes en Inteligencia

Artificial, son la propia CEE, a través de diversos programas de investigación que ha promovido (ESPRIT I y ESPRIT II, etc.); en Suiza la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, el Instituto Federal de Tecnología de Suiza y el Centro de Investigación Brown Boveri (BBC); en Italia el Instituto de Electrotecnia y Electrónica; en Finlandia la Universidad de Tecnología en Helsinki, etc.

Por último apuntar que de entre el resto de países del contexto mundial destacan, en función de los trabajos llevados a cabo en distintos campos, Japón (Universidad de Osaka, Instituto Tecnológico de Tokyo, Universidad de Nagoya y el Laboratorio Central de Investigación de Hitachi), Checoslovaquia (Academia de Ciencias), URSS (Instituto de Cibernética e Instituto de Ciencias de Control de Kiev, Centro de Cómputo de la rama Siberiana de la Academia de Ciencias de Nobosivirk y el Instituto de Cibernética de la Academia Estonia de Ciencias de Tallinn), Hungría (Academia de Ciencias) y Australia (Universidad Nacional de Australia).

Retomando la cuestión relativa al nacimiento de la Inteligencia Artificial, y para facilitar la reseña de los acontecimientos e investigaciones más relevantes en las distintas áreas, es aconsejable realizar una división, en tres etapas consecutivas, del periodo temporal que resta por analizar. Además, en cada una de ellas se van a considerar apartados distintos relativos a las áreas donde se han ido desarrollando los trabajos del periodo de tiempo considerado.

### 2.2.1 Primera Etapa (1955-1965).

En general este primer periodo estuvo caracterizado por un ambiente de triunfalismo prematuro en algunas áreas, promovido por diversos investigadores del momento, que anticiparon grandes resultados cuando aún quedaba mucho camino por recorrer. Como una prueba de este optimismo desmesurado se pueden retomar las palabras de Minsky incluidas en una de sus obras<sup>18</sup> (...) en una generación el problema de crear Inteligencia Artificial estará resuelto. Sin embargo la realidad en la que se desenvolvían los investigadores en los diversos campos sobre los que se estaba trabajando era otra distinta. Por entonces, en la mayoría de los casos, se estaban fijando las bases sobre las que se asentarían una gran parte de investigaciones y desarrollos posteriores. Según Cuenca<sup>19</sup> habría que considerar a esta etapa como la de (...) creación de las técnicas básicas para representar el comportamiento inteligente tanto a nivel de métodos como lenguajes (...).

Por lo tanto era demasiado pronto para hacer promesas y pronosticar grandes logros por parte de esta nueva disciplina. Con el tiempo se pondría de manifiesto que las cosas, lógicamente, no iban a ser tan fáciles como en

---

<sup>18</sup> M. Minsky (1967), *Computation: Finite and Infinite Machines*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, p. 2.

<sup>19</sup> J. Cuenca y otros (1985), *Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos*, Madrid, Alianza Editorial, p. 11.

principio parecía y esa euforia de la etapa inicial se volvió un tanto en contra de aquellos que la propiciaron. Como contrapunto al optimismo inicial no faltaron incluso opiniones que apuntaban a las limitaciones<sup>20</sup> de los ordenadores o aquellas otras, expresadas a modo de crítica y rebosantes de escepticismo, con respecto a las posibilidades de la Inteligencia Artificial como elemento dinamizador y de progreso dentro del mundo de la ciencia. Esta disciplina con bastante frecuencia, dada su naturaleza tan particular, ha entrado en contacto con otras materias desatando en ocasiones profundas controversias y disensiones. Un ejemplo de esta difícil relación lo constituye la filosofía. Tomando como base determinados planteamientos que parten del seno de la filosofía, y en relación con el tema de la potencialidad real que presenta la Inteligencia Artificial en facetas ya referidas, se han expuesto razones y esgrimido argumentos cuyo único objetivo era poner de manifiesto que ciertas actividades, que desempeñan exclusivamente los seres humanos, no las pueden ejecutar en modo alguno los ordenadores en su disposición actual. Opiniones como las de los filósofos Lucas<sup>21</sup>, Polanyi<sup>22</sup> y algunos otros nos sirven

<sup>20</sup> Las limitaciones que se enumeraban apuntaban, entre otras cosas, al hecho de que los ordenadores digitales no podían manejar conocimiento tácito o implementar el procesamiento cognitivo de la información. Otras opiniones hacían referencia a la imposibilidad de los ordenadores de simular la emoción o cualquier otra sensación que puedan experimentar los seres humanos.

Para un estudio más detallado acerca de estas limitaciones y otras cuestiones adyacentes consultar:

M. A. Cohen, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 557-572.

<sup>21</sup> Fueron varias las afirmaciones vertidas por el filósofo Lucas con respecto a la Inteligencia Artificial y sus posibilidades. En una de ellas planteó una cuestión, a modo de objeción, que hacía referencia al Teorema de Gödel. En 1931 Gödel demostró que hay límites para lo que cualquier sistema lógico o matemático puede hacer. Estas limitaciones se refieren a cuestiones enunciadas en los términos empleados por el sistema y, por lo tanto, de un tipo que aparentemente debería ser determinado por el mismo. Por ello, para cualquier sistema lógico consistente existe, al menos, una oración significativa que no es susceptible de ser probada ni refutada pero que los lógicos interpretarían como verdadera. Un ordenador, aparentemente, no puede concretar la verdad sobre al menos un enunciado bien estructurado que, sin embargo, el ser humano admite como verdadero.

Esta prueba se aporta como muestra de la superioridad de la mente humana sobre la lógica, ya que las proposiciones lógicamente indecidibles pueden ser detectadas como verdaderas por los seres humanos. Por lo tanto Lucas apunta a que no se puede pretender que una máquina, que es una materialización de un sistema formal, se iguale con el funcionamiento de la mente humana, la cual es capaz de detectar como cierta la formulación de Gödel.

Más detalles acerca del contenido y la argumentación que sustenta el Teorema de Gödel se pueden encontrar en:

N. Ernst y J. R. Newman (1958), *Gödel's Proof*, New York, New York University Press.

J. R. Lucas (1961), *Minds, Machines and Gödel*, Philosophy, vol. 36, pp. 112-127.

<sup>22</sup> Él fija su atención sobre el aprendizaje como componente básico de la inteligencia humana. Una modalidad de éste, el aprendizaje fundamentado en la acción, es decir, la enseñanza inteligente que conjuga corrección con explicación, mejorando la comprensión y el pensamiento de la persona cuando la aplica, suele ser empleado, según Polanyi, con mucha frecuencia y de forma exclusiva por los seres humanos. Sin embargo esta modalidad de aprendizaje

para ilustrar este punto de vista<sup>23</sup>. Consecutivamente, serían diversas las voces que se alzaron, a modo de réplica, contra aquellas argumentaciones que, provenientes de diversos ámbitos, descalificaban u objetaban de alguna manera los principios y los planteamientos sobre los que descasaba el desarrollo de las áreas que conforman el campo de estudio de la Inteligencia Artificial, llegándose incluso a cuestionar los logros futuros a alcanzar por ésta. Una de ellas, la de Boden<sup>24</sup>, intenta dar respuesta a la argumentación de Lucas anteriormente referida.

Continuando con el recorrido por esta primera etapa y atendiendo a otro orden de cosas, el primer evento importante que quizá convenga reseñar de este periodo fue la celebración, en 1956, de la ya famosa Conferencia del Dartmouth College, en la Ciudad Universitaria de Hanover (EE.UU.). Dicha conferencia contó con el patrocinio de la Fundación Rockefeller, bajo convocatoria de McCarthy<sup>25</sup> (Dartmouth College) y la organización de éste y otros investigadores como Minsky<sup>26</sup> (Universidad de Harvard), Rochester (IBM Research Center) y Shannon (Bell Telephone Laboratories). En ella confluyeron científicos<sup>27</sup> representantes de diversas disciplinas como Neurología, Psi-

---

(continuación de nota 22)

presenta bastantes dificultades a la hora de ser implementada en expresiones formales típicas en cualquier modelo de simulación.

El se refiere, por lo tanto, al hecho de que el conocimiento tácito en el pensamiento humano, por ejemplo, una simple especulación mental o una habilidad motora que son inherentes normalmente a las actividades funcionales y al pensamiento creativo, sólo son susceptibles de ser incorporados o asimilados a través de la experiencia, cosa que por ahora no cabe pensar que lo pueda desarrollar un ordenador. Por lo tanto considera este conocimiento fáctico imposible, por el momento, de simular en ordenadores digitales. Implícitamente, está negando la posibilidad de una simulación completa del pensamiento humano mediante ordenador.

Un desarrollo más profundo de sus planteamientos se puede encontrar en:

M. Polanyi (1964), **Personal knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy**, New York, Harper.

<sup>23</sup> Otras aportaciones, opiniones y críticas referentes a la Inteligencia Artificial y los temas filosóficos que tienen algún tipo de implicación con la misma pueden ser encontradas en:

M. A. Boden, **Inteligencia Artificial ...**, op. cit., pp. 536-572.

<sup>24</sup> Para más detalles sobre esta controversia y algunas otras, mantenidas por esta investigadora con diversas personas acerca de cuestiones relacionadas con la Inteligencia Artificial y en defensa de la misma, ver:

M. A. Boden, **Inteligencia Artificial ...**, op. cit., pp. 536-572.

<sup>25</sup> Se cree que el término Inteligencia Artificial fue utilizado por primera vez en 1956 por John McCarthy, profesor auxiliar de matemáticas del Dartmouth College en Hanover (EE. UU.).

<sup>26</sup> Ambos, McCarthy y Minsky, fueron cofundadores del Laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT, llegando el segundo a ser director del mismo durante algunos años. Con posterioridad este laboratorio se ha llegado a convertir en uno de los más prestigiosos centros de investigación en Inteligencia Artificial.

<sup>27</sup> Otros participantes a la conferencia fueron: Newell (RAND e Instituto Tecnológico Carnegie), Simon (RAND e Instituto Tecnológico Carnegie), Samuel (IBM), Bernstein (IBM) y Selfridge (MIT). Una magistral descripción del contexto en el que se desarrolló la conferencia y del es-

cología, Ingeniería Eléctrica, Matemáticas, etc. El elemento común que conectaba, de alguna manera, a un grupo científico tan dispar era el que todos usaban la misma herramienta de trabajo con la que realizar sus investigaciones: el ordenador. Todos ellos, desde diferentes puntos de vista, empleaban los ordenadores para simular distintos aspectos de la inteligencia humana. En la conferencia se debía examinar el 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. Por desgracia esto no se pudo conseguir en aquel momento y dicho propósito sigue siendo, todavía hoy, el objetivo fundamental de la investigación en Inteligencia Artificial. Poco tiempo después de haberse celebrado la Conferencia del Dartmouth College, Minsky y McCarthy fundaron el Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts, una de las instituciones que se pueden considerar con mayor prestigio y tradición en la realización de investigaciones dentro de este campo.

#### A) Resolución Automática de Problemas y Planificación<sup>28</sup>.

Un modo de considerar el comportamiento inteligente es en la faceta de la resolución automática de problemas, denominada también deducción automática<sup>29</sup>. Un área importante de trabajo, dentro de las investigaciones llevadas a cabo en este periodo, se concretó en programas dirigidos justo a ello. La resolución de problemas puede considerarse como un concepto generalizado aplicable a múltiples actividades<sup>30</sup> y facetas: computación, demostración de

(continuación de nota 27)

piritu reinante en dicho evento se puede encontrar en la obra:

P. McCorduck (1979), **Machines Who Think**, New York, W. H. Freeman and Company, pp. 93-114.

<sup>28</sup> Son numerosos los expertos que consideran a la planificación como una etapa previa a la resolución de problemas. Uno de los métodos más usados y eficientes en la resolución de problemas es el desarrollo de un plan. Esto implica, además, la determinación del procedimiento a usar en la resolución.

<sup>29</sup> La resolución de problemas es una actividad importante en un gran número de procesos. Dos facetas claves dentro de la misma son, por un lado, la determinación de una serie de acciones para la consecución de un objetivo y, por otro, la deducción de conclusiones a partir de los datos o de una serie de proposiciones. Los procesos de búsqueda y resolución de problemas suelen utilizar y aplicar métodos de inferencia, planificación, sentido común y demostración de teoremas, entre otros.

Cohen y Feigenbaum se refieren a la resolución de problemas indicando que se trata de un proceso en el que se desarrolla una secuencia de acciones orientadas a la consecución de un objetivo determinado. Para los mismos autores un resolutor de problemas es un programa que explora diversos estados surgidos tras aplicar al estado inicial operadores que lo modifican y que busca, dado que se supone que existe, uno al que se le considera como solución del problema.

Para ampliar este tipo de cuestiones ver:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.) (1986), **The Handbook of Artificial Intelligence**, Reading (Mass.), Addison Wesley Publishing Company, vol. 3, p. 515.

(nota 30 en pág. siguiente)

teoremas, análisis de escenas, planificación de tareas, sistemas expertos, recuperación de información, juego de partidas, comprensión del lenguaje natural, etc. Dicha faceta se ha planteado, casi siempre, como el corazón de toda investigación sobre Inteligencia Artificial. En un sentido amplio son dos los procedimientos universales de resolución de problemas que se suelen citar: los algorítmicos y los heurísticos. En esta primera etapa se iban a presentar algunos de los trabajos de investigación que se orientaron hacia la consecución de resolutores de propósito general dotados con una capacidad de inferencia importante. Se tenía el convencimiento de que con ellos se podrían resolver todas las cuestiones relativas a la Inteligencia Artificial. Se intentó el desarrollo de programas que imitasen todo el espectro de habilidades humanas para la resolución de problemas. Sin embargo, la realidad muy pronto se encargó de poner en evidencia que esto no iba a ser factible. Todos los esfuerzos iban a ser infructuosos debido, fundamentalmente, a la explosión combinatoria derivada de la exploración exhaustiva de un campo concreto. Excepto en los casos más simples, los programas genéricos de Inteligencia Artificial se vieron virtualmente "arrollados" por la complejidad de los problemas y el número de posibles trayectorias entre un estado inicial y el objetivo final.

Dos de los participantes en la Conferencia de Dartmouth asistieron a la misma llevando consigo un trabajo importante, uno de los primeros programas heurísticos que existieron y al que denominaron *Logic Theorist*<sup>31</sup>. Este fue desarrollado en 1956 por Newell y Simon en colaboración con Shaw y bajo los auspicios de la Rand Corporation y el Carnegie Institute of Technology. El mismo tenía como objetivo demostrar teoremas de cálculo proposicional utilizando razonamiento heurístico en lugar de algorítmico. Bajo un enfoque heurístico se deseaba comprender cómo un matemático podía demostrar un teorema. A partir del teorema a probar el programa iba razonando "hacia atrás" los axiomas y otros teoremas del supuesto inicial. Tanto los axiomas como los teoremas utilizados se tomaron del libro "Principia Mathematica" de Russell y Whitehead. El *Logic Theorist* demostró treinta y ocho de los cincuenta y dos teoremas del capítulo 2 correspondiente a dicho libro.

Otro ejemplo que ilustra esta tipología de programas fue el GPS (*General Problem Solver*)<sup>32</sup> desarrollado, a partir de 1957, también por Newell,

---

<sup>30</sup> Según Martin y Oxman dependiendo de las intenciones del investigador al aplicar estrategias de resolución de problemas, éste ejecutará una o más actividades como por ejemplo: la toma de decisiones, la explicación, la interpretación, la fusión o mezcla de conocimientos, el diagnóstico, la prescripción, el diseño, la identificación, la planificación, el pronóstico, la regulación, el control y la monitorización. Más detalles al respecto en:

J. Martin y S. Oxman, *Building Expert ...*, op. cit., p. 34.

<sup>31</sup> Para más detalles ver:

A. Newell, J. C. Shaw y H. A. Simon, *Empirical Explorations with the Logic Theory Machine: A case study in heuristics*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.) (1963), *Computers and Thought*, New York, McGraw-Hill, pp. 109-133.

<sup>32</sup> Para más detalles consultar: (continuación en pág. siguiente)

Simon y Shaw. GPS es un programa escrito en el lenguaje IPL-V, similar al LISP. Este programa intentaba establecer un modelo general de resolución de problemas mediante técnicas heurísticas y utilización de la técnica de análisis de la intención final. Con su aplicación se consiguió resolver problemas fáciles, y dado su carácter universal, la eficacia en la resolución se veía resentida de forma notable. Destacar además que éste fue el primer programa que incorporó una estrategia planificada para la resolución de problemas. No obstante, GPS resultó ser un paradigma equivocado que provocó un cambio de orientación en las investigaciones. Ahora, aprovechando la perspectiva histórica, se puede afirmar que inicialmente los investigadores en Inteligencia Artificial se centraron, de forma excesiva, en la resolución de problemas de tipo general. En los años subsiguientes, sin embargo, los trabajos se realizaron bajo la máxima de: "menos inferencia y más conocimiento"<sup>33</sup>.

Otros programas posteriores, e igualmente interesantes, de planificación estratégica fueron: ABSTRIPS (resolutor de problemas para controlar un robot experimental desarrollado en el SRI); NOAH (sistema de planificación para robots creado en el SRI) y BUILD (resolutor de problemas que incorporaba estrategias similares a las aplicadas dentro de lo que se ha dado en llamar sentido común).

Es conveniente reseñar también que Slagle desarrolló en 1961 un programa llamado SAINT<sup>34</sup>, concebido para la automatización de la integración simbólica y que es considerado como el progenitor de otro programa aún más conocido, MACSYMA, que sirve de apoyo y complemento en la resolución de determinadas cuestiones en el ámbito de las matemáticas. Con posterioridad, Moses elaboró un sistema de integración simbólica más potente llamado SIN<sup>35</sup>. Dentro de este mismo ámbito, en el año 1959, encontramos una apli-

---

A. Newell y otros (1959), *Report on a General Problem Solving Program, Proceedings of the International Conference on Information Processing*, París, UNESCO House.

A. Newell y H. A. Simon, *GPS-A Program that simulates human thought*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), *Computers and ...*, op. cit., pp. 279-296.

A. Newell y H. A. Simon, *Human Problem ...*, op. cit.

<sup>33</sup> Una cuestión trascendental en los programas de Inteligencia Artificial es el área del conocimiento en el que se van a representar los problemas cuando se afronta su resolución. Este área debe estar perfectamente delimitada y estructurada para facilitar su manejo. Es usual que los humanos apliquen el conocimiento que poseen relativo al problema que se va a intentar resolver. Así, algunos investigadores pensaron que sería posible programar los ordenadores para que resolviesen los problemas de igual forma, es decir, incorporando el conocimiento. Esto llevó a algunos de ellos a concentrar sus esfuerzos en cómo representar este conocimiento en los sistemas informáticos.

<sup>34</sup> Detalles del sistema se encuentran en:

J. R. Slagle (1963), *A heuristic program that solves symbolic integrations problems in freshman calculus*, *Journal of the Association Computing Machinery*, vol. 10, pp. 507-520.

<sup>35</sup> J. Moses (1967), *Symbolic Integration*, Cambridge (Mass.), MAC-TR-77, PROJECT MAC, MIT.

cación interesante de las ideas de Inteligencia Artificial a la demostración de teoremas. Esta se debe a Gelernter<sup>36</sup> que desarrolló un programa cuyo objetivo era la resolución de problemas de geometría elemental. También, en ese año de 1959, McCarthy propuso la idea de usar la lógica formal como un esquema de representación y la inferencia deductiva como un método de razonamiento, sugerido todo ello, aparentemente, como una aproximación al razonamiento basado en el sentido común y a la resolución de problemas. Por último, en 1960, sería Wang<sup>37</sup> el que implementase un algoritmo completo para la demostración de teoremas en lógica proposicional.

### B) Lenguajes, Entornos y Herramientas de Programación.

Desde que la Inteligencia Artificial apareció como una disciplina con entidad propia se han diseñado numerosos lenguajes de programación y elementos afines para las diversas aplicaciones en este campo<sup>38</sup>. Con su utilización se ha propiciado que el desarrollo de programas propios del área no quede como una actividad reservada, en exclusivo, a técnicos o especialistas, permitiendo, además, que el mismo se efectúe de forma rápida y posibilitando el manejo de datos y expresiones cuya naturaleza no es exclusivamente numérica.

Con respecto a este periodo fueron los lenguajes de programación el elemento de desarrollo de programas preponderante. Algunos de los investigadores citados con anterioridad como Newell, Simon y Shaw desarrollaron, a partir del año 1956, el lenguaje IPL (Information Processing Language). Este fue el primer lenguaje que permitió el proceso de conceptos por ordenador. De él se han escrito sucesivas versiones, desde el IPL-I al IPL-V. Hay que apuntar también que dicho lenguaje fue el precursor directo de LISP, otro lenguaje mucho más conocido y utilizado. Inicialmente IPL fue concebido como un lenguaje para desarrollar un programa que jugase al ajedrez. Sin embargo, terminó siendo utilizado en la construcción del programa Logic Theorist ya mencionado.

Fue en el año 1958 cuando McCarthy y un equipo de colaboradores pertenecientes al MIT desarrollaron y dieron a conocer LISP. Se trata de un lenguaje funcional de alto nivel que durante bastante tiempo ha sido considerado como el lenguaje de programación para Inteligencia Artificial "por excelen-

---

<sup>36</sup> Para más detalles ver:

H. L. Gelernter, *Realization of a Geometry-Theorem Proving Machine*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), **Computers and ...**, op. cit., pp. 134-152.

<sup>37</sup> H. Wang (1960), *Toward mechanical mathematics*, **IBM Journal Research and Development**, vol. 4, pp. 2-22.

<sup>38</sup> A pesar de que en algunas ocasiones se haya discutido y puesto en entredicho el que se pueda hablar de lenguajes de programación específicos de Inteligencia Artificial, no parece desacertado hacer dicha referencia expresa dada la inadecuación e insuficiencia que presentan otros lenguajes convencionales para desarrollar algunas aplicaciones en este campo.

cia". Con posterioridad han sido muy numerosos los dialectos que de él han aparecido.

### C) Procesamiento del Lenguaje Natural.

Una vez aparecidos los primeros ordenadores sólo existían formas complejas de comunicarse con ellos para transmitirle ordenes e información. Hoy día, aunque se ha avanzado en la simplificación de este proceso, todavía no se ha alcanzado el grado de sencillez máximo deseable que es el que se emplea en la comunicación entre los seres humanos. Cuando una persona se comunica con otra utiliza, de forma sencilla, el lenguaje natural. De la misma forma si un ordenador pudiese comprender dicho lenguaje sería entonces factible transmitirle lo que quisiéramos que hiciese, realizar preguntas, suministrarle información y, en general, permitiría una interacción hombre-máquina muy simple y rápida. Con ello se lograría la obtención de ordenadores más convencionales y fáciles de manejar por parte de personas que no son especialistas en informática.

La comprensión y la generación del lenguaje son los dos componentes esenciales del procesamiento del lenguaje natural. Los mismos han sido el objetivo incorporado a los estudios en este área que se han concretado en diversos proyectos como las interfaces hombre-máquina, el tratamiento de textos, la traducción automática, sistemas de explotación de bases de datos, sintetización de la voz humana, identificación de la voz humana y verificación del locutor, etc.

Los primeros trabajos se centraron sobre la traducción automática. Inicialmente se crearon grandes expectativas acerca de los resultados y aplicaciones a obtener que, con posterioridad, no se vieron realizadas en el grado previsto. Aunque los intentos iniciales de traducción mecánica se remontan a la década de los años treinta, esta temática fue la estrella de las investigaciones en la década de los años cincuenta y gran parte de los sesenta. Los proyectos iniciales fracasaron debido, en gran manera, a la creencia de que la traducción era una cuestión meramente mecánica, sin que supusiera dificultad alguna para un ordenador. Sin embargo, una buena traducción se basa en una buena comprensión, siendo éste último concepto de difícil incorporación a un programa. Se pensó, en un principio, que la traducción de un idioma a otro se podría realizar utilizando un diccionario bilingüe además de aplicar las reglas gramaticales necesarias en cada momento. Si al ordenador se le suministraba información relativa a la sintaxis y el léxico de los dos idiomas en cuestión, sería factible la traducción de un idioma a otro. Sin embargo, dicho planteamiento no tuvo éxito y evidenció numerosos fallos y carencias. Incapacidad de resolver las ambigüedades sintácticas, problemas para captar los diversos significados de una palabra dependiendo del contexto en que la misma se encuentre, etc. Algunos sistemas de esta tipología aparecidos en esta época fueron: GAT (Georgetown Automatic Translation), el sistema creado en

el Centro de Estudios para la Traducción Automática (CETA) de Grenoble; TAUM<sup>39</sup> cuyo desarrollo fue hecho en la Universidad de Montreal, etc.

Los pobres resultados obtenidos hasta finales de la década de los sesenta, aparte de algún que otro informe negativo<sup>40</sup> al respecto, aconsejando la no financiación de este tipo de proyectos, hicieron que una mayoría de los investigadores en ese campo optaran por abandonarlo. La situación creada en este entorno llevó a algunos expertos a cambiar la filosofía de base que sustentaba sus investigaciones. En lugar de realizar una traducción del lenguaje utilizando el ordenador pensaron que sería, quizá más factible, el que el ordenador comprendiera el lenguaje en sí. Fruto de ese cambio en la orientación de los trabajos fue el hecho de que, en la década de los sesenta, apareciesen diversos programas habilitados para entender el lenguaje natural aunque con un nivel de capacitación no muy alto. Estos programas se circunscribían a diálogos sobre un campo de conocimiento reducido, aceptando y dando respuestas a preguntas correspondientes a distintos temas como, por ejemplo, problemas de álgebra de cierta complejidad (STUDENT<sup>41</sup> desarrollado por Bobrow); relaciones de parentesco (SAD-SAM)<sup>42</sup>; resultados de encuentros de béisbol (BASEBALL<sup>43</sup> creado por Green), etc. Dichas aplicaciones se servían de un terminal de teletipo para hablar y escuchar dado que, en realidad, no tenían capacidad de vocalizar u oír. Los resultados obtenidos con este tipo de programas fueron, no obstante, muy modestos.

#### D) Visión Artificial.

Son muchas las personas que mantienen la idea y la opinión de consi-

<sup>39</sup> Más detalles acerca del mismo en:

P. Isabelle y L. Bourbeau (1985), *TAUM-AVIATION: Its technical features and some experimental results*, **Computational Linguistics**, vol. 11, nº 1.

<sup>40</sup> Las grandes dificultades que encontraron los investigadores en el campo de la traducción automática, además de los pobres resultados obtenidos en los primeros trabajos, fueron el motivo para la aparición del informe ALPAC del National Research Council (USA), en el año 1966. En dicho informe se analizaba y concluían los malos resultados obtenidos en las distintas investigaciones llevadas a cabo hasta esa fecha y se aconsejaba la no financiación de más proyectos de traducción automática.

<sup>41</sup> Este sistema fue dado a conocer en el año 1964 cuando Bobrow publicó su Tesis Doctoral, pudiendo hacer frente a un número no muy amplio de expresiones en inglés básico. Más detalles se pueden encontrar en:

D. G. Bobrow, *Natural Language input for a Computer Problem-Solving System*, en M. L. Minsky (ed.), **Semantic Information ...**, op. cit., pp. 146-226.

<sup>42</sup> SAD-SAM es un programa que fue creado por Lindsay en 1963. Una descripción del mismo se puede encontrar en:

R. K. Lindsay, *Inferential Memory as the Basis of Machines Which Understand Natural Language*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), **Computers and ...**, op. cit., pp. 217-233.

<sup>43</sup> Este programa fue creado en el año 1960 en el MIT y podía responder cualquier pregunta relacionada sobre los datos que previamente se le habían introducido referentes a cada partido de béisbol jugado en una temporada de la liga americana. Para un estudio más en detalle ver: B. F. Green y otros, *BASEBALL: An Automatic Question-Answerer*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), **Computers and ...**, op. cit., pp. 207-216.

derar al ordenador como una herramienta de propósito general con la que poder resolver infinidad de cuestiones del mundo real. Por ello, no parece lógico pensar que éste pueda servirse, en el desempeño de su tarea, únicamente del estudio y manejo de la representación formal del problema a resolver. Con frecuencia, y en determinadas circunstancias mucho más, se puede comprobar la plena vigencia del dicho popular: una imagen vale más que mil palabras (representaciones), válido también en esta ocasión para el propósito planteado. Si de lo que se trata es que el ordenador sea capaz de afrontar y solucionar problemas de la realidad hay que intentar capacitarlo para que, cuando en determinadas aplicaciones sea necesario, pueda observarla<sup>44</sup>. Es por lo tanto ésta una condición (visión artificial) que, desde un principio, ya cobró gran importancia y que se constituyó como disciplina independiente sobre la que investigar. Aparte, destaca también como un componente cuyo concurso resulta trascendental para alcanzar el éxito en algunos proyectos más complejos donde se aplican técnicas de naturaleza diversa. También, a la hora de facilitar y mejorar la intercomunicación hombre-máquina, puede llegar a desempeñar un papel fundamental.

Para Barrow y Tenenbaum<sup>45</sup> la Visión Artificial se concreta en la percepción mediante ordenador de información visual sensorial. Con posterioridad, la misma se procesa siendo el objetivo último la comprensión de las escenas a partir de las imágenes proyectadas. A criterio de Torras<sup>46</sup> dos han sido las vertientes sobre las que se ha estado trabajando en este campo. Una, la científica de base, donde se ha desarrollado una labor de profundización en las bases y principios que subyacen a la visión. Otra, la puramente tecnológica, mediante la elaboración de instrumentos que permitan la resolución de un variado espectro de cuestiones con unos fundamentos más o menos comunes.

En este campo los resultados obtenidos a raíz de las primeras investigaciones fueron muy similares a los alcanzados en el caso de la comprensión

<sup>44</sup> Al contemplar esta posibilidad parece obvio que se está apuntando hacia un sistema con una configuración no convencional, es decir, el mismo además de contar con los componentes standard de cualquier ordenador común, dispone también de algunos otros elementos como son los periféricos (sensores visuales), imprescindibles para este tipo de aplicaciones. Además es básico el poder disponer de un programa gestor para la interpretación de todos los datos e informaciones recibidas desde el exterior.

<sup>45</sup> Un análisis más pormenorizado sobre este tema y su delimitación se encuentra en: H. G. Barrow y J. M. Tenenbaum (1981), *Computational Vision*, en **Proceedings of the IEEE**, May, vol. 69, nº 5, pp. 572-595.

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 124-321.

W. M. Gevarter, **Máquinas ...**, op. cit., pp. 93-118.

A. Sanfeliu, *Visión por Computador*, en J. Mompín (Coor.), **Inteligencia Artificial. Conceptos ...**, op. cit., pp. 193-205.

C. Torras, *Concepto y Perspectivas de la Visión por Computador*, en R. Valle Sánchez y otros (eds.), **Inteligencia Artificial. Introducción ...**, op. cit., pp. 85-103.

<sup>46</sup> C. Torras, *Concepto y Perspectivas de la Visión por Computador*, en R. Valle Sánchez y otros (eds.), **Inteligencia Artificial. Introducción ...**, op. cit., pp. 85-86.

del lenguaje natural. Así, desde un principio, los trabajos realizados han contado con diversos niveles de perfección en la concreción de las imágenes o escenas analizadas. En los estudios previos a los llevados a cabo en esta etapa el interés se centró, fundamentalmente, en el reconocimiento de formas bidimensionales. Dentro ya del periodo considerado, concretamente en 1958, un investigador de la Universidad de Cornell, Rosenblatt<sup>47</sup>, dio a conocer el Perceptron Mark I. Esta era una máquina de reconocimiento con la que se pretendía simular la visión humana permitiendo sólo decisiones de tipo binario (ceros o unos). Con posterioridad a su aparición se puso en evidencia que máquinas tan simples como ésta o como el Pandemonio<sup>48</sup>, creado en 1959 por Selfridge, estaban poco capacitadas para alcanzar los objetivos fijados. Seguía, por tanto, siendo necesaria una profundización de las bases teóricas sobre las que se sustentaban éstas.

Uno de los investigadores pioneros en este campo que ahora se analiza fue Roberts. Él se ocupó de estudiar el reconocimiento visual de un universo formado por bloques "Blocks Worlds"<sup>49</sup> en tres dimensiones. Además, otro programa<sup>50</sup> suyo del año 1965, fue uno de los primeros en poder realizar lo que se conoce como un análisis de escenas. Dicho sistema empleaba métodos numéricos y era capaz de reconocer, de forma aceptable, un entorno compuesto por elementos con diversas formas: sólidos rectangulares, figuras piramidales, cuadradas, o combinaciones de todas ellas. Dicho programa se

---

<sup>47</sup> Para más detalles acerca de este dispositivo ver:

M. Minsky y S. Papert (1969), *Perceptrons*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.

F. Rosenblatt (1957), *The Perceptron: a perceiving and recognizing automation*, New York, Cornell Aeronautical Laboratory.

F. Rosenblatt (1962), *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Washington, Spartan Books.

<sup>48</sup> Este fue otro sistema creado para tratar el problema del reconocimiento de patrones.

<sup>49</sup> Bastantes resultados de los obtenidos a través de los estudios realizados inicialmente en este área tuvieron su formulación y deducción en el contexto de los denominados Mundos de Bloques (Blocks Worlds). Este tipo de contorno permitía reducir la variedad de cuerpos a analizar mediante la aplicación de supuestos explícitos acerca de la estructura física del mundo. De esta forma los supuestos aplicados limitaban la tipología de vértices a detectar en una superficie, suponiendo esto también una limitación de las tipologías de objetos que podían diferenciarse en un análisis. Un ejemplo de este planteamiento lo constituye el análisis de escenas compuestas por poliedros denominado "Trihedral World", desarrollado a partir de 1971 por Huffman y Clowes. El mismo incorporaba un conjunto de figuras geométricas de tres caras que confluyen en distintos vértices. En definitiva se trató de una simplificación de la realidad cuyo objetivo fue facilitar el desarrollo y la ejecución de los trabajos iniciales en este campo.

<sup>50</sup> Citado por G. L. Simons, *Inteligencia ...*, op. cit., p. 138.

Consultar además:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 139-142.

L. G. Roberts, *Machine Perception of Three-Dimensional Solids*, en J. T. Tippett y otros (eds.) (1965), *Optical and Electro-Optical Information Processing*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, pp. 159-198.

basaba en la incorporación de conocimiento detallado sobre geometría proyectiva de las estructuras tridimensionales que esperaba encontrar representadas a través de figuras de dos dimensiones<sup>51</sup>, considerando además las posibles distorsiones causadas por la perspectiva. Son precisamente los trabajos llevados a cabo por Roberts los que han influido en investigaciones realizadas con posterioridad. Este es el caso del programa SEE que fue desarrollado por Guzman en 1968.

Para finalizar añadir que Minsky<sup>52</sup> fue quien, a mediados de esta década de los sesenta, estudió y analizó el problema genérico de descripción de la estructura de las imágenes.

#### E) Aprendizaje Automático.

La facultad de aprender es, indudablemente, una característica destacada de lo que siempre se ha considerado como un ser inteligente. Por ello, ésta es una capacidad (habilidad) que durante bastante tiempo se ha reconocido como ausente e inalcanzable para los ordenadores. No obstante se podría afirmar, sin demasiado riesgo a incurrir en error, que el haber demostrado mediante logros lo contrario a lo que en un principio se pensó, ha sido una de las aportaciones más sobresalientes de la investigación en Inteligencia Artificial. Y es que, verdaderamente, los ordenadores pueden aprender mediante la aplicación de diversas técnicas o métodos de aprendizaje. También hay que reconocer que, en la actualidad, aún no se dispone de una teoría general sobre el aprendizaje automatizado ni, tan siquiera, de una base conceptual clara. Únicamente se cuenta, como ya se refirió antes, con técnicas concretas para aplicaciones muy definidas.

La diversidad de programas desarrollados en esta parcela ha sido tan amplia como los tipos de aprendizaje identificados<sup>53</sup> y las definiciones que de

<sup>51</sup> El sistema se apoyaba en modelos explícitos para determinar qué cuerpos o figuras tridimensionales podía encontrarse representados en una imagen de dos dimensiones.

<sup>52</sup> Una descripción acerca del mismo puede ser encontrada en:  
M. L. Minsky, *Steps Toward Artificial Intelligence*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), *Computers and ...*, op. cit., pp. 406-450.

<sup>53</sup> Para un conocimiento más profundo sobre toda esta temática, aprendizaje y sus distintas categorías, se aconseja consultar:

M. A. Boden, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 319-383.

E. Castillo Ron y E. Alvarez Sainz (1989), *Sistemas Expertos. Aprendizaje e incertidumbre*, Madrid, Ed. Paraninfo, pp. 187-209.

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 323-511.

J. Cuenca y otros, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 111-143.

D. B. Lenat y otros (1979), *Cognitive Economy in Artificial Intelligence*. Report N° HPP-79-15, Heuristic Programming Project, Stanford, Computer Science Department, Stanford University.

J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...*, op. cit., pp. 141-154.

J. Mochón y otros, *Inteligencia Artificial: evolución histórica y ...*, op. cit., pp. 71-77 y 433-440.

G. L. Simons, *Introducción a la ...*, op. cit., pp. 94-98.

este concepto se han dado. Según Maté y Pazos<sup>54</sup>: Se puede decir que existen casi tantas definiciones de aprendizaje como autores se han dedicado al tema. Es además constatable el hecho de que aún no se ha podido efectuar una homogeneización precisa ni en la denominación de las clases ni, incluso, en el contenido de las distintas categorías a las que los expertos hacen referencia en los trabajos aparecidos sobre esta materia. Es por ello que también, en este caso, no se hará referencia expresa a una clasificación concreta, citando las distintas tipologías de aprendizaje en función de la reseña hecha en la descripción original consultada de cada uno de los programas o sistemas de los que se hace mención. Lo que sí se puede diferenciar claramente son los tres ciclos<sup>55</sup> o etapas concretas por las que transcurrieron las investigaciones llevadas a cabo sobre esta materia. El primero estaba orientado a la consecución de sistemas inteligentes capaces de interaccionar, de forma limitada, con su entorno y de organizarse a sí mismos para permitirles la adaptación al contexto cambiante en el que se encuentran. Por desgracia, este tipo de planteamientos resultó, dadas las limitaciones teóricas de la época, excesivamente pretencioso y los resultados obtenidos por los diversos programas creados con este propósito fueron escasos. El segundo ciclo se caracterizó por una modificación en los planteamientos y una nueva concepción de los sistemas de aprendizaje por parte de los investigadores. La atención se centró en el análisis profundo de las distintas facetas que tienen que ver con esta cuestión aunque concentrándose sobre problemas no excesivamente complejos. El tercero estuvo muy influenciado por la aparición en escena de los sistemas expertos, teniendo las investigaciones que de ello se derivaron relación con áreas muy diversas de la Inteligencia Artificial.

Los primeros intentos para obtener programas con capacidad para aprender se remontan a principios de la década de los sesenta. Sistemas como el Perceptron de Roseblatt (clasificador de imágenes con cierta capacidad para el aprendizaje) o el Pandemonio de Selfridge (sistema para el reconocimiento de patrones) son claros ejemplos. Otras aportaciones aparecidas en este periodo son las correspondientes a los siguientes programas: el simulador de un proceso neurótico concebido por Colby<sup>56</sup> en 1962, el cual sería una muestra de programas que incorporan la técnica de aprendizaje

---

<sup>54</sup> J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, *Ingeniería del Conocimiento ...*, op. cit., p. 142.

<sup>55</sup> Esta división en tres ciclos, que se hace del conjunto de investigaciones relacionadas con el aprendizaje automático, no es coincidente en el tiempo con la disposición histórica que en este capítulo se ha planteado.

<sup>56</sup> Para más detalles del programa consultar:

K. M. Colby, *Computer Simulation of a Neurotic Process*, en S. S. Tomkins y S. Messicks (eds.) (1963), *Computer Simulation of Personality: Frontier of Psychological Research*, New York, Wiley, pp. 165-180.

J. M. Colby y J. P. Gilbert (1964), *Programming a Computer Model of Neurosis*, *Journal of Mathematical Psychology*, nº 1, pp. 405-417.

mediante el ejemplo; BASEBALL concebido por Green, que desarrolla una tarea de aprendizaje basada también en ejemplos; el programa de damas CHECKERS, creado por Samuel<sup>57</sup>, en el que se incorporaba un tipo de aprendizaje rutinario. El mismo, recuerda y se apoya en los logros y éxitos que ha tenido en partidas anteriores, mejorando así, consecutivamente, su técnica de juego. Por ello, está considerado por todos como uno de los mejores programas de aprendizaje de entre los primeros que surgieron.

#### F) Programación Automática.

Se puede afirmar que, hasta el momento presente, gran parte del software utilizado en multitud de actividades diversas ha sido producido de forma artesanal. Por ello, durante bastante tiempo, los equipos de desarrollo y en general las empresas dedicadas a la creación de software, se han esforzado en obtener programas cada vez de más alta calidad y sofisticación. Con este objetivo como meta los programadores han concebido herramientas con las que apoyar la especificación, el diseño, la codificación y la verificación del software producido. Igualmente, se han hecho grandes esfuerzos encaminados a la mejora de las interfaces hombre-computador, de modo que posibiliten y faciliten la comunicación con los usuarios. Sin embargo, nada de esto se podrá comparar al considerable aumento de la productividad en las distintas etapas de la programación, que se podría lograr con la automatización de esta tarea.

La idea de automatizar el proceso de creación de un programa de ordenador no es nueva. En las etapas iniciales del surgimiento de la informática se designaba con el término "programación automática" al proceso de creación de un programa utilizando, para ello, un lenguaje de alto nivel y un compilador que volcase la redacción original del programa, en el lenguaje fuente, al lenguaje máquina directamente inteligible por ella. De hecho, se suele considerar a las investigaciones llevadas a cabo sobre los compiladores como uno de los primeros esfuerzos realizados en este campo. Tanto es así que, al primer compilador de Fortran aparecido se le catalogó como un sistema de programación automática<sup>58</sup>. Sin embargo, la concepción de lo que es la programa-

<sup>57</sup> A. L. Samuel comenzó la programación de juegos de damas trabajando en el ordenador IBM 701. En el año 1952 traspasó el programa al ordenador IBM 704, empezando a desarrollar a partir de 1955 la capacidad de aprender del mismo. Para más detalles acerca de esto ver: T. Hartnell (1986), *Inteligencia Artificial: Conceptos y Programas*, Madrid, Anaya Multimedia, pp. 27-28.

A. L. Samuel, *Some Studies in Machine Learning Using the game Checkers*, en E. A. Feigenbaum y J. Feldman (eds.), *Computers and ...*, op. cit., pp. 71-105.

A. L. Samuel, *Some Studies in Machine Learning Using the Game Checkers. II- Recent progress*, en F. J. Crosson (ed.) (1970), *Human and Artificial Intelligence*, New York, Appleton Century Crofts, pp. 81-116.

<sup>58</sup> Es quizá conveniente apuntar en este momento, para concretar de forma clara las características definitorias de este tipo de sistemas, sus rasgos más importantes. Estos son:

ción automática ha evolucionado desde entonces. Por ejemplo, más recientemente, Barr y Feigenbaum<sup>59</sup>, al referirse a ella, la definen como (...) la automatización de alguna parte del proceso de programación. Con la misma intención se han pronunciado otros investigadores como Hammer y Ruth<sup>60</sup>, Balzer<sup>61</sup>, Biermann<sup>62</sup>, etc. A pesar de que no exista, por el momento, un consenso a la hora de concretar una definición para la automatización de la programación y una delimitación clara de su contenido y alcance, sí que se puede intentar apuntar una idea, aunque genérica, sobre lo que deberán ser capaces de hacer tales sistemas. Dadas las peculiaridades que caracterizan el desempeño de esta tarea, parece lógico pensar que los sistemas que se conciben para desarrollarla deberán contar con una estructura básica que permita integrar el lenguaje natural (para facilitar la interacción usuario-sistema) junto a bases de conocimiento (sobre el dominio en cuestión) y módulos que incorporen capacidad de inferencia con sistemas cognitivos. Dado que la programación automática<sup>63</sup>, entendida en este sentido como automatización plena (no parcial) del proceso de programación, no está aún conseguida, sí se dispone ya de

---

(continuación de nota 58)

Poseer algún método formal de especificación al sistema del programa que se desea obtener. Este puede ser muy bien algún lenguaje de programación de alto nivel, algunos ejemplos o el mismo lenguaje natural.

Disponer de lo que se denomina Lenguaje Objeto, que es el utilizado por el sistema para escribir la versión definitiva del programa.

Disponer de un espacio para el problema. El mismo deberá estar relacionado con la aplicación.

Poseer un método de operación para el desarrollo de la aplicación. Algunos de los sistemas actuales de programación automática emplean diversos métodos: ingeniería del conocimiento, inducción formal, estructuración de programas, demostración de teoremas, etc.

<sup>59</sup> A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 2, p. 297.

<sup>60</sup> M. Hammer y G. Ruth, *Automating the software development process*, en P. Wegner (ed.) (1979), *Research directions in software technology*, Cambridge (Mass.), MIT Press, pp. 767-792.

<sup>61</sup> R. M. Balzer, *A global view of automatic programming*, en *Third International Joint Conference on ...*, op. cit., pp. 494-499.

<sup>62</sup> A. W. Biermann, *Approaches to automatic programming*, en M. Rubinoff y M. C. Yovits (eds.) (1976), *Advances in computers*, New York, Academic Press, vol. 15, pp. 1-63.

<sup>63</sup> A pesar de que Barr y Feigenbaum conciben la programación automática como la automatización de alguna parte del proceso de programación, consideran además que su trascendencia e importancia, en el ámbito de la Inteligencia Artificial, alcanza unos límites que van más allá de lo que sería el simple apoyo a la tarea desempeñada por los programadores. De esta forma, según ellos, casi todos los estudios e investigaciones que se llevan a efecto dentro del marco de la Inteligencia Artificial se pueden considerar, de alguna manera, una búsqueda de métodos adecuados para automatizar la programación (la obtención de software aplicado a múltiples contextos). Según ellos, una cuestión trascendental en el campo de la programación automática se centra, como objetivo, en el desarrollo de la capacidad de entender y poder razonar convenientemente los programas. Esta es además una cuestión trascendental para la Inteligencia Artificial en su conjunto.

Si se desea profundizar más en este planteamiento es conveniente consultar:

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 2, pp. 297-305.

algunas herramientas de programación, basadas en su mayoría en sistemas expertos, que automatizan ciertas etapas del proceso de desarrollo de un programa.

Lo cierto es que esta actividad no tuvo un excesivo desarrollo en este primer periodo dado que el grueso de las investigaciones se llevaron a efecto a partir de la década de los setenta. No obstante, fue a partir del año 1963 cuando, por parte de algunos investigadores como Simon<sup>64</sup>, se realizaron los primeros intentos verdaderamente orientados a la aplicación de la Inteligencia Artificial en la síntesis automática de programas, siendo ésta una de las líneas de trabajo que se han seguido para lograr la automatización programática. Las otras líneas de actuación se han orientado básicamente a la obtención de sistemas inteligentes para apoyar la tarea de programar y la comprobación (verificación) automatizada de programas.

### G) Representación del Conocimiento.

A pesar de la gran importancia y trascendencia que este área posee hoy día dentro del campo de la Inteligencia Artificial, la misma no se presentó, cuando surgieron los primeros sistemas inteligentes, como una disciplina claramente diferenciada del resto de las que conformaban aquella y ni siquiera se la consideraba como una materia relevante de por sí. A pesar de ello, en este periodo sí aparecen ya algunas manifestaciones de la inquietud y el interés que sobre estas cuestiones han tenido siempre los científicos en general y los investigadores de Inteligencia Artificial en particular.

En la década de los sesenta se empieza a apuntar ya la posibilidad de utilizar la lógica<sup>65</sup> como un formalismo de representación con aplicación al co-

<sup>64</sup> H. A. Simon (1963), *Experiments with a heuristic compiler*, *Journal of the Association Computing Machinery*, vol. 10, nº 4, pp. 493-506.

<sup>65</sup> La lógica formal, cuyo origen y formulación original data de la época de los antiguos griegos, está considerada como uno de los modelos clásicos y tradicionales en la representación del comportamiento racional, habiendo sido utilizada para múltiples propósitos y en diferentes ámbitos. En el caso concreto de la Inteligencia Artificial, su uso se ha popularizado debido a la posibilidad de obtener con gran precisión, mediante reglas de inferencia, nuevos conocimientos a partir de otros precedentes. Los programas inteligentes que emplean la lógica como alternativa de representación permiten una disposición del conocimiento como un conjunto de fórmulas lógicas.

El cálculo de predicados, ampliación realizada del cálculo proposicional, es el sistema de lógica formal utilizado en la mayoría de este tipo de sistemas. El mismo contiene una serie de reglas semánticas con las que se pueden conformar enunciados lógicos válidos. La variante denominada cálculo de predicados de primer orden (lógica de primer orden), que añade funciones y otra serie de peculiaridades analíticas, es la que con mayor profusión se ha empleado. Sobre las características fundamentales de este método de representación y sus posibles aplicaciones existe una amplia bibliografía. Aquí se recogen sólo algunos trabajos que es conveniente consultar:

J. H. Gallier (1986), *Logic for Computer Science: Foundations of Automatic Theorem Proving*, New York, Harper & Row.

R. Kowalski (1986), *Lógica, programación e inteligencia artificial*, Ed. Díaz de Santos S. A.

nocimiento. Este planteamiento tuvo su origen en los trabajos que en ese momento se desarrollaban sobre procesos de demostración automática de teoremas.

#### H) Robótica.

Es cierto que el ser humano se ha sentido siempre atraído por la posibilidad de contar con otros seres no humanos, una especie de ingenios o artefactos, que incorporasen la capacidad de razonar y otras cualidades formidables propias del hombre. Quizá, por ello, sean numerosas las referencias que sobre los mismos se han hecho en obras literarias de diversas épocas. En la mayoría de los casos se trataba de ingenios hábiles y capaces para ejecutar tareas de muy diversa índole y naturaleza. Todo ello, no obstante, fue fruto del ingenio y la pluma de escritores que, como en otras muchas ocasiones, vaticinaron fenómenos y acontecimientos futuros que en el momento que les tocó vivir quedaban relegados a ser mera ficción.

En un ámbito más real y desde que apareció, en el año 1959, la configuración definitiva del primer modelo de robot<sup>66</sup> explotable comercialmente, se ha asistido a toda una sucesión de cambios y transformaciones no tanto en la configuración misma del concepto y sí en los distintos planteamientos, a nivel práctico, que del mismo se han intentado hacer. Centrando la atención sobre la parte de la robótica que tiene relación con la Inteligencia Artificial, dado lo multidisciplinar de la misma, los esfuerzos se encaminaron, desde un principio, hacia la consecución de sistemas (robots) inteligentes capaces de percibir e interpretar todo aquello que les rodea; de aprender, razonar y tomar iniciativas propias para reaccionar adaptándose al medio cambiante. De esta forma no se verán abocados a tener que desenvolverse siempre en un mismo contexto.

---

(continuación de nota 65)

Traducido al castellano de la obra **Logic for Problem Solving**, publicada por Elsevier Science Publishers B. V., (1979).

G. F. Luger y W. A. Stubblefield, **Artificial Intelligence and ...**, op. cit., pp. 41-75.

Z. Manna y R. Waldinger (1985), *The Logical Basis for Computer Programming, Deductive Reasoning*, vol. 1, Reading (Mass.), Addison-Wesley.

H. C. Mishkoff, **A Fondo: Inteligencia Artificial ...**, op. cit., pp. 175-176.

N. J. Nilsson (1971), **Problem-solving methods in AI**, New York, McGraw-Hill.

H. Pospelov (1976), **Introduction to Logic: Predicate Logic**, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall.

J. A. Robinson, *Fundamentals of machine-oriented deductive logic*, en D. Michie (ed.) (1982), **Introductory Readings in Expert Systems**, New York, Gordon and Breach, Inc., pp. 81-92.

P. Suppes (1957), **Introduction to Logic**, New York, Van Nostrand Reinhold.

<sup>66</sup> Para la Robotic Industries Association un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados mediante movimientos programados para una gran variedad de tareas.

La cita se ha tomado de la obra:

W. M. Gevarter, **Máquinas ...**, op. cit., p. 177.

Fueron numerosas las investigaciones en el ámbito teórico que con la aplicación de técnicas inteligentes se llevaron a cabo durante la década de los sesenta. Éstas formaron parte de diversos proyectos sobre robots que tuvieron su desarrollo en instituciones como son la Universidad de Stanford (algunos estudios de McCarthy), el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el Stanford Research Institute, el Instituto de Robótica de la Universidad Carnegie-Mellon, la Universidad de Edimburgo, etc. El objetivo fundamental de tales investigaciones se centró en el estudio de cómo dotar a los robots con toda una serie de facultades que le permitiesen percibir y entender su entorno, determinando su posición y respondiendo adecuadamente a los cambios que en el mismo se produjesen para permitirle así la adaptación a las diferentes circunstancias operativas en el desempeño de una tarea.

### 1) Sistemas Expertos.

Este primer ciclo estuvo caracterizado por un contexto donde se alcanzó, en términos generales, un cierto nivel en el tratamiento y la resolución de problemas elementales o de otros, no excesivamente complejos, para los que en última instancia se podía lograr una representación apropiada mediante la realización de una adecuada estructuración de los mismos. Para ello, se dispuso de un conjunto de métodos y técnicas de resolución de propósito general que, sin embargo, no respondieron convenientemente en su aplicación a casos reales mucho más complejos y donde, además, la resolución planteaba inconvenientes muy serios dado lo inadecuado de las técnicas (software) y el equipo (hardware) a emplear. Dada esta situación se supuso que una forma apropiada para afrontar la resolución de estos otros problemas podría ser la de mejorar y refinar los métodos de búsqueda ya existentes, dotándolos de toda una serie de técnicas heurísticas (formulaciones que incorporaban la experiencia de las personas sobre un dominio concreto) con las que poder superar algunas de las dificultades que se habían presentado con anterioridad. Las previsiones, en un gran número de casos, no se cumplieron en su totalidad debido, fundamentalmente, a las nefastas consecuencias de la denominada explosión combinatoria derivada de la aplicación de técnicas de búsqueda exhaustiva. Fue este el momento y el hecho que hizo cambiar a los investigadores la forma de concebir tal cuestión. Se pensó en poner un énfasis mayor sobre la incorporación y el manejo de los conocimientos disponibles, en relación con el problema a resolver, más que en las técnicas o métodos de resolución (inferencia, búsqueda, etc.) a emplear para ello.

Como fruto de la evolución seguida en todos estos planteamientos de base se da el hecho de que, a partir de 1965, se inician en la Universidad de Stanford los trabajos de investigación relativos a sistemas expertos basados en reglas. Más concretamente dio comienzo el desarrollo del Proyecto de Programación Heurística (HPP). En ese mismo año Lederberg, Feigenbaum y Buchanan<sup>67</sup> se propusieron la concepción de un sistema que, utilizando

heurísticos, produjese resultados similares a los de uno algorítmico pero con mayor rapidez. De esta forma, y basándose en el algoritmo desarrollado por Lederberg en 1965, comenzaron el diseño del programa heurístico DENDRAL. Éste es considerado, por una mayoría de especialistas, como el primer sistema experto aparecido en la historia de la Inteligencia Artificial, si bien hay que reconocer que su modo de trabajar estaba más en la línea de lo que se conoce como resolución automática. El desarrollo del programa continuó a cargo de un grupo de investigación de la Universidad de Stanford, en la década de los setenta, completándose la construcción inicial con programas adicionales e incluso reformulándose por completo en un nuevo programa que se llamó Meta-DENDRAL (1978), además de aparecer multiplicidad de programas derivados del original.

Entrando, aunque de forma somera, en algunos detalles, DENDRAL<sup>68</sup> es un sistema experto con aplicaciones en química<sup>69</sup>, programado en LISP y diseñado para llevar a cabo el examen de un análisis espectroscópico realizado sobre una molécula desconocida. En definitiva, ayuda a los químicos a identificar la estructura molecular de una sustancia desconocida. Uno de los grandes avances del planteamiento heurístico de DENDRAL fue la sustitución del riguroso método algorítmico por otro más rápido y económico. El programa heurístico alcanzó dicho objetivo complementando el algoritmo con reglas derivadas de los conocimientos de especialistas en química con experiencia en espectrografía de masas. Por último reseñar que quizá la aportación más importante de DENDRAL en el área de la Inteligencia Artificial fue, dado su éxito, el hecho de que muchas personas tuvieran que admitir la viabilidad y utilidad de los sistemas expertos, lo que sirvió, a su vez, para impulsar posteriores investigaciones en el campo de la Ingeniería del Conocimiento y en el desarrollo de otros sistemas expertos.

---

<sup>67</sup> Buchanan, Feigenbaum y Lederberg constituían a finales de los sesenta un equipo de investigación que desarrollaba sus trabajos en la Universidad de Stanford. Con posterioridad crearon el Laboratorio de Sistemas de Conocimiento en dicho centro.

<sup>68</sup> Detalles sobre la concepción de DENDRAL y Meta-DENDRAL se encuentran en:  
B. G. Buchanan y E. A. Feigenbaum (1978), *DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their applications dimension*, *Artificial Intelligence*, vol. 11, nº 1 y 2, pp. 5-24.  
B. G. Buchanan y otros, *Heuristic DENDRAL: A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry*, en B. Meltzer y D. Michie (eds.) (1969), *Machine Intelligence*, Edinburgh, Edinburgh University Press, vol. 4, pp. 209-254.  
B. G. Buchanan y otros (1976), *Applications of Artificial Intelligence for chemical inference. XXII Automatic rule information in mass spectrometry by means of the Meta-DENDRAL program*, *Journal of the American Chemical Society*, nº 98, pp. 6168-6178.  
R. K. Lindsay y otros (1980), *Applications of Artificial Intelligence for organic chemistry: The DENDRAL project*, New York, McGraw-Hill.

<sup>69</sup> Para más detalles acerca de otros sistemas expertos dentro de este mismo área como: CONGEN, CRYNALIS, LAHSA, SECS y SYNCHEM, ver:  
G. L. Simons, *Los ordenadores de ...*, op. cit., pp. 125-128.

### 2.2.2 Segunda Etapa (1965-1975).

Tras un primer periodo en el que se levantaron grandes expectativas y se alimentaron esperanzas, de una forma un tanto desmesurada en cuanto a la celeridad y trascendencia de los avances que se iban a dar en este campo, se pasó a un segundo en el que los pobres resultados obtenidos, muy distantes de lo prometido, desencadenaron una profunda desilusión y desconfianza hacia todo lo relacionado con la Inteligencia Artificial. Ante esta situación no faltaron las opiniones que consideraban a ésta como algo sin valor, sencillamente inútil<sup>70</sup>, e incluso se la llegó a catalogar como ciencia o arte esotérico. El resultado de todo este acontecer fue que la investigación en Inteligencia Artificial se redujo a una serie de grupos de trabajo concentrados en varias universidades y con apoyo financiero procedente, en su mayoría, de subvenciones gubernamentales. En palabras de Cuenca<sup>71</sup>, ésta fue la época (...) en que se desarrollaron proyectos más complejos pero todavía limitados a laboratorios (...).

Resaltar, sin embargo, como resultado de todas estas investigaciones, la aparición de diversos conceptos y aplicaciones en la informática convencional muy utilizadas a partir de esta época. Como ejemplo de ello están los expositorios gráficos, los procesadores de texto, las interfaces de usuario con prestaciones diversas o el proceso denominado tiempo compartido<sup>72</sup> (time sharing), éste último contribución importante a la informática hecha por McCarthy.

A lo largo de este periodo hay que reconocer, no obstante y a pesar del desánimo reinante, el hecho de que se avanzó bastante en el conocimiento de la naturaleza de la Inteligencia Artificial, fijándose, además, gran parte de la teoría que sustentó desarrollos posteriores en esta disciplina. Conviene reflejar también el hecho de la aparición, por primera vez, de los entornos de desarrollo<sup>73</sup>, los cuales permitieron mejorar y avanzar en la producción y obtención de programas más avanzados y completos. En esta segunda etapa destacaron tres campos sobre los que se concentraron los esfuerzos de investi-

<sup>70</sup> Un caso representativo de este tipo de opiniones se recoge en el informe emitido en el año 1973 por Sir James Lighthill en Gran Bretaña. En él se afirmaba que los trabajos de investigación en el campo de la Inteligencia Artificial eran algo sin valor ni provecho, no mereciendo recibir el apoyo ni la financiación gubernamental. Gracias al mismo, todo el grueso de equipos dedicados a la investigación en Inteligencia Artificial llevada a cabo en este país vio dificultada su labor, sufriendo, por ende, un revés importante.

<sup>71</sup> J. Cuenca y otros, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., p. 11.

<sup>72</sup> Es una técnica que permite compartir el tiempo de trabajo de un ordenador entre varias tareas, conmutando entre ellas de forma que cada una aparenta disponer al cien por cien del mismo. La referencia inicial a este proceso fue hecha por Strachey.

<sup>73</sup> Con este nombre se suele hacer referencia a determinados elementos (herramientas) que facilitan la creación de sistemas de Inteligencia Artificial. Su composición incluye, normalmente, un lenguaje de programación y una serie de utilidades o programas los cuales aceleran y facilitan la generación de aquellos.

gación: la visión artificial, la comprensión del lenguaje natural y la representación del conocimiento. Junto con ellos se repasarán también algunos otros en los que se llevarán a cabo estudios y realizaciones de interés que no conviene pasar por alto.

#### A) Resolución Automática de Problemas y Planificación.

Fueron varios los trabajos importantes centrados en este área y que tuvieron su origen en la etapa de la que ahora nos ocupamos. En el año 1971 los investigadores Fikes, Hart y Nilsson desarrollaron en el Instituto de Investigación de Stanford uno de los primeros sistemas de resolución de problemas, el programa STRIPS<sup>74</sup>. Este programa podía resolver una variedad importante de problemas y fue ideado para ser implementado en el robot SHAKEY como elemento que determinaba y delimitaba las evoluciones del mismo. STRIPS es un resolutor encuadrado en lo que se ha dado en llamar planificación no jerárquica<sup>75</sup>, incorporando la búsqueda heurística como enfoque de la planificación. Tres años más tarde, en 1974, Sacerdoti realizó una modificación de STRIPS que denominó ABSTRIPS<sup>76</sup>, siendo esta nueva ver-

<sup>74</sup> Detalles acerca de este programa se pueden localizar en:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 523-530.

R. E. Fikes y N. J. Nilsson (1971), *STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving*, *Artificial Intelligence*, vol. 2, nº 3 y 4, pp. 189-208.

R. E. Fikes y otros (1972), *Learning and executing generalized robot plans*, *Artificial Intelligence*, vol. 3, nº 4, pp. 251-288.

P. Jackson, *Introduction to Expert ...*, op. cit., pp. 65-71.

N. J. Nilsson, *Principios de ...*, op. cit., pp. 249-275.

<sup>75</sup> Dos métodos o estrategias utilizadas para planificar la resolución de un problema son las denominadas planificación jerárquica y planificación no jerárquica.

La primera se consigue desarrollando un plan nivel por nivel (subplanes). Ésto, permite que los planes especificados en cada nivel sean de una longitud razonable y adecuada. Este método genera una jerarquía de representaciones del plan en la que la representación más elevada es una abstracción o simplificación del mismo y la más baja de todas un plan detallado de resolución paso a paso. La importancia que tienen los métodos jerárquicos en la resolución de problemas muy complejos es incuestionable.

La segunda, no jerárquica, tiene una sola representación del plan. Ambos tipos, sin embargo, generan planes con una estructura jerárquica de submetas. Para un estudio más pormenorizado de esta cuestión ver:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 516-519.

N. J. Nilsson, *Principios de ...*, op. cit., pp. 247-321.

E. D. Sacerdoti (1979), *Problem Solving Tactics, Technical Note 189*, Menlo Park (Ca.), SRI International, Inc. Reseñado en el libro de P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, p. 522.

M. J. Stefik (1980), *Planning with Constrains*, (Doctoral Dissertation), Report nº 80-784, Computer Science Department, Stanford University. Reseñado en el libro de P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, p. 522.

<sup>76</sup> Consultar, para un estudio más profundo, los trabajos:

M. A. Boden, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 458-461.

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 523-530.

N. J. Nilsson, *Principios de ...*, op. cit., pp. 313-316.

E. D. Sacerdoti (1974), *Planning in a hierarchy of abstraction spaces*, *Artificial Intelligence*, vol. 5, nº 2, pp. 115-135.

sión mucho más eficaz que la primera en la resolución de problemas complejos. Esta remodelación de STRIPS llevaba a cabo una planificación jerárquica e incorporaba como novedad y mejora, con respecto a otros sistemas anteriores, el estar capacitada para discernir entre los elementos esenciales y secundarios de un plan, evitando así el emplear excesivo tiempo y recursos en analizar detalles de poca importancia y trascendencia para la resolución de la cuestión. Algunas variantes más de estos sistemas de resolución fueron RSTRIPS (basado en un sistema ideado por Warren<sup>77</sup> y Waldinger<sup>78</sup>), DCOMP (basado en sistemas como NONLIN de Tate<sup>79</sup> y algún otro desarrollo de Sacerdoti<sup>80</sup>).

Un programa con notables influencias del ya comentado STRIPS y conocido con el nombre de HACKER<sup>81</sup> fue desarrollado en el MIT por Sussman a partir del año 1973. Aunque el mismo se creó como un sistema capaz de adquirir y hacer suyas determinadas habilidades o capacidades, también resulta interesante estudiarlo dentro del contexto de la planificación debido, fundamentalmente, a que los procedimientos desarrollados en él para la resolución de problemas adoptan la forma de planes, constituyendo el seguimiento en detalle de los mismos un método de resolución bastante útil y aprovechable. Además, conviene resaltar el hecho de que en él se incorpore, a la hora de abordar cuestiones relacionadas con las interferencias entre

<sup>77</sup> D. H. D. Warren (1974), **WARPLAN: A system for generating plans**. Memo 76, Edinburgh, Department of Computational Logic, School of Artificial Intelligence, University of Edinburgh.

<sup>78</sup> R. J. Waldinger, *Achieving several goals simultaneously*, en E. Elcock y D. Michie (1977), **Machine Intelligence**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood.

<sup>79</sup> Ver para más detalles:

A. Tate (1976), **Project Planning Using Hierarchic Non-linear Planner**, Research Report n° 25, Edinburgh, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh.

A. Tate (1977), *Generating project networks*, **Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (2 vol.)**, Cambridge (Mass.), MIT, August 22/25, pp. 888-893.

<sup>80</sup> Información adicional acerca del sistema se puede consultar en:

E. D. Sacerdoti (1975), *The non linear nature of plans*, **Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Tbilisi, USSR, September 3/8, pp. 206-214.

E. D. Sacerdoti (1977), **A Structure for Plans and Behavior**, New York, Elsevier Science Publishers B. V.

<sup>81</sup> Detalles acerca de su constitución y funcionamiento se encuentran en:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 531-535.

G. J. Sussman (1973), **A Computational Model of Skill Acquisition**, (Doctoral Dissertation), AI Technical Report 297. Artificial Intelligence Laboratory, MIT. Reseñado en el libro de P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, p. 583.

G. J. Sussman (1975), **A computer model of skill acquisition**, New York, Elsevier Science Publishers B. V.

C. Torras, *Planificación para la resolución de problemas*, en J. Mompín, **Inteligencia Artificial ...**, op. cit., pp. 63-65.

subobjetivos<sup>82</sup> en la ejecución de una determinada tarea, la hipótesis de linealidad<sup>83</sup>. HACKER pertenece, igualmente, a la tipología de planificación antes reseñada, es decir, la planificación no jerárquica. También en 1973 apareció LAWALY<sup>84</sup>, cuyos creadores fueron Siklóssy y Dreussi. Dicho programa se caracterizaba por establecer una jerarquía de subtareas en la resolución. Otro investigador, Fahlman, creó el programa BUILD<sup>85</sup>. Se trataba de un resolutor de problemas que aplicaba búsqueda heurística con vuelta atrás si no se alcanzaba el resultado previsto utilizando, en el desempeño de su tarea, estrategias muy cercanas a las empleadas por el sentido común. Éste poseía además una potencia de planificación bastante apreciable. En el año 1974 Tate inició en la Universidad de Edimburgo el desarrollo de INTERPLAN<sup>86</sup> (Planificador Interactivo), que resultó ser un programa de planificación no jerárquica orientado a la resolución de problemas empleando, al igual que HACKER, la hipótesis de linealidad.

Por último reseñar que en 1975 apareció NOAH<sup>87</sup>, un trabajo desarrollado por Sacerdoti que incorporaba algunos elementos relevantes en el ámbito de la resolución y planificación de problemas como, por ejemplo, la aplicación de la estrategia del mínimo compromiso<sup>88</sup> en cuestiones que tienen que ver con las interferencias entre subobjetivos. Este programa empleaba la planificación jerárquica constituyéndose, además, en el primer sistema independiente de apoyo a la toma de decisiones y no como un elemento integrado en

---

<sup>82</sup> Supongamos una tarea o acción principal que se puede descomponer en una diversidad de subobjetivos cuyo logro, en una determinada secuencia, sea importante a la hora de encontrar una solución al problema principal. Dado que la misma no está predeterminada, nos veremos en la obligación y con el problema añadido de tener que inferirla.

<sup>83</sup> A través de la misma se plantea que cualquier ordenación de las diversas acciones será válida, y sólo cuando una secuencia completa de éstas se halla generado podremos ordenarlas de manera que se cumpla con el objetivo prefijado.

<sup>84</sup> L. Siklóssy y J. Dreussi (1973), *An efficient robot planner which generates its own procedures*, **Advances Papers, Third International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Stanford (Ca.), August 20/23, pp. 423-430.

<sup>85</sup> Para más detalles acerca del funcionamiento de BUILD, consultar:  
M. A. Boden, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 465-498.  
S. E. Fahlman (1974), *A Planning System for Robot Construction Task*, **Artificial Intelligence**, vol. 5, nº 1, pp. 1-50.

<sup>86</sup> Más información sobre el sistema en:  
A. Tate, *Interacting goals and their use*, en **Advance Papers of the Fourth International Joint ...**, op. cit., pp. 215-218.

<sup>87</sup> Descripciones minuciosas del mismo se encuentran en:  
P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 541-550.  
E. D. Sacerdoti (1975), **A Structure for plans and behavior**, (Doctoral Dissertation), Technical Note 109, Artificial Intelligence Center, Menlo Park (Ca.), SRI International Inc., August.

<sup>88</sup> Esta estrategia es utilizada sólo para realizar una ordenación temporal de las etapas del plan. Mediante su aplicación se persigue dilatar al máximo la toma de decisiones de forma aleatoria.

un dispositivo físico cuya única misión era el control de la actividad que este último desarrollaba. NOAH fue posteriormente ampliado y completado por Tate<sup>89</sup> en 1976.

### B) Lenguajes, Entornos y Herramientas de Programación.

En esta segunda etapa se asiste a la aparición de algunos elementos (lenguajes y entornos) propios del contexto particular que se está analizando. Es conveniente advertir, en este momento, la posibilidad de que en algunos casos las herramientas, lenguajes o entornos aquí referidos puedan encontrarse catalogados en otros trabajos de diferente forma a como en este caso se ha hecho. Esto suele ocurrir sobre todo en el caso de los lenguajes de programación básicos. LISP ha sido utilizado en la creación de entornos intermedios entre el lenguaje básico (LISP) y las herramientas de desarrollo. Algunos de los dialectos derivados de estos lenguajes poseen además determinadas características (rasgos) propias de lo que se ha descrito como entornos de programación. Así InterLISP y MacLISP son considerados, algunas veces, como dialectos de LISP propiamente dichos y en otras ocasiones como entornos de programación LISP.

En lo que se refiere en concreto a la aparición de nuevos lenguajes de programación, un primer ejemplo bastante notable lo constituye el caso de PROLOG. Éste es un lenguaje creado en la Universidad de Marsella por Colmerauer y Roussel a partir de 1972. Tomándolo como base se crearon algunos otros lenguajes derivados (dialectos) como, por ejemplo, PROLOG-10 que fue presentado en 1975 en la Universidad de Edimburgo.

También por esta época surgen los primeros dialectos de otro lenguaje importante aplicado en Inteligencia Artificial como es LISP. Casos como los de MacLISP, concebido en el MIT (1974), o de InterLISP desarrollado por Xerox en el mismo año, son una muestra representativa. De forma paralela a estos desarrollos se registra la aparición de los primeros entornos de programación (InterLISP, MacLISP, CommonLISP, UpcLISP) que tienen su base en alguno de los lenguajes de Inteligencia Artificial más conocidos como LISP, PROLOG o SMALLTALK.

Por último, reseñar también la aparición de otros lenguajes de tipología diferente a los anteriores como PLANNER<sup>90</sup>, diseñado en el MIT por Hewitt a partir de 1972; STROBE<sup>91</sup> creado por Schlumberger-Doll Research; SMALL-

<sup>89</sup> A. Tate, *Project Planning Using a ...*, op. cit.

<sup>90</sup> Más detalles acerca de este lenguaje en: C. Hewitt (1972), *Description and Theoretical Analysis (Using Schemata) of PLANNER: A Language for Proving Theorems and Manipulating Models in a Robot*. AI-TR-258, Cambridge (Mass.), MIT AI Laboratory.

<sup>91</sup> Una breve descripción de este lenguaje se pueden encontrar en: R. G. Smith (1983), *STROBE: support for structured object knowledge representation*, en *Proceedings of the 8th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 855-858.

TALK<sup>92</sup> desarrollo de Kay al comienzo de los setenta; QA4 de Rulifson, Derksen y Waldinger (1972); MICRO-PLANNER versión de PLANNER realizada en el MIT en 1972 por Baumgart; SAIL<sup>93</sup> desarrollo hecho por Feldman y otros en la Universidad de Stanford (1972); ARS concebido en el MIT; CONNIVER<sup>94</sup> creado por Sussmann y McDermott en 1972; SIMULA-67 creado por Dhal, Myhrhaug y Nyagaard (1970); POPLER 1.5 desarrollado por D. J. Davies en la Universidad de Edimburgo; POP-1 concebido en la Universidad de Edimburgo por Popplestone; POP-10 creado por Davies en la Universidad de Edimburgo; POP-2 creación de Burstall y Popplestone, también en la Universidad de Edimburgo (1968); SNOBOL, etc.

### C) Procesamiento del Lenguaje Natural.

Son numerosos los sistemas aparecidos y que abarcan un amplio espectro de aplicaciones propias de este área. Por ello, aquí se hace reseña de algunos sistemas y programas interesantes como ELIZA<sup>95</sup>, programa que simula la conversación de un psiquiatra con un paciente y que fue desarrollado por Weizenbaum; LUNAR<sup>96</sup>, un programa que responde a preguntas sobre geología lunar creado por Woods; MARGIE<sup>97</sup>, programa que memoriza, realiza análisis y genera respuestas en inglés desarrollado en la Universidad de Stanford; SHRDLU<sup>98</sup>, un programa representativo de lo que es la comprensión del lenguaje en una conversación y cuyo diseño efectuó Winograd; PARRY<sup>99</sup>,

<sup>92</sup> Para más detalles acerca de este lenguaje consultar:

A. Goldberg y A. Kay (1976), *Smalltalk-72 user's manual*, Report nº SSL 76-6, Learning Research Group, Palo Alto (Ca.), Xerox PARC.

A. Goldberg, D. Robson y D. H. Ingalls (1982), *Smalltalk-80: the language and its implementation*, Menlo Park (Cal.), Addison Wesley.

T. Kaehler y D. Patterson (1986), *A small taste of Smalltalk*, *Byte*, Agosto, pp. 145-159.

<sup>93</sup> J. F. Reiser (1976), *Sail*, Report AIM-289, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Stanford (Ca.), Stanford University.

<sup>94</sup> G. J. Sussman y D. V. McDermott (1972), *The Conniver Reference Manual*, AI MEMO 259, MIT AI Laboratory, Cambridge (Mass.).

<sup>95</sup> Consultar:

J. Weizenbaum (1966), *ELIZA-A Computer Program for the Study of Natural Language Communication Between Man and Machine*, *Communications of the Association for Computing Machinery*, vol. 9, pp. 36-45.

<sup>96</sup> W. A. Woods y otros (1972), *The Lunar Sciences Natural Language Information System*, BBN REPORT 2378, Cambridge (Mass.), Bolt, Beranek & Newman.

<sup>97</sup> Para un estudio más detenido es obligatorio consultar:

R. C. Schank y otros, *MARGIE: Memory, analysis, response generation, and indifference on English*, en *Proceedings of the Third International Joint ...*, op. cit., pp. 255-261.

<sup>98</sup> Este programa está descrito más ampliamente en:

T. Winograd (1972), *Understanding Natural Language*, New York, Academic Press.

T. Winograd, *A Procedural Model of Language Understanding*, en R. C. Schank y K. M. Colby (eds.) (1973), *Computer Models of Thought and Language*, San Francisco, W. H. Freeman and Company, pp. 152-186.

<sup>99</sup> Detalles adicionales del programa se encuentran en:

K. M. Colby (1975), *Artificial Paranoia*, New York, Pergamon.

concebido por Colby, es otro programa que simula la conversación mantenida con un paranoico artificial; METAL realiza traducción automática y fue creado en la Universidad de Texas; SYSTRAN es un sistema de traducción automática diseñado en por la multinacional Xerox; HEARSAY-I<sup>100</sup> y HEARSAY-II<sup>101</sup> son programas orientados a la comprensión del lenguaje hablado y que fueron desarrollados en la Universidad de Carnegie-Mellon; SIR, es un programa capaz de responder preguntas relativas a una disciplina determinada desarrollado por Raphael a partir de 1968; DEACON<sup>102</sup>, TLC y CONVERSE son programas capaces de caracterizar y usar el significado de las oraciones; DRAGON<sup>103</sup> es un programa desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon para la comprensión del lenguaje hablado.

#### D) Visión Artificial.

En esta segunda etapa serán muy numerosos y dispares los trabajos llevados a cabo dentro de este campo. Gran parte de ellos se concentraron sobre el estudio de cuestiones particulares como son, por ejemplo:

- La detección de líneas y bordes en imágenes.
- Los denominados mundos de bloques.
- El uso de heurísticos en el reconocimiento de imágenes.
- Geometría y física.
- La percepción de la profundidad.
- El reconocimiento y diferenciación de texturas.
- El estudio de zonas y regiones en una imagen, además de técnicas para la determinación y segmentación zonal en imágenes. En este ámbito destacan los trabajos de Ohlander, Tesuji y Tomita, Yakimovsky y Feldman, Prewitt, Brice y Fennema, etc.
- El reconocimiento y la descripción de formas y objetos tridimensionales. Destacar aquí las aportaciones hechas por Shirai y Suwa, además de por Agin, Binford y Nevatia.

<sup>100</sup> Para información adicional ver:

D. R. Reddy y otros, *The HEARSAY speech understanding system: An example of the recognition process*, **Advanced Papers, Third International Joint ...**, op. cit., pp. 185-193.

<sup>101</sup> Más información en:

L. D. Erman y otros (1980), *The HEARSAY-II speech-understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty*, **Computing Surveys**, vol. 12, nº 2, pp. 213-253.

<sup>102</sup> Para más detalles se aconseja consultar:

F. B. Thompson (1966), *English for the computer*, American Federation of Information Processing Societies (AFIPS), **Conference Proceedings 29**, Fall Joint Computer Conference, Washington, Spartan Books, pp. 349-356.

<sup>103</sup> Para una ampliación de su contenido consultar:

D. R. Reddy (ed.) (1975), **Speech recognition: Invited papers of the IEEE symposium**, New York, Academic Press.

En el contexto de los desarrollos efectuados por esta época destacar la aparición de diversos programas de visión que ampliaron y optimizaron las características de sistemas precedentes promoviendo, además, nuevos enfoques y soluciones. Así y como contrapunto al programa de Roberts, que reconocía escenas de objetos familiares cuyos modelos se habían incorporado previamente al ordenador, se encuentra uno de los sistemas más interesantes en este campo y que aparecieron a comienzos de esta segunda etapa. SEE<sup>104</sup>, creado por Guzman a partir del año 1965, estuvo integrado en un proyecto más amplio realizado en el MIT para el diseño y la creación de un robot<sup>105</sup>. El mismo era capaz de reconocer visualmente un mundo de bloques con formas diversas. Se apoyaba en métodos no numéricos (heurísticos y simbólicos) analizando las escenas sin tener previamente almacenados los modelos de los objetos a reconocer. La misión del mismo no era una mera descripción o clasificación de los objetos que pudiese ver en una imagen. Lo que SEE realizaba era una cuantificación de los objetos tridimensionales que aparecían en la misma. Era un programa capaz de identificar vértices o puntos de conjunción de dos líneas (uniones), buscando siempre pistas que indicasen si dos zonas pertenecen a un mismo cuerpo. De esta manera el programa se hacía con la información acerca de figuras geométricas complejas. Su fundamento no estaba por lo tanto, a diferencia de lo que ocurre con otros programas como el de Roberts, citado anteriormente, en teorías sobre identificación de objetos tridimensionales, a partir de representaciones en dos dimensiones, ni tampoco en la utilización de complejos procesos matemáticos. SEE se acompañaba de un programa complementario, llamado BACKGROUND<sup>106</sup>, que se utilizaba para la selección de los fondos del boceto de una escena. Este otro programa empleaba conocimiento geométrico para la identificación de dichos fondos. Con posterioridad SEE se amplió y mejoró gracias a las aportaciones de Huffman, Clowes y Mackworth, que lo dotaron de capacidad para identificar las características estructurales de formas geométricas.

Otro investigador importante por sus aportaciones a este campo fue Falk. Parte de su trabajo estuvo orientado hacia el reconocimiento de bloques y la identificación de objetos visibles en una fotografía de una escena, determi-

---

<sup>104</sup> Para un seguimiento más detallado del funcionamiento del programa SEE, consultar:

M. A. Boden, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 249-269.

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook ...*, op. cit., vol. 3, pp. 143-145.

A. Guzman, *Decomposition of a Visual Field into Three-Dimensional Bodies*, en A. Graselli (ed.) (1969), *Automatic Interpretation and Classification of Images*, New York, Academic Press, pp. 243-276.

<sup>105</sup> P. H. Winston, *The MIT Robot*, en B. Meltzer y D. Michie (eds.) (1972), *Machine Intelligence*, Edinburgh, Edinburgh University Press, vol. 7.

<sup>106</sup> A. Guzman, *Computer Recognition of Three-Dimensional Objects in a Visual Scene*, AI-TR-228, Cambridge (Mass.), MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1968.

nando su orientación y posición en un espacio tridimensional. Un programa creado por él, INTERPRET<sup>107</sup>, es considerado como un híbrido entre los sistemas precedentes de Roberts y Guzman. INTERPRET se servía de diversos modelos y una amplia serie de heurísticos para aplicar una estrategia de hipótesis y test (verificación). El programa identificaba, precisando además sus formas y tamaños, los objetos y elaboraba un croquis de la escena observada que comparaba con el original.

Dentro de este mismo ámbito es conveniente hacer referencia a otros programas de visión artificial, aparecidos en esta etapa, que representaron una mejora en las prestaciones ofrecidas por desarrollos previos. Ejemplos de ello son el programa OBSCENE<sup>108</sup>, creado por Clowes; el programa POLY<sup>109</sup>, desarrollado por Mackworth para interpretar dibujos lineales en tres dimensiones; el programa de Shirai<sup>110</sup> (detección y generación de líneas) implementado en un robot desarrollado en el MIT; el buscador de líneas inteligente creado por Grape<sup>111</sup>; Rattner, creador del programa SEEMORE<sup>112</sup> (un programa similar a SEE pero con la incorporación algunas mejoras); Waltz<sup>113</sup>, creador de un programa de reconocimiento avanzado de bloques en un espacio tridimensional; y Kanade y su Origami World<sup>114</sup> (un tipo de representación que admite y reconoce una mayor variedad de objetos que los programas hasta

---

<sup>107</sup> G. Falk (1972), *Interpretation of imperfect line data as a three-dimensional scene*, **Artificial Intelligence**, vol. 3, pp. 101-144.

<sup>108</sup> M. B. Clowes (1971), *On Seeing Things*, **Artificial Intelligence**, vol. 2, pp. 79-116.

<sup>109</sup> Para más detalles del programa ver:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 173-182.

A. K. Mackworth (1973), *Interpreting Pictures of Polyhedral Scenes*, **Artificial Intelligence**, vol. 4, pp. 121-138.

<sup>110</sup> Más detalles en:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 168-172.

Y. Shirai (1973), *A Context Sensitive Line Finder for Recognition of Polyhedra*, **Artificial Intelligence**, vol. 4, pp. 95-120.

<sup>111</sup> Información más precisa acerca de este programa se encuentra en:

G. R. Grape (1969), **Computer Vision Through Sequential Abstractions**, Stanford, Stanford University.

<sup>112</sup> Información adicional en:

M. H. Rattner (1970), **Extending Guzman's SEE Program**, AI Memo 204, MIT Artificial Intelligence Laboratory. Cambridge (Mass.).

<sup>113</sup> Consultar:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 161-176.

D. Waltz, *Generating semantic descriptions from drawings of scenes with shadows*, en P. H. Winston (ed.) (1975), **The psychology of computer vision**, New York, McGraw-Hill, pp. 19-22.

<sup>114</sup> Consultar:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 183-194.

T. Kanade (1980), *A Theory of Origami World*, **Artificial Intelligence**, vol. 13, pp. 279-311.

entonces aparecidos<sup>115</sup>. Por último destacar algunos trabajos más como los de Huffman y Clowes<sup>116</sup> (el ya referido Trihedral World, dedicado al análisis de escenas compuestas por poliedros); Orban<sup>117</sup> (identificación de sombras en las imágenes); y Kelly<sup>118</sup> (reconocimiento de personas).

#### E) Aprendizaje Automático.

En este nuevo periodo se asistió al resurgir del interés por los métodos de automatización del aprendizaje. Una aportación, la de Winston en el año 1970 mediante su proyecto de tesis, fue un elemento clave para ello. Además, fueron dándose a conocer toda una serie de trabajos y colaboraciones importantes, continuación de la labor iniciada en años previos, con el objetivo de consolidar y depurar lo ya logrado y para lograr abrir nuevas vías a la investigación en este campo.

En la década de los setenta, con la aparición de los sistemas expertos y el creciente interés por éstos, se renovó también el interés por el aprendizaje automatizado y algunas de sus implicaciones. Muchos expertos creyeron que se conseguiría hacer más útiles a tales programas dotándolos de esta capacidad. Hasta el momento presente, lo normal es que los sistemas expertos incorporasen todo el conocimiento que emplean a través de un difícil y laborioso proceso. Por el contrario, si se posibilitase un aprendizaje más rápido y simple por parte de éstos, sería factible la creación, sin excesivas complicaciones, de la base de conocimientos que tan importante papel juega en su operatividad y eficiencia. Esta ha sido una idea compartida por numerosos investigadores en la materia.

Con referencia a algunos desarrollos concretos, llevados a cabo en este momento, se pueden citar los siguientes: el programa concebido por Winston en el MIT, año 1970, el cual era capaz de aprender configuraciones arquitectónicas relativamente simples; el caso de HACKER<sup>119</sup>, desarrollado por Sussman en 1973, que aprende a partir de experiencias anteriores; STRIPS recoge los resultados, tanto favorables como desfavorables, que ha obtenido an-

---

<sup>115</sup> Este nuevo sistema introducido por Kanade permitía el reconocimiento e identificación de superficies planas y cuerpos sólidos, a diferencia de otros sistemas anteriores (Trihedral Worlds), donde sólo era posible la representación e identificación de cuerpos sólidos.

<sup>116</sup> Ver:

M. B. Clowes, *On Seeing Things, Artificial ...*, op. cit., pp 79-116.

D. A. Huffman, *Impossible objects as nonsense sentences*, en B. Meltzer y D. Michie (eds.) (1971), *Machine Intelligence*, vol. 6, Edinburgh, Edinburgh University Press, pp. 295-325.

<sup>117</sup> R. Orban (1970), *Removing Shadows in a Scene*, AI Memo 192, MIT Artificial Intelligence Laboratory. Cambridge (Mass.).

<sup>118</sup> M. D. Kelly, *Edge detection in pictures by Computer Using Planning*, en B. Meltzer y D. Michie (eds.) (1971), *Machine Intelligence*, op. cit., vol. 6., pp. 397-410.

<sup>119</sup> Un análisis más profundo del sistema se encuentra en:

G. J. Sussman, *A computational model of skill ...*, op. cit.

teriormente en la resolución de problemas y los emplea a modo de nuevo conocimiento en su sistema de aprendizaje; el programa desarrollado por Waterman en el año 1968 (Waterman's Poker Player)<sup>120</sup> el cual aprendía a jugar al draw poker, un juego en el que los participantes disponen de información imperfecta a la hora de plantear el desarrollo de sus estrategias.

#### F) Programación Automática.

Durante estos años se lleva a cabo una doble tarea de continuación y profundización de los primeros estudios realizados en este interesante campo y también de apertura de nuevas vías para el análisis y la investigación. Se intentan aportar soluciones a algunas de las cuestiones planteadas en trabajos previos los cuales sirven, a su vez, como elemento desencadenante para plantear nuevos objetivos. De entre todos los trabajos publicados por esta época van a destacar las aportaciones, pioneras en este área, hechas por Waldinger & Lee<sup>121</sup> y por Green a partir de 1969. Con ellas se concretó un método para sintetizar programas no demasiado extensos empleando las técnicas de la demostración automática de teoremas.

#### G) Representación del Conocimiento.

Fue a comienzos de la década de los setenta cuando se empezó a considerar ésta como una materia con entidad propia, siendo en el año 1970, y tras varias controversias surgidas entre investigadores, cuando quedó patente la necesidad de disponer de unas bases teóricas sólidas para su desarrollo. Aproximadamente a partir de este momento se estima que pasó a ser ya un área totalmente autónoma y básica dentro del contexto general considerado como Inteligencia Artificial.

Los estudios iniciales se orientaron hacia la consecución de métodos genéricos para la representación del conocimiento, siendo éstos aplicables a materias relacionadas con un amplio espectro de dominios. Con ello se intentó la formulación de un conjunto de técnicas de razonamiento que tuviesen una aplicación general y con las que poder resolver infinidad de problemas simbólicos pertenecientes a diversos ámbitos. No obstante, este planteamiento se mostró inadecuado a la hora de afrontar la resolución de problemas que incorporaban un alto grado de dificultad debido, esencialmente, a que en estos casos era necesario identificar, representar y procesar un gran volumen de conocimiento específico del campo donde el problema se circunscribía.

<sup>120</sup> Consultar para ampliación de las especificaciones del programa:

D. A. Waterman (1968), *Machine learning of heuristics*. (Doctoral Dissertation), Report nº STAN-CS-68-118, Computer Science Department, Stanford University.

D. A. Waterman (1970), *Generalization learning techniques for automating the learning of heuristics*, *Artificial Intelligence*, vol. 6, pp. 121-170.

<sup>121</sup> R. J. Waldinger y R. C. T. Lee, *PROW: A step toward automatic program writing*, en D. E. Walker y L. M. Norton (eds.) (1969), *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Washington D. C., May 7/9, pp. 241-252.

Además la ya reseñada explosión combinatoria, que se derivaba de la revisión de todas las alternativas vinculadas a cada estado, era otro inconveniente añadido que este tipo de esquemas planteaba. Como ejemplo de solución técnica adoptada en este tipo de concepciones se encuentra el esquema de representación denominado espacio de estados<sup>122</sup> (state spaces), un formalismo que fue utilizado para la representación y resolución de problemas aparte de algún otro campo de aplicación.

En lo que a otras realizaciones del periodo se refiere es destacable el hecho de que en el mismo aparecen nuevas alternativas para la representación del conocimiento. Un ejemplo son los esquemas de representación denominados redes semánticas<sup>123</sup> (semantic nets), que fueron concebidos por investigadores como Quillian<sup>124</sup> y algunos otros a modo de formalismos de re-

---

<sup>122</sup> De forma breve se pueden definir diciendo que se trata de formalismos para representar los distintos estados de un problema. Básicamente, estos formalismos están compuestos por lo que se denomina estado (estructura de datos que incorpora la descripción de la situación del problema en un momento preciso de la resolución del mismo) y por los operadores encargados de alterar el problema entre los diferentes estados.

El lector podrá profundizar en el estudio de las características y condiciones de aplicación de este tipo de esquemas a partir de las siguientes obras:

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 1, pp. 32-45 y pp. 153-154.

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 3, pp. 11-21.

U. Cortés y otros, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 7-9.

J. Giarratano y G. Riley, *Expert Systems ...*, op. cit., pp. 111-117.

<sup>123</sup> Este es el método de representación sobre las relaciones de los objetos. Existen diversas tipologías de Redes Semánticas para la representación del conocimiento. Todas ellas suelen estar normalmente compuestas por un conjunto de nodos (indican situaciones, conceptos, objetos) y toda una serie de conexiones (links) que representan las relaciones existentes entre ellos.

Si se desea realizar un estudio más detallado de esta modalidad de representación se puede consultar:

R. O. Duda y otros, *Semantic network representations in rule-based inference systems*, en D. A. Waterman y F. Hayes-Roth (eds.) (1978), *Pattern-directed inference systems*, New York, Academic Press, pp. 203-221.

N. V. Findler (ed.) (1979), *Associative networks: The representation and use of knowledge by computers*, New York, Academic Press.

R. Frost (1989), *Bases de Datos y Sistemas Expertos*, Ed. Díaz de Santos S. A., pp. 499-507. Traducido al castellano de la obra *Introduction to Knowledge Base Systems*, publicada por William Collins Sons and Co., Ltd. (1986).

J. Giarratano y G. Riley, *Expert Systems, Principles ...*, op. cit., pp. 69-73 y 79-80.

P. Harmon y P. King, *Sistemas Expertos. Aplicaciones de la ...*, op. cit., pp. 49-58.

G. G. Hendrix, *Expanding the Utility of Semantic Networks through Partitioning*, en *Advance Papers of the Fourth International Joint ...*, op. cit., pp. 115-121.

R. Kowalski, *Lógica, programación ...*, op. cit., pp. 48-49.

R. F. Simmons, *Semantic Networks: Their computation and use for understanding English sentences*, en R. C. Schank y K. M. Colby (eds.), *Computer Models of ...*, op. cit., pp. 63-113.

W. A. Woods, *What's in a link: foundations of semantic networks*, en D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), *Representation and understanding ...*, op. cit., pp. 35-82.

<sup>124</sup> M. R. Quillian, *Semantic memory*, en M. Minsky (ed.) (1968), *Semantic information processing*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

presentación. Su uso es apropiado para la representación del conocimiento declarativo y, en especial, para los casos donde éste aparece con una estructura jerarquizada. Las redes semánticas se emplearon inicialmente en aplicaciones relacionadas con la comprensión del lenguaje y la representación artificial de la memoria humana. Con posterioridad han sido utilizadas profusamente en numerosos sistemas basados en conocimiento. Indicar, por último, que una variedad de las Redes Semánticas, denominada ternas objeto-atributo-valor, ha sido empleada como formalismo de representación.

También surgirá en esta etapa otra forma de representar el conocimiento, tanto descriptivo como procedimental, denominada sistemas de producción<sup>125</sup> (production systems). Los primeros estudios sobre este concepto se remontan a la década de los 40, concretamente a 1943, cuando el matemático Post<sup>126</sup> los dio a conocer como mecanismos de proceso de carácter general. Lo cierto es que desde la propuesta hecha por Post la evolución sufrida por tales sistemas ha sido tan grande que las actuales concepciones difieren ya bastante de la inicial. Su configuración moderna se debe, fundamental-

<sup>125</sup> Es quizá la forma más comprensible de representar el conocimiento. De forma resumida se puede describir diciendo que se trata de un esquema de representación del conocimiento cuyo componente fundamental son los módulos de información o reglas, que a su vez están compuestos por pares de elementos que hacen referencia a una condición y la acción o consecuencia de aquella (Si ... entonces ... / causa-efecto / condición-acción). Una única regla puede ser considerada como unidad de conocimiento. Un sistema de Inteligencia Artificial puede acumular el conocimiento, sobre un dominio concreto, en forma de reglas o módulos de información y con ello se pueden representar multitud de relaciones existentes en el mismo.

Para un análisis más pormenorizado de los Sistemas de Producción es aconsejable la consulta de:

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 1, p. 157 y pp. 190-199.

B. G. Buchanan y E. H. Shortliffe, *Rule-Base ...*, op. cit., pp. 20-170 y 493-530.

R. Davis y J. King, *An overview of production systems*, en E. Elcock y D. Michie (eds.), *Machine Intelligence*, vol. 8, op. cit., pp. 300-332.

R. Davis y otros (1977), *Production rules as a representation for knowledge-based consultation system*, *Artificial Intelligence*, vol. 8, nº 1, pp. 15-45.

A. Guinet (1990), *Knowledge acquisition and assessment about production management systems*, *European Journal of Operational Research*, vol. 45, nº 2-3, April, pp. 265-274.

D. Nebendahl (ed.) (1988), *Sistemas Expertos. Introducción a la técnica y aplicación*, Barcelona, Ed. Marcombo, pp. 55-82. Traducido al castellano de la obra *Experten-Systeme*, publicada por Siemens Aktiengesellschaft (1988).

A. Newell, *Production Systems: models of control structures*, en W. G. Chase (ed.) (1973), *Visual Information Processing*, New York, Academic Press, pp. 463-526.

N. J. Nilsson, *Principios de ...*, op. cit., pp. 17-91.

S. Ohlsson (1977), *Production System reconstruction of theories for the solving of three-term series problems*, *Umea Psychological Reports* nº 113, Umea (Sweden), University of Umea.

P. H. Winston, *Artificial Intelligence ...*, op. cit.

R. M. Young, *Productions Systems for Modelling Human Cognition*, en E. Michie (1979), *Expert Systems in the Microelectronic Age*, Edinburgh, Edinburgh University Press, pp. 35-45.

<sup>126</sup> E. Post (1943), *Formal reduction of the general combinatorial problem*, *American Journal of Mathematics*, nº 65, pp. 197-268.

mente, a las aportaciones hechas por Newell y Simons<sup>127</sup> a partir del año 1972. Las aplicaciones hechas de este modelo de representación, desde su aparición, han sido muy notables y numerosas, llegando a ser, de entre todos los sistemas cognitivos, el que mayor popularidad ha alcanzado.

Otro método, propuesto por Minsky a mediados de la década de los setenta y utilizado en la representación de hechos y relaciones, ha empezado a tener una gran aplicación en los estudios de Inteligencia Artificial. Los marcos de referencia<sup>128</sup> (frames) son una alternativa más de representación que, englobados dentro de lo que se ha dado en llamar objetos estructurados<sup>129</sup>,

---

<sup>127</sup> Es conveniente consultar:

A. Newell y H. A. Simon, **Human Problem ...**, op. cit.

<sup>128</sup> Este esquema de representación y organización está compuesto por una serie de estructuras de datos en las que se recoge, fundamentalmente, todo el conocimiento descriptivo (admiten también procedimental) que sobre un objeto o situación se posee. Su composición normal suele constar de un nombre (de cosa, suceso, idea, lugar, persona, etc.) y una serie de slots (campos de información) o áreas de memoria, relacionados con aquel, en los que recogen diversos atributos, es decir, sus componentes y características. Su uso se aconseja en los casos donde haya que tratar (representar) modelos típicos (estereotipos) referidos a objetos, hechos, situaciones o comportamientos. Es éste, además, un enfoque bastante potente dado que permite la incorporación de expectativas, herencia de valores y otro tipo de supuestos relacionados con el dominio a representar.

De interesar al lector un conocimiento más profundo acerca de este tipo de esquemas de representación, se hace necesario la consulta de algunos de los siguientes trabajos:

J. L. Alty y M. J. Coombs, **Sistemas Expertos ...**, op. cit., pp. 70-75.

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 1, p. 157, pp. 158-159 y pp. 216-222.

U. Cortés y otros, **Inteligencia Artificial ...**, op. cit., pp. 46-65.

E. Charniak, *A frame painting: The representations of a common sense knowledge fragment*, **Journal of Cognitive Science**, vol. 1, nº 4, pp. 355-394.

R. E. Fikes y T. Kehler (1985), *The role of frame-based representation in reasoning*, **Communications of the ACM**, vol. 28, nº 9, September, pp. 904-920.

B. Kuipers, *A frame for frames: Representing knowledge for recognition*, en D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), **Representation and understanding ...**, op. cit., pp. 151-184.

J. Martin y S. Oxman, **Building Expert Systems ...**, op. cit., pp. 234-237.

J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, **Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...**, op. cit., pp. 212-225.

M. Minsky, *A framework for representing knowledge*, en P. H. Winston (ed.), **The psychology of ...**, op. cit., pp. 211-277.

M. Minsky, *Frame System Theory*, en P. N. Johnson-Laird y P. C. Watson (eds.) (1977), **Readings in Cognitive Science**, Cambridge, Cambridge University Press.

W. B. Rauch-Hindin, **Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en ...**, op. cit., pp. 114-131.

T. Winograd, *Frame Representation and the Declarative-procedural Controversy*, en D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), **Representation and understanding ...**, op. cit., pp. 185-210.

<sup>129</sup> Bajo esta denominación genérica se agrupan diversas tipologías de esquemas bastante similares como son los Marcos de Representación (Frames), los Guiones (Scripts), los Objetos, los Prototipos, etc. En otros esquemas de representación, diferentes a los englobados en este apartado, se resalta siempre el aspecto descriptivo del conocimiento y su naturaleza inferencial. Sin embargo, los Objetos Estructurados son unos formalismos que recogen conocimiento procedimental y con los que se intenta representar precisamente esas otras formas de conocimiento no inferencial.

están considerados por algunos investigadores como un caso particular de las redes semánticas. Su uso se va generalizando a medida que se construyen sistemas cada vez más complejos. Hasta el momento se han utilizado en aplicaciones diversas como son la comprensión de textos escritos, el aprendizaje o en bases de datos relacionales, siendo objeto de numerosas variaciones. Dentro también del ámbito de los objetos estructurados, son los guiones<sup>130</sup> otro sistema más de representación que ha sido especialmente utilizado en aplicaciones para la comprensión del lenguaje natural. La esencia de su desarrollo corrió a cargo del equipo de investigación de la Universidad de Yale a cuya cabeza se encontraban Schank y Abelson.

#### H) Robótica.

El impacto de la Inteligencia Artificial sobre la robótica en estos años no fue todavía muy destacado aunque sí trascendente. No obstante, se empezaba ya a notar una clara orientación, en un amplio sector de las personas e instituciones interesadas en esta materia, hacia la consecución de dispositivos robóticos que incorporasen toda una serie de habilidades extendidas para el desempeño de actividades funcionales concretas donde se requiriese, para su correcta ejecución, capacidades consideradas no convencionales hasta ese momento como son el aprendizaje, el desplazamiento, el asir, el visualizar o desplazar objetos diversos. A modo de ejemplo ilustrativo de las diversas investigaciones y proyectos ejecutados en este periodo, se puede mencionar el caso de algunos lenguajes de alto nivel con aplicación específica en este apartado. WAVE (1971) y AL (1972), concebidos ambos en la Universidad de Stanford, son una muestra de ello.

Dentro del apartado dedicado a los sistemas físicos hay que destacar que, a mediados de este periodo, diversos expertos de la Universidad John Hopkins crearon una máquina que extraoficialmente se bautizó con el nombre de la "Bestia de Hopkins". Ciertamente, éste fue un ingenio móvil que no se creó con unas pretensiones claras de lograr un sistema con aplicación real sino, más bien, con el único objetivo de demostrar el grado de inteligencia que podía ser incorporado a un ente mecánico artificial. Dentro de este mismo apartado mencionar la consecución del robot experimental SHAKEY<sup>131</sup>, con-

<sup>130</sup> De una forma simplificada se puede afirmar que los Guiones son esquemas de representación similares a los Marcos y están pensados para recoger, de forma secuencial en espacio y tiempo, el desarrollo de acontecimientos que esperamos ocurran con relación a fenómenos o situaciones modelo de los cuales ya tenemos un conocimiento o experiencia previa. A su vez, el guión se compondrá de una serie de escenas donde se encuentra recogido, de forma parcial, la información sobre los acontecimientos que esperamos se sucedan.

Sobre el fundamento y características de este sistema de representación se pueden encontrar más detalles en:

R. C. Schank y R. P. Abelson (1977), *Scripts, plans, goals, and understanding*, Hillsdale (N. J.), Lawrence Erlbaum Associates.

<sup>131</sup> Detalles acerca de este sistema se encuentran en:

M. A. Boden, *Inteligencia Artificial ...*, op. cit., pp. 361-369, 319-383 y 441-498.

B. Raphael, *El computador Pensante ...*, op. cit., pp. 334-341.

cebido en el SRI por un equipo de investigadores entre los que se encontraban Raphael y Nilsson. Se trataba de un robot móvil al que se le dotó, entre otras, con técnicas para resolución de problemas y dispositivos de visión artificial por ordenador. Otros casos de sistemas con cierta similitud a este son los de HILARE, JPL y JASON.

También en el MIT se trabajó sobre diversas cuestiones relacionadas con este área. Así Earnst creó y experimentó con un brazo mecánico de los que se utilizaban en tareas realizadas dentro de instalaciones nucleares. Depurado y perfeccionado el modelo inicial, se dio paso a una segunda fase que concluyó con la creación del sistema MH-1, por muchos considerado como la primera mano mecánica del mundo. En este mismo instituto se diseñó COPY-DEMO, un sistema inmóvil que conjugaba la visión artificial con un brazo ejecutor capaz de sujetar y mover bloques dispuestos sobre una mesa.

Por esta misma época, un equipo de investigadores compuesto por Ambler, Barrow, Michie y algunos otros, trabajaban en la Universidad de Edimburgo sobre el robot experimental FREDDY, un sistema compuesto básicamente por un brazo ejecutor y un dispositivo de visión artificial.

### 1) Sistemas Expertos.

Para una gran parte de las materias consideradas como componentes esenciales de la Inteligencia Artificial, sobre las que se trabajó intensamente en la década anterior y para las personas que se vieron involucradas en su estudio y análisis, este segundo periodo constituyó un momento trascendental dado que, a lo largo del mismo, pudieron comprobar cómo algunos de los métodos y técnicas que se habían desarrollado entonces y que tenían alguna relación, por ejemplo, con la representación del conocimiento o la búsqueda de soluciones, eran aplicados ahora, de forma conjunta, dentro de un nuevo campo que comenzó a reconocerse bajo la denominación de sistemas expertos. La aparición de los primeros sistemas, a partir de los cuales se han derivado posteriormente otros muchos, constituye el fenómeno más destacado del momento dentro de este ámbito.

Así, en el año 1968, hay que recoger la aparición de un primer esbozo del programa creado por Geneseth que se denominó MACSYMA<sup>132</sup>. Se trataba de

---

<sup>132</sup> Detalles sobre el sistema son accesibles en:

R. A. Edmunds, *The Prentice Hall Guide ...*, op. cit., pp. 339-340.

C. Engelman (1971), *The legacy of Mathlab 68, Proceedings of the Second Symposium on Symbolic and Algebraic Manipulation*, Los Angeles.

Mathlab Group (1977), *MACSYMA Reference Manual*, Technical Report, Computer Science Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).

W. A. Martin y R. J. Fateman, *The MACSYMA System, Proceedings of the Second Symposium on Symbolic ...*, op. cit., pp. 59-75.

J. Moses (1975), *A MACSYMA Primer, Mathematics Laboratory Memory nº 2*, Cambridge (Mass.), Computer Science Laboratory, MIT.

un sistema interactivo basado en conocimiento e ideado para prestar ayuda a los científicos en la resolución de problemas matemáticos de gran complejidad, tanto numéricos como simbólicos, que tienen que ver, por ejemplo, con la manipulación de matrices, el análisis vectorial y tensorial, las ecuaciones polinomiales, la integración, las ecuaciones diferenciales, etc. Empleaba, para efectuar las resoluciones, técnicas heurísticas de reconocimiento de patrones. El diseño original se debe a Engleman aunque, con posterioridad, Martin y Moses en el MIT aumentaron su desarrollo en lo que al capítulo de prestaciones se refiere. La mejora y expansión del mismo ha continuado ininterrumpidamente hasta principios de los años ochenta. Actualmente, es uno de los programas más potentes de todos los desarrollados para resolver problemas matemáticos en ordenador, siendo utilizado por multitud de investigadores.

Uno de los sistemas aparecidos hasta ese momento, surgido a partir del proyecto HPP de Stanford y que además fue pionero en lo que a aplicaciones de la Inteligencia Artificial a la medicina se refiere, es el conocidísimo MYCIN<sup>133</sup>. A partir del año 1972 se comenzó en la Universidad de Stanford a trabajar en él, siendo sus principales diseñadores Buchanan y Shortliffe. El sistema fue concebido para su aplicación en la realización de diagnósticos y la prescripción del tratamiento de enfermedades infecciosas de la sangre. Por todos se le considera como el sistema experto prototipo de una gran mayoría de sistemas actuales basados en reglas.

INTERNIST-I<sup>134</sup> es otro sistema experto aplicado al diagnóstico y tratamiento de enfermedades en medicina interna que fue concebido por un equipo de investigadores, encabezado por Pople y Myers, que desarrollaba su labor en la Universidad de Pittsburgh. Una extensión del anterior sistema, también efectuada en esta misma universidad y cuyo objetivo era la corrección de algunos defectos de aquel, fue CADUCEUS.

Señalar finalmente que en el año 1974 se da a conocer en el Instituto de Investigación de Stanford el tan renombrado sistema experto PROSPECTOR<sup>135</sup>, el cual centraba su aplicación en la prospección y exploración geológica. Dicho sistema fue concebido por Hart y Duda.

### 2.2.3 Tercera Etapa (1975 en adelante).

Es este último periodo, de entre los tres en los que se ha subdividido la evolución de la Inteligencia Artificial, el que sin duda alguna ha registrado una mayor actividad de investigación y desarrollo en prácticamente la totalidad de los campos reconocidos en tal disciplina. Numerosos fueron los trabajos y proyectos que tuvieron su inicio y continuación en estos últimos años a los que ahora se hace alusión, siendo un hecho incuestionable la consolidación en el mismo de esta materia, lo que supuso el alejamiento definitivo de todas las dudas previas que apuntaban a la falta de aplicabilidad y de resultados en la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo en su seno. El fenómeno que de alguna manera refrenda dicha idea está referido al creciente interés surgido<sup>136</sup> no sólo en centros universitarios sino también en el seno de un número importante de firmas comerciales y empresas<sup>137</sup> privadas, de diversos países, que descubrieron en la Inteligencia Artificial una oportunidad para la creación y desarrollo de un mercado con grandes posibilidades y con un futuro muy prometedor. Es por lo tanto indudable que, aquellos que en su momento habían proclamado y augurado malos presagios para el futuro de esta disciplina, habían errado en sus cálculos y previsiones, siendo éste mucho más prometedor y real de lo que en su momento le aventuraron aunque, eso sí, no exento de dificultades y problemas en ocasiones muy complejos.

#### A) Resolución Automática de Problemas y Planificación.

Siguiendo con la línea evolutiva en este campo, cabe ahora recoger la aparición de distintas estrategias, concretadas en diversos trabajos, que suponen aportaciones importantes en un intento de superar algunos de los problemas y deficiencias detectados en modelos previos o bien abrir nuevas vías en la concepción y el planteamiento teórico de cuestiones ya afrontadas previamente por otros investigadores.

---

<sup>136</sup> No es demasiado aventurado afirmar que el gran interés despertado por la Inteligencia Artificial en el ámbito empresarial ha sido fruto de una combinación de factores económicos, de actitudes y también cuyunturales. La evolución futura que siga la aplicación de todos los productos de Inteligencia Artificial dependerá, en gran manera, de factores que desbordan de por sí la esfera de las posibilidades tecnológicas y las necesidades comerciales de la sociedad moderna.

<sup>137</sup> Una relación de algunas de las que comercializan diversos productos de software, junto con su localización y dirección, se puede encontrar en los siguientes textos:

R. G. Bowerman y D. E. Glover, *Putting Expert Systems ...*, op. cit., pp. 142-165.

D. M. Cleal y N. O. Heaton (1988), *Knowledge-Based Systems. Implications for human-computer interfaces*, Chichester (W. S.), Ellis Horwood Ltd., pp. 217-226.

T. B. Cross (1988), *Knowledge Engineering. The uses of Artificial Intelligence in Business*, New York, Brady Books, pp. 247-256.

R. A. Edmunds, *The Prentice Hall Guide to ...*, op. cit., pp. 428-436.

A. Goodall, *The Guide to Expert ...*, op. cit., pp. 203-220.

R. J. Mockler (1989), *Knowledge-Based Systems for Management Decisions*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, pp. 614-618.

Así en 1977 Waldinger<sup>138</sup> hace público un sistema de trabajo para resolución en el que aborda el problema de las interferencias entre subobjetivos aplicando la hipótesis de linealidad. Este sistema, junto al sistema HACKER e INTERPLAN, presentaban el inconveniente de no establecer diferencias entre los componentes secundarios y los principales de un plan, lo cuál a veces les llevaba, durante la resolución de un problema, a ocuparse de detalles poco significativos e importantes. Otro programa de similar naturaleza aparecido por estas fechas fue MOLGEN-I<sup>139</sup>, cuyo desarrollo corrió a cargo de Friedland a partir del año 1979. El mismo tenía como misión asistir y ayudar a los expertos en genética molecular a la hora de realizar la planificación de algunos de sus experimentos. Con posterioridad Stefik, a partir del año 1980, desarrolló MOLGEN-II<sup>140</sup>. Otros sistemas destacados de este periodo son APART concebido por Thomas y Torras en 1986; PANDORA, un sistema diseñado por Wilensky a partir de 1982; el "Planificador Oportunista" desarrollado por un equipo encabezado por Hayes-Roth a partir de 1979; SIPE, un sistema concebido por Wilkins en 1984; DEVISER, una creación de Vere en el año 1983; PULP-I, de Tangwongsan y Fu en el año 1979, etc.

#### B) Lenguajes, Entornos y Herramientas de Programación.

Fue en esta tercera etapa, debido al gran auge que tomaron las investigaciones llevadas a cabo en las diferentes áreas que conforman la Inteligencia Artificial, cuando aparecieron una cantidad importante de lenguajes, entornos de programación y herramientas de desarrollo particularmente diseñados para trabajar en dominios concretos aunque con aplicaciones diversas. Se puede afirmar incluso que, este tercer periodo, es clave en la evolución de esta rama de la informática dado que el interés suscitado por ella en otros ámbitos (empresariales, políticos, etc.), además del universitario, sirvió de impulsor definitivo de la misma hacia el futuro. No obstante, también es cierto que no todos los sistemas y lenguajes dados a conocer tuvieron igual aplicabilidad ni éxito en cuanto a realizaciones y logros alcanzados con cada uno de ellos. De hecho, muchos no sobrepasaron las primeras etapas de su desarrollo alcanzado únicamente el rango de sistemas experimentales (prototipos).

De entre los numerosísimos desarrollos que se podrían reseñar, aquí sólo se mencionarán algunos casos considerados como representativos de los trabajos e investigaciones llevadas a cabo en este momento. Es conve-

<sup>138</sup> R. Waldinger, *Achieving several goals simultaneously*, en E. W. Elcock y E. Michie (eds.), *Machine intelligence*, vol. 8, op. cit., pp. 94-136.

<sup>139</sup> Más información en: P. E. Friedland (1979), *Knowledge-based experiment design in molecular genetics*, Report 79-771, Computer Science Department, Stanford University.

<sup>140</sup> Detalles ampliados en:

M. J. Stefik, *Planning with Constraints (MOLGEN: Part 1)*, *Artificial Intelligence*, vol. 16, pp. 111-140.

M. J. Stefik, *Planning with Constraints (MOLGEN: Part 2)*, *Artificial Intelligence*, vol. 16, pp. 141-170.

niente recordar de nuevo que no es objetivo fundamental de esta obra el realizar una descripción exhaustiva y extensa de los mismos.

De los lenguajes denominados funcionales, ejemplos representativos son MUMPS<sup>141</sup>; UNITS desarrollo de Stefik hecho en la Universidad de Stanford (1979); BRAND X desarrollado por Szolovits en el MIT (1981); OBJETIVE C creado por Cox (1984); SHIRKA creado por Rechenmann en el INRIA (1984); ORBIT desarrollo de L. Steels hecho en Schlumberger (1982); MERING desarrollo de Ferber (1983); LOGO de Papert (1980); PSL<sup>142</sup>, un dialecto de LISP concebido en la Universidad de Utah; QLISP creado bajo la dirección de Sacerdoti (1976); Franz LISP diseñado en la Universidad de California (1979); Le-LISP desarrollado en el INRIA francés (1980); VLISP creado por Vincennes (1976); TLC-LISP 86 desarrollo efectuado por The Lisp Co.; LISP-88 desarrollado por Norell Data Systems; VALID (Value Identification Language) diseñado por Amamiya (1981).

En el caso de los lenguajes orientados a objetos se puede destacar a LRO desarrollo de Roche (1986); KOOL (Knowledge Object Oriented Language) creado por P. Albert (1986); FLAVORS<sup>143</sup> de Moon (1980); OOGMS (Object Oriented Graphical Modelling System) creado por S. Lubinski (1986); ROSS<sup>144</sup> de McArthur y Klahr (1982); OBJVLISP desarrollado por Cointe (1984); Y3 diseño del INRIA y SEMA-METRA (1985); ALOG; FRAIL; KEOPS; NEON; OMEGA; QSL, etc.

Para otro tipo de lenguajes, los declarativos, igualmente se puede hacer mención de algunos de los que aparecieron: PROLOG II desarrollado en la Universidad de Marsella (1981); PROLOG/P creado por el CNET de Lannion en Francia (1982); PROLOG-Criss diseñado por CRISS (1983); PROLOG-FIL desarrollo de FIL (1986); XILOG creación de CEDIAG (1986); Micro-PROLOG desarrollo llevado a cabo en el Imperial College de Londres (1982); PROLOG-86 (1983); Quintus PROLOG (1983); VM/PROLOG creado en el IBM Scientific Center de París (1985); MVS/PROLOG también de IBM (1987); Turbo-PROLOG es un desarrollo hecho en Borland International of Scotts Valley (1986); PROLOG/V desarrollo a cargo de Digital Inc. (1986); ALS PROLOG

---

<sup>141</sup> Detalles del mismo en: C. A. Curtis (1984), *A comparison of LISP and MUMPS as implementation languages for knowledge-based systems*, en *Proceedings of the Seventeenth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.

<sup>142</sup> Consultar: M. L. Griss y otros (1982), *PSL: a portable LISP system*, *Proceedings of the ACM Symposium on LISP and Functional Programming*, Pittsburgh (Pa.).

<sup>143</sup> Para consultas acerca de este lenguaje ver: D. Weinreb y D. Moon (1981), *Objects, message passing and flavors*, *LISP machine manual*, Symbolics Inc. July, pp. 279-313.

<sup>144</sup> Sobre el mismo se puede encontrar más información en:

D. McArthur y P. Klahr (1982), **The ROSS language manual**, Report N-1854-AF, Santa Mónica (Ca.), The Rand Corporation, September.

D. McArthur, D. y otros (1984), **ROSS: An object-oriented language for constructing simulations**, Report R-3160-AF, Santa Mónica (Ca.), The Rand Corporation.

creado por ALS (1987); MPROLOG es una versión bastante considerada y que fue desarrollada en Hungría (1979-82); IC-PROLOG diseño de Clark y McCabe (1979); MU-PROLOG desarrollo llevado a cabo por Naish (1985); SP-PROLOG creado en Bull (1986); Logic WorkBench PROLOG (1985); FUZZY creado por le Fairre (1977); DURAL es una ampliación modal de PROLOG creada por Goto (1981).

En caso de los entornos de programación y las herramientas de desarrollo<sup>145</sup>, serán muy numerosos los proyectos de investigación y realizaciones llevadas a cabo tanto en centros universitarios como en empresas privadas. Estas últimas van a ser las que se encarguen normalmente de la comercialización de los "productos AI" finales. Es por lo tanto esta faceta comercial un fenómeno de suma importancia y trascendencia en el sentido de que la Inteligencia Artificial, en algunas de sus ramas, ha dejado de considerarse ya como una disciplina puramente experimental (de laboratorio) dando paso así a una nueva época donde se va más allá gracias a los resultados obtenidos.

Como ejemplos representativos de este tipo de sistemas se pueden mencionar los siguientes: ERS creado por PAR Technology Corporation; MRS creado en la Universidad de Stanford; GUESS1 creado en el Instituto Politécnico de Virginia; UNIT PACKAGE<sup>146</sup>, creado en la Universidad de Stanford; KL-ONE<sup>147</sup> creado en la compañía BBN; EXTRAN 77 de Intelligent Terminals Ltd.; KS300 de Teknowledge Inc.; ADVISOR creado por ICL KEBC; AL/X<sup>148</sup> diseñado entre la compañía Intelligent Terminals Ltd. y la Universidad de Edimburgo por Reiter; MELD desarrollado en la empresa Westinghouse; CxPERT concebido por Software Plus; KRL-1 y KRL-2<sup>149</sup> (Knowledge Representation Lan-

<sup>145</sup> En el caso de las herramientas conviene hacer una diferenciación entre aquellas que pertenecen a lo que se ha dado en llamar herramientas de primera generación (EMYCIN, PROSPECTOR, ADVISOR, etc.), creadas a partir de un sistema experto, y las denominadas herramientas de segunda generación (KEE, SRL+, ART, etc.). En este segundo caso, las herramientas no son un producto derivado de un sistema experto sino que responden a otra filosofía creativa. Los investigadores pensaron que no se debía desarrollar la herramienta a partir de un sistema experto existente dado que ello suponía una limitación importante para su posterior aplicación (sólo el sistema experto del que se habían derivado). Por ello, las herramientas de segunda generación están más orientadas al apoyo de funciones y tareas de desarrollo lo más generales posibles que, a su vez, posibilite un campo de aplicación de éstas también más amplio.

<sup>146</sup> M. Stefik (1979), *An examination of a frame-structured representation system*, **Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Tokyo, August 20/23, pp. 845-852.

<sup>147</sup> Para cuestiones relacionadas con sus características consultar: J. G. Schmolze y R. J. Brachman (eds.) (1982), **Proceedings of the 1981 KL-ONE Workshop**, Palo Alto (Ca.), Fairchild Laboratory for Artificial Intelligence Research, May.

<sup>148</sup> Si se desea obtener un conocimiento más completo sobre su funcionamiento ver: A. Paterson (1981), **AL/X user manual**, Oxford, Intelligent Terminals Ltd. J. Reiter (1980), **AL/X: an expert system using plausible inference**, Intelligent Terminals Ltd. Report, Machine Intelligence Research Unit, University of Edinburgh.

<sup>149</sup> Detalles de sus características se pueden localizar en: D. G. Bobrow y T. Winograd (1977), *An overview of KRL, a knowledge representation language*, **Cognitive Science**, vol. 1, nº. 1, January, pp. 3-46.

guaje) desarrollados por Bobrow y Winograd; ARS cuyo desarrollo se efectuó en el MIT; TWAICE<sup>150</sup> de Nixdorf Computer AG; POP-11 desarrollado por Hardy en la Universidad de Sussex<sup>151</sup>; TIMM<sup>152</sup> creado por General Research Corp.; SRL<sup>153</sup> (Scheme Representation Language) cuyo desarrollo fue llevado a cabo en el Instituto de Robótica de la Universidad Carnegie-Mellon; Knowledge Craft creado por el Carnegie Group; SRL+ creado por Carnegie-Mellon Group Inc.; M.1<sup>154</sup> y S.1 de la compañía Teknowledge; RuleMaster de Radian Corp.; EPSYLOG creación de Delphia; RADIAL de la empresa Radian Corporation; REVEAL cuyo diseño se efectuó ICL Knowledge Engineering Buss. Center; ICL X desarrollado también por ICL; AMORD diseño efectuado en el MIT; DS2000 desarrollado por Deductive Systems Ltd.; MARS<sup>155</sup> creado en la Universidad de Stanford; CONCHE desarrollo de la Universidad de Leeds; ALICE<sup>156</sup> creado en el Instituto de Programación de París; HCPRVR<sup>157</sup> de la Universidad de Texas; APLICOT de la Universidad de Tokyo; FIT<sup>158</sup> concebido en la Universidad de Hamburgo; PICON<sup>159</sup> e IKE desarrollos de Lisp Machines Inc.; OPS5<sup>160</sup> y OPS/83<sup>161</sup> de la Universidad Carnegie-Mellon; EXPERT OPS5 de Science Applications Inter. Corp.; NEXPERT y NEXPERT-OBJECT de Neuron Data; ARBY creado de forma conjunta por la Universidad de Yale e ITT; SOAR creado en la Universidad Carnegie-Mellon; SPOC desarrollo de ACT Informatique; LOOPS desarrollado en el Centro de Investigación de

<sup>150</sup> Consultar el trabajo: S. Savory (ed.) (1988), **Artificial Intelligence and Expert Systems**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood, p. 17 y pp. 60-116.

<sup>151</sup> Más información acerca de este lenguaje se puede encontrar en: R. Barrett y otros (1985), **POP-11: A Practical Language for AI**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood and Wiley.

<sup>152</sup> Sobre este sistema se pueden ampliar detalles en: S. Liselewich (1983), **TIMM- the intelligent machine model**, Santa Barbara (Ca.), General Research Corporation Report, September.

<sup>153</sup> Detalles sobre su aplicación en: J. M. Wright y M. S. Fox (1983), **SRL/1.5 user manual**, Pittsburgh (Pa.), The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, December.

<sup>154</sup> Los detalles más importantes del sistema se comentan en: *Teknowledge/Framentec launch M1 and S1: shells systems from PCs to VAXs*, **Expert Systems**, vol. 1, n° 2, 1984.

<sup>155</sup> Consultar: N. Sigh (1983), **MARS: A multiple abstraction rule-based simulator**, Report HPP-83-43, Stanford University. Stanford (Ca.), December.

<sup>156</sup> Consultar: J. L. Lauriere (1978) *A language and a program for stating and solving combinational problems*, **Artificial Intelligence**, vol. 10, pp. 29-127.

<sup>157</sup> Una breve descripción se encuentra en: D. Chester (1980), *HCPRVR: an interpreter for logic programs*, **Proceedings of American Association for Artificial Intelligence-80**, pp. 93-95.

<sup>158</sup> Información sobre este lenguaje en: H. Boley (1983), **FIT-PROLOG: a functional/relational language comparison**, Report SEKI-83-14, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern, December.

<sup>159</sup> Para consultas sobre PICON se remite a: D. Morris (1984), *LISP Shows first process-control expert system*, **Electronic Engineering Times**, August 13.

<sup>160</sup> Detalles sobre su manejo en: C. L. Forgy (1981), **OPS5 user's manual**, Report CMU-CS-81-135, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh (Pa.), July.

<sup>161</sup> De él se encuentran detalles en: C. L. Forgy (1983), **Overview of OPS/83**, Pittsburgh (Pa.), Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, June.

Xerox en Palo Alto; KES y KES II de la compañía Software Architecture and Engineering; RLL<sup>162</sup>, concebido en la Universidad de Stanford por Greiner y Lenat; KMS<sup>163</sup> (Knowledge Management System), desarrollado en la Universidad de Maryland; OWL<sup>164</sup> diseño de Szolovits hecho en el MIT, año 1978; NETL<sup>165</sup> diseñado en el MIT; GOSSEYN desarrollado en LMT de Cachau; Knowledge del Carnegie Group; KEE<sup>166</sup> concebido en la compañía Intellicorp; HPRL<sup>167</sup>, una extensión de FRL desarrollada por Rosenberg en el Laboratorio de Investigación en Ordenadores de la compañía Hewlett Packard; DETEKTR concebido por Tektronic Inc.; Micro-EXPERT y Macro-EXPERT de ISIS Systems Ltd.; ESE/MVS y MVS/PROLOG creaciones de IBM; KATE; DUCK<sup>168</sup> un desarrollo de McDermott; ADS concebido en Aion Corp.; Contessa de Prophecy Development Corp.; XSYS desarrollo de California Intelligence; CGF de Knowledge Craft; Expert Edge de Human Edge Software Corp.; VP-Expert de Paperback Software Inc.; Turbo Expert desarrollo del INRA Grignon; OURSE desarrollo de PrologIA; TOPSI concepción de Dynamic Master Systems Inc.; Shells creación de ExpertTelligence; G-LOGIS desarrollo de Graphael; SeRIES concebido por SRI International; PLUME del grupo Carnegie; EXPERKIT de ACT Informatique; Personal Consultant<sup>169</sup> y Personal Consultant Easy de Texas Instrument; Micro-PS de Ashton-Tate; Methods de Digitalk; KNOWOL de Intelligence Machine Inc.; KDS concebido en KDS Corporation; INSIGHT 1+ y 2+ creación de Level 5 Research; IMPULSE de Schulumberger-Doll Research; GURU<sup>170</sup> desarrollo de Micro Data Base Systems inc.; FLOPS 1.2 del Kemp Carraway Heart Institute; 1st Class desa-

<sup>162</sup> Consultar: R. Greiner y D. B. Lenat (1980), *Details of RLL-1*, Report HPP-80-23. Stanford University. Stanford (Ca.), October.

<sup>163</sup> Una descripción se puede encontrar en: J. A. Reggia (1981), *Knowledge-based decision support system: development throught KMS*, (PhD dissertation), Report TR-1121, College Park (Md.), Computer Science Department, University of Maryland.

<sup>164</sup> Detalles del mismo en la obra: L. Hawkinson, *The representation of concepts in OWL, en Advance Papers of the Fourth International Joint ...*, op. cit., pp. 107-114.

<sup>165</sup> Para ampliar detalles de sus características ver: S. E. Fahlman (1979), *NETL: a system for representing and using real world knowledge*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

<sup>166</sup> Para consultas acerca de sus características ver: T. P. Kehler y G. D. Clemenson (1984), *An application development system for expert systems*, *Systems and Software*, vol. 3, nº 1, January.

<sup>167</sup> Sobre HPRL se pueden encontrar más comentarios en: S. Rosenberg, *HPRL: a language for building expert systems*, en *Proceedings of the Eighth International Joint ...*, op. cit pp. 215-217.

<sup>168</sup> Ver el artículo: *DUCK builds intelligent systems*, *Applied Artificial Intelligence Reporter*, vol. 2, nº. 2, November (1984).

<sup>169</sup> Sobre este sistema se puede consultar: *Artificial Intelligence Publications, The Personal Consultant, The AI Report*, vol. 1, nº 12, 1984.

<sup>170</sup> La siguiente obra se puede consultar si se desea un desarrollo de las características del sistema: J. P. Gallagher (1988), *Knowledge Systems for Business, Integrating Expert Systems & MIS*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, pp. 121-135.

rollo de Programs in Motion Inc.; TIGRE desarrollado por el INRA y Cognitech; EXSYS de Exsys Inc.; Expert Choise desarrollo de Decision Support Software; Toolkit creado en Technologies Inc.; IROISE concebido en el CNET de Lannion; Expert One de Softsync Inc.; Expert Easy de la compañía Intelligent Terminals Ltd.; KISS de Brainware, SNARK creado en el Instituto de Programación de París Jussieus; ALOUETTE creación de Mulet-Marquis y Gondran; AGE desarrollado en la Universidad de Stanford por Nii y Aiello; ADVICE y GPSI creados en la Universidad de Illinois; ESP Advisor de Expert Systems International; PIE desarrollado en el Xerox Palo Alto Research Center; ESI de Abacus Programming Corp.; DAISY de Lithp Systems; Expert-2 desarrollo de Helion Inc.; ART<sup>171</sup> y ART-IM desarrollos de Inference Corporation; EMYCIN<sup>172</sup> desarrollado en la Universidad de Stanford; ESSAI de ITT Europe Engineering Support; EXPERT<sup>173</sup>, Rule Writer y SEEK creados en la Universidad de Rutgers; GETREE desarrollado por General Electric Company; Intelligence Service creado por Tecsi-Software Company; APES<sup>174</sup> (entorno de PROLOG) desarrollo hecho en el Imperial College de Londres; YAPES (entorno de PROLOG); Arity Expert System desarrollado por Arity Corp.; BABYLON concebido por di Primio y Christaller; ROGET de la Universidad de Stanford; CANDI del Batelle Institut; CHATTER de SRI International; Testbeach creado por el Carnegie Group; SAVOIR<sup>175</sup> de la compañía británica ISI; KBS<sup>176</sup> diseñado en la Universidad Carnegie-Mellon; HEARSAY-III concebido en el ISI; NEXUS concebido por Mind Software; Inference-Manager; LAP creado por IIRIAM y la Universidad de Marsella; HUMBLE creado por Xerox Special Information Systems; Expert LISP creado por ExpertTelligence; FRL<sup>177</sup> (Frame Representation Language) creación de Roberts y Goldstein desarrollada en el

---

<sup>171</sup> Más detalles se encuentran en: B. D. Clayton (1984), **ART programming primer**, Report, Inference Corporation, Los Angeles (Ca.).

<sup>172</sup> Para ampliar detalles acerca de este lenguaje consultar:

J. S. Bennett y R. S. Engelmores, *Experience using EMYCIN*, en B. Buchanan y E. Shortliffe (eds.), **Rule-Based ...**, op. cit., pp. 315-328.

W. van Melle y otros, *EMYCIN: a knowledge engineer's tool for constructing rule-based expert system*, en B. Buchanan y E. Shortliffe (eds.), **Rule-Based ...**, op. cit., pp. 302-313.

<sup>173</sup> S. M. Weiss y otros (1980), **A guide to the use of the EXPERT consultation system**, Technical Report CBM-TR-94, Computer Science Department, Rutgers University, New Brunswick (N. J.), January.

<sup>174</sup> Consultar: P. Hammond y M. Sergot (1985), **The Apes User Manual**, Richmond (U. K.), Logic Based Systems Ltd.

<sup>175</sup> Detalles de SAVOIR se encuentran en: *SAVOIR: expert systems meet the videotex mass-market*, **Expert Systems**, vol. 1, nº 2, pp. 105-106.

<sup>176</sup> Consultar para ampliar información sobre el sistema: Y. V. Reddy y M. S. Fox (1982), **KBS: an artificial intelligence approach to flexible simulation**, Report CMU-RI-TR-82-1, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh (Pa.).

<sup>177</sup> Para ampliación se puede consultar la obra: I. P. Goldstein y R. B. Roberts, *NUDGE, a knowledge-based scheduling program*, en **Proceedings of the 5th international Joint ...**, op. cit., pp. 257-263.

MIT (1977); KRYPTON desarrollado en los Laboratorios de Inteligencia Artificial de la Compañía Fairchild; KANDOR<sup>178</sup> que fue también desarrollado en dichos laboratorios; el lenguaje CSRL<sup>179</sup>, creado en la Universidad de Ohio State; DPL<sup>180</sup> (Design Procedure Language) fue concebido en el MIT; ESHELL de Fujitsu; KAS<sup>181</sup> desarrollado en el SRI International; CRL (posteriormente SRL+) de la Universidad Carnegie-Mellon; TEIRESIAS de la Universidad de Stanford; DECIDEX diseño de Levine y Maillard; ACLS desarrollo hecho en la Universidad de Edimburgo; ETS en el Boeing Computer Service; MORE desarrollo de la Universidad Carnegie-Mellon; AIMDS<sup>182</sup> creado en la Universidad de Rutgers por Sridharan (1980); HSRL<sup>183</sup> un desarrollo de la Universidad Carnegie-Mellon; PSYCO concebido por Fox en la Imperial Cancer Research Fund y el Queen's Medical Centre; PRISM<sup>184</sup> de IBM; ROSIE<sup>185</sup>, diseñado por Rand Corporation; GEN-X<sup>186</sup>, un lenguaje desarrollado por la compañía General Electric; GLIB, un desarrollo de Tektronic Inc.; RITA creado por Anderson en Rand Corporation; LES<sup>187</sup> concebido en la compañía Lockheed; y EXPRS<sup>188</sup> concebido en los laboratorios de la empresa Lockheed en Palo Alto.

<sup>178</sup> Consultar: P. Patel-Schneider (1984), *Small can be beautiful in knowledge representation*, en **Proceedings of the IEEE Workshop on Principles of Knowledge Based Systems**, Silver Spring (Md.), IEEE Computer Society Press.

<sup>179</sup> Detalles acerca de este lenguaje se encuentran en: T. Bylander y otros, *CSRL: a language for expert systems for diagnosis*, en **Proceedings of the Eighth International Joint ...**, op. cit., pp. 218-221.

<sup>180</sup> Su funcionamiento se describe en la obra: J. Batali y A. Hartheimer (1980), **The design procedure language manual**, Report AIM-598, Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).

<sup>181</sup> Consultar la obra: R. O. Duda y R. Reboh, *AI and decision making: the PROSPECTOR experience*, en W. Reitman (ed.) (1984), **Artificial Intelligence Applications for Business**, Norwood (N. Y.), Ablex Publishing Corp.

<sup>182</sup> Detalles sobre su funcionamiento se encuentran en: N. S. Sridharan (1978), **AIMDS user manual, version 2**, Technical Report CBM-TR-89, New Brunswick (N. J.), Computer Science Department, Rutgers University.

<sup>183</sup> J. M. Wright y M. S. Fox, **SRL/1.5 ...**, op. cit.

<sup>184</sup> Sobre este sistema conviene consultar: T. Murphy (1984), *Artificial Intelligence topics at IBM*, **IBM Research Highlights**, n° 2, 1984.

<sup>185</sup> Consultar:

J. Fain y otros (1981), **The ROSIE language reference manual**, N-1647-ARPA, The Rand Corporation.

H. A. Sowizral y J. R. Kipps, *ROSIE: A Programming Environment for Expert Systems*, en P. Klahr y D. A. Waterman (ed.), **Expert Systems. Techniques ...**, op. cit., pp. 27-68.

<sup>186</sup> Para un mayor conocimiento de este lenguaje consultar: J. W. Lewis y otros (1983), **GEN-X: Generic Expert System**, Information Science Laboratory Report, Schenectady (N. Y.), General Electric Co.

<sup>187</sup> Un comentario acerca del mismo se encuentra en: T. J. Laffey y otros (1984), *Reasoning about fault diagnosis with LES*, en **Proceedings of the First Conference on Artificial Intelligence Applications**, IEEE Computer Society, December.

<sup>188</sup> Información adicional en: V. J. Pecora, Jr. (1984), *EXPRS- a prototype expert system using Prolog for data fusion*, **The AI Magazine**, Summer.

### C) Procesamiento del Lenguaje Natural.

Es esta etapa, sin duda, la que recoge la aparición de un mayor número de programas que ejecutan multiplicidad de tareas relacionadas con algunas de las especialidades específicas de este campo de la Inteligencia Artificial. Se pueden citar, como sistemas representativos de este ámbito, los siguientes: INTELLECT (interface de consulta a bases de datos) desarrollada por Harris; LIFER (interfaces de consultas en inglés utilizando lenguaje natural) concebida por Hendrix; SAM (programa que puede entender relatos relativamente cortos) y PAM (programa dedicado a la interpretación de textos) son sistemas desarrollados por Schank y Abelson<sup>189</sup> en la Universidad de Yale; SAVVY (interfaz de lenguaje natural concebida específicamente para microordenadores) creada por la compañía Excalibur Technologies; SPANAM programa creado en la PAHO; EUROTRA<sup>190</sup> (traducción por ordenador) desarrollo que se realiza en 8 países miembros de la CEE; PLANES<sup>191</sup> (programa de acceso a bases de datos); LADDER (programa para acceso a bases de datos); UC<sup>192</sup> (interfaz para el sistema operativo UNIX) creado por Wilensky; NATURAL-Link (sistema de consulta en lenguaje natural) concebido en Texas Instrument; JETS (programa de acceso a bases de datos); Xcalibur<sup>193</sup> (programa de acceso al sistema experto XSEL en lenguaje natural) desarrollado por Carbonell en la Universidad Carnegie-Mellon; CLOUT desarrollado por Microrim Inc.; TQA (programa de acceso a bases de datos); RAMIS II (interfaz de consulta a bases de datos) desarrollo de Mathematica Products; UC (interfaz con el sistema operativo UNIX) creado por Wilensky; TEAM<sup>194</sup> (programa de acceso a bases de datos) creado en el SRI; CULT (programa de traducción automática); Abdul-Ilana (programa de comprensión del lenguaje) creado en la Universidad de Yale; AIC (interfaz de consulta a bases de datos) creada por IBM; Language Craft (sistema de comprensión del lenguaje) creada por el Carnegie Group Inc.; FRUMP (Fast Reading Understanding and Memory Program) re-

---

<sup>189</sup> Consultar para más detalles de ambos sistemas la obra: R. C. Schank y R. P. Abelson (1977), **Scripts, plans, goals, and Understanding**, Hillsdale (N. J.), Lawrence Erlbaum.

<sup>190</sup> Sobre el funcionamiento de este sistema se puede consultar: R. Johnson y otros (1985), *EUROTRA: A multilingual system under development*, **Computational Linguistics**, vol. 11, nº. 2-3.

<sup>191</sup> Una descripción del sistema aparece en: D. Waltz (1978), *An English Language Questions Answering System for a large relational database*, **Communications of the Association for Computing Machinery**, vol. 21, pp. 526-539.

<sup>192</sup> Consultar para más detalles: R. Wilensky (1984), *Talking to UNIX in English. An overview of an on-line Unix Consultants*, **Communications of the Association for Computing Machinery**, vol. 27, nº 6, Junio.

<sup>193</sup> Más detalles se pueden encontrar en: J. Carbonell y otros (1983), *The Xcalibur Project: A Natural Language Interface to Expert Systems*, **Proceedings of the Eighth International Joint ...**, op. cit.

<sup>194</sup> Ver la obra: B. Grosz (1982), *TEAM: A transportable natural language interface system*, **SRI Technical Note 263R..**

sume las noticias recibidas por telex desde una agencia de noticias; TRESLOG<sup>195</sup> (sistema que traduce/convierte frases en castellano a proposiciones de lógica clausular); FOCUS es una interfaz de consulta a bases de datos, concebida por Information Builders; HEARSAY-III<sup>196</sup> creado en el ISI; DIALOGIC<sup>197</sup>; SPEECHLIS y su sucesor HWIM fueron programas creados en la compañía BBN, dentro del marco genérico del programa de investigación ARPA; HARPY<sup>198</sup>, creado en la Universidad de Carnegie-Mellon, es un programa orientado a la comprensión del lenguaje natural en relación con la recuperación de información almacenada en una base de datos.

#### D) Visión Artificial.

Es un hecho incuestionable que, en las últimas décadas, esta disciplina ha experimentado una progresión considerable al haber incorporado a los conocimientos y aplicaciones ya existentes nuevas ideas y técnicas que le han permitido alcanzar un mayor grado de aplicabilidad. Actualmente, y dada la importancia que han ganado las aplicaciones industriales aparecidas en el seno de este campo, se vive un momento en el que se está produciendo una clara potenciación de la vertiente tecnológica, en detrimento de la científica, que resulta ser menos espectacular y aprovechable a corto plazo. Sin embargo, hay que reconocerle a ésta última un papel trascendental y vital en la superación de algunas dificultades que aún se plantean sobre cuestiones básicas y que, una vez solventadas, permitirán un avance sustancial en la elaboración de unas bases teóricas sólidas para el desarrollo futuro de esta materia.

Dentro del apartado referido a lo que es investigación de base se pueden reseñar numerosos estudios y trabajos que tienen relación con los siguientes contenidos:

- Identificación de imágenes. Análisis de una imagen para concretar sus rasgos más característicos que con posterioridad serán comparados con los de distintos objetos que se han incorporado a una base de datos, pudiendo así determinar cuáles de ellos se encuentran presentes en la imagen analizada. Algunos trabajos pioneros en este aparta-

<sup>195</sup> Detalles del mismo están accesibles en: G. Morales Luna y S. Guardati de Cairó, *TRESLOG: Traslating from Spanish to Clausal form Propositions*, en D. S. Moralee (ed.) (1988), *Research and Development in Expert Systems IV, Proceedings of Expert Systems'87, the Seventh Annual Technical of the British Computer Society specialist Group on Expert Systems*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 222-233.

<sup>196</sup> Para consultas acerca del sistema ver: L. D. Erman y otros (1981), *The design and an example use of HEARSAY-III*, *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vancouver (Canadá), August 24/28, pp. 409-415.

<sup>197</sup> Detalles del mismo se pueden consultar en: B. Grosz y otros (1982), *DIALOGIC: A core natural language processing system*, SRI Technical Note 270.

<sup>198</sup> Sobre el sistema HARPY es conveniente consultar: B. Lowerre y R. Reddy, *The HARPY speech understanding system*, en W. Lea (ed.) (1980), *Trends in speech recognition*, Englewood Cliffs (N. J.), pp. 340-360.

- do son los de Horn y sus conocidos "Albedo Maps". Con posterioridad se darían a conocer también los de Barrow y Tenenbaum y sus imágenes intrínsecas (Intrinsic Images).
- El reconocimiento y diferenciación de texturas y superficies, además de las técnicas para la segmentación de éstas. Algunos estudios relevantes se han llevado a efecto por parte de diversos equipos de investigación como los de Tamura, Tomita y Tsuji, Marr y Poggio, Schatz, Rosenfeld y Kak, etc.
  - El estudio y la interpretación de formas monoculares.
  - El desarrollo de un cuerpo matemático apropiado e incorporable a los desarrollos orientados a la comprensión de imágenes.
  - La incorporación a los sistemas visuales de modelos de iluminación, sombreado y superficies en imágenes y escenas.
  - "Binocular Vision" (Stereo Vision): determinación de la forma de objetos tridimensionales a partir de la percepción de imágenes bidimensionales correspondientes a los mismos. Destacan los trabajos de Marr y Poggio, Mori, Kidode y Asada, etc.
  - El reconocimiento y la descripción de formas y cuerpos tridimensionales. De su estudio y análisis se ocuparon equipos de investigación como los de Marr y Nishihara, Popplestone, Brown, Ambler y Crawford, Sugihara, Oshima y Shirai, Deda, Nitzan y Barret, etc.
  - Desarrollo de distintos algoritmos aplicables en la consecución de la visión artificial.
  - Análisis de imágenes donde el movimiento es un elemento clave, además de otras cuestiones importantes relacionadas con este mismo aspecto. Citar como ejemplo, las investigaciones realizadas por Horn, Chow y Aggarwal, Ullman, etc.
  - Análisis de zonas. Se continuó trabajando sobre esta cuestión destacando algunos estudios hechos por Shafer; Coleman y Andrews; Milgram y Kahl; Ohlander.
  - Técnicas genéricas para la detección de bordes y líneas. Importantes han sido en este ámbito las aportaciones hechas por Marr y Hildreth dentro de la labor que han desarrollado en el MIT, así como los distintos estudios realizados en las Universidades Carnegie-Mellon y Stanford.
  - Una gran parte de los estudios realizados sobre el análisis y el reconocimiento de imágenes han sido efectuados a partir de casos donde sólo se contemplaban figuras en blanco y negro. No obstante, en trabajos más recientes, se ha empezado a abordar esta misma cuestión pero también desde la perspectiva del análisis de imágenes en color.

Reseñar finalmente que Tenenbaum, junto con algunos de sus alumnos, desarrolló a partir del año 1979 un método de organización para un sistema de visión de propósito general.

En lo que al ámbito de la práctica se refiere, hay que apuntar el hecho de que a pesar del importante desarrollo que experimentaron en la década de los ochenta los sistemas de visión, especialmente como aplicaciones para robótica, éstos apenas si incorporaron tecnología propia de la Inteligencia Artificial para analizar y estudiar lo que observaban. No obstante es posible citar, aunque de forma no exhaustiva, algunos casos que muestren el nivel de conocimiento y desarrollo alcanzado para este tipo de realizaciones en el periodo considerado. Así, se puede mencionar el caso del programa creado en 1978 por Sloman en la Universidad de Edimburgo y al que se le denominó POPEYE. De forma un tanto básica, éste era capaz de detectar líneas utilizando para ello imágenes digitalizadas de televisión. Otros dispositivos y sistemas de visión destacados son: ACRONYM, cuyo diseño se llevó a efecto en la Universidad de Stanford para la interpretación de escenas generales con objetos que se pueden distinguir. También conviene reseñar el dispositivo de visión concebido por Rossol, Ward y Holland para el sistema robotizado KEYSIGHT-I y que fue desarrollado por la multinacional General Motors. En el SRI International diseñaron el sistema-guía de visión denominado SRI Vision Module. El mismo podía realizar diversas tareas de reconocimiento e inspección visual. Otro sistema, el Query-oriented Vision System, fue concebido por Brown, Ballard y Feldman en la Universidad de Rochester. VISIONS es un sistema que se creó en la Universidad de Massachusetts y que se orientó a la interpretación general de escenas reconocibles a partir de la observación de paisajes diversos. Finalmente recoger el diseño del sistema de visión llevado a cabo por Ejiri, Kashioga y Sakamoto en la firma Hitachi y que es utilizado para realizar tareas que tienen que ver con diversos procesos relacionados con la electrónica de precisión.

Como punto final y antes de cerrar este apartado, sería conveniente hacer una breve reseña de algunos de los centros de investigación públicos y privados donde, en los últimos años, se han desarrollado programas entorno a alguna de las áreas bajo estudio que se mencionaron con anterioridad. Tomando como referencia los países donde se encuentran radicados éstos se pueden destacar los siguientes:

- Alemania: Universidades de Hamburgo, Stuttgart y Karlsruhe.
- Suiza: Escuela Politécnica Federal de Lausanne, el Instituto Federal Suizo de Tecnología y el Brown Boveri Research Center.
- URSS: Instituto de Ciencias de Control en Moscú.
- Francia: el Laboratorio de Automática y el Laboratorio IMAG de Grenoble, el Laboratorio de Automática y Análisis de Sistemas y la Universidad Paul Sabatier de Toulouse, la Universidad de Ciencias y Técnicas del Languedoc, etc.

- Estados Unidos: el laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT, el National Institute of Health, el Instituto Politécnico de Virginia, el Stanford Research Institute International, el Rensselaer Polytechnic Institute, el National Bureau of Standards, y el Laboratorio de Investigación de la compañía General Motors. En otro apartado, hay que destacar la labor de apoyo desplegada por la agencia DARPA para la consecución de programas de investigación en Universidades como las de Southern California, Rochester, Stanford, Rhode Island, Maryland, Carnegie-Mellon, Massachusetts, etc. Dentro de este mismo ámbito otras Universidades destacadas por los trabajos en ellas desarrollados son las de Texas, Purdue, Illinois, California (Berkeley), North Carolina, y Pennsylvania, entre otras.

También empresas privadas como Videometrix, General Motors, General Electric, Eastman Kodak, Intran, View Michigan, Machine Vision International, Cognex, Control Automation, Machine Intelligent Corporation, Automated Vision Systems, Image Recognition Systems, y algunas más, están desempeñando un destacado papel en cuanto a investigación y desarrollo de sistemas se refiere.

- Japón: las Universidad de Osaka y Nagoya, el Instituto Tecnológico de Tokyo, el Hitachi Central Research Laboratory, etc.
- Gran Bretaña: Universidades de Edimburgo, Nottingham, etc.
- Suecia: la compañía ASEA Robotics.
- Australia: Universidad Nacional Australiana.
- Canadá: Universidad de Waterloo.

### E) Aprendizaje Automático.

Va a ser lógicamente durante este último periodo cuando surja la corriente más moderna sobre esta técnica. Dicha tendencia quedará plasmada en trabajos de investigación como los de Winston<sup>199</sup>, Michalski<sup>200</sup>, Quinlan<sup>201</sup>, Buchanan<sup>202</sup>, además de algunos otros investigadores que son los que verdaderamente le han dado su configuración actual.

---

<sup>199</sup> P. Winston, *Learning Structural Descriptions from Examples*, en P. Winston (ed.) (1975), **The Psychology of Computer Vision**, New York, McGraw-Hill, pp. 157-209.

<sup>200</sup> R. S. Michalski, *A Theory and Methodology of Inductive Learning*, en R. S. Michalski y otros (eds.) (1983), **Machine Learning, an Artificial Intelligence Approach**, Palo Alto (Ca.), Tioga Publications Co., pp. 83-134.

<sup>201</sup> J. R. Quinlan, *Discovering Rules by Induction from Large Collections of Examples*, en D. Michie (ed.) (1979), **Expert Systems in the Micro-electronic Age**, Edinburgh, Edinburgh University Press, pp. 168-201.

<sup>202</sup> B. G. Buchanan y T. M. Mitchell, *Model-directed learning of production rules*, en D. A. Waterman y F. Hayes-Roth (eds.) (1978), **Pattern-directed inference systems**, New York, Academic Press, pp. 297-312.

En lo referente a la aparición de nuevos sistemas y programas de aprendizaje, las novedades van a ser numerosas: el sistema Meta-DENDRAL<sup>203</sup>, cuyo desarrollo corrió a cargo de Buchanan, permite la generación de reglas mediante la aplicación del aprendizaje a partir de ejemplos, destinadas éstas a ser aplicadas en el sistema experto DENDRAL; BACON<sup>204</sup> está constituido por un conjunto de programas desarrollados por Langley cuyo objetivo es resolver una serie de cuestiones que tienen que ver con el aprendizaje de tareas no muy complicadas; AGAPE, desarrollo de Kodratoff, es un sistema con capacidad para el aprendizaje de reglas; LEX<sup>205</sup> desarrollado por Mitchell, es un programa que aprende, a partir de ejemplos, integración de funciones matemáticas; PLANT/DS<sup>206</sup> es otro sistema desarrollado por Michalski y Chilausky el cual puede generar reglas aplicando un método inductivo; el mismo Michalski junto con algunos colaboradores concibieron en la Universidad de Illinois AQ11<sup>207</sup>, un programa para la generación y el aprendizaje de reglas de decisión; INDUCE 1.2<sup>208</sup> creado por Dietterich y Michalski, emplea como técnica de aprendizaje la generación y contrastación de hipótesis (inducción).

Otros programas y realizaciones en este mismo ámbito a tener presentes son: Expert-Easy, concebida por Michie, es una herramienta para el desarrollo

<sup>203</sup> Detalles del mismo se encuentran en:

T. G. Dietterich y R. Michalski, *A comparative review of selected methods for learning from examples*, en R. Michalski y otros (1983), **Machine Learning**, Palo Alto (Ca.), Tioga Publications Co.

B. G. Buchanan y T. M. Mitchell, *Model-directed learning of production rules*, en D. A. Waterman y F. Hayes-Roth (eds.), **Pattern-directed ...**, op. cit., pp. 297-312.

<sup>204</sup> Si se desea un conocimiento más complemento del mismo es aconsejable consultar: P. W. Langley, *Rediscovering physics with BACON 3*, **Proceedings of the Sixth International Joint ...**, op. cit., pp. 505-507.

<sup>205</sup> El sistema se describe en: T. M. Mitchell y otros, *Learning problem-solving heuristics through practice*, **Proceedings of the Seventh International Joint ...**, pp. 127-134.

<sup>206</sup> Una descripción completa del sistema se encuentra en:

R. S. Michalski y R. L. Chilausky, *Knowledge acquisition by encoding expert rules versus computer induction from examples: a case study involving soybean pathology*, en E. H. Mamdani y B. R. Gaines (1981), **Fuzzy Reasoning and its Applications**, London, Academic Press, pp. 247- 271.

R. S. Michalski y otros (1982), *PLANTS/DS: an expert consulting systems for the diagnosis of soybean diseases*, en **Proceedings of the Fifth European Conference on Artificial Intelligence**, Orsay (France), July.

<sup>207</sup> Una ampliación en detalle de su composición y funcionamiento se puede encontrar en:

P. R. Cohen y E. A. Feigenbaum (eds.), **The Handbook of ...**, op. cit., vol. 3, pp. 423-427.

R. Forsyth (ed.) (1989), **Expert Systems. Principles and case studies** (2nd. edition), London, Chapman and Hall Computing, pp. 207-213.

P. Jackson, **Introduction to Expert ...**, op. cit., pp. 442-445.

<sup>208</sup> Más detalles en:

T. G. Dietterich y R. S. Michalski (1981), *Inductive learning of structural descriptions: Evaluation criteria and comparative review of selected methods*, **Artificial Intelligence**, vol. 16, pp. 257-294.

R. Forsyth (ed.), **Expert Systems. Principles ...**, op. cit., pp. 207-213.

de sistemas expertos que incorpora también el aprendizaje a partir de ejemplos; EURISKO<sup>209</sup>, es un sistema experto desarrollado por Lenat que aplica el aprendizaje inductivo en el diseño de circuitos electrónicos tridimensionales; ID3<sup>210</sup>, desarrollado por Quinlan a partir del año 1979 en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Sidney, toma como base el algoritmo CLS (Concept Learning System) y es capaz de aprender acerca de temáticas diversas; AM<sup>211</sup>, concebido por Lenat, aplica técnicas de aprendizaje inductivo para descubrir conceptos en matemática elemental y teoría de conjuntos; FOO<sup>212</sup> (First Operational Operationalizer) es un programa concebido por Mostow y que es resultado de un proyecto de investigación mucho más amplio a cargo de varias instituciones norteamericanas. FOO es un sistema cuya metodología de aprendizaje es la enseñanza directa (taking advice), convirtiendo las indicaciones y consejos que se le suministran en procedimientos efectivos y ejecutables; TEIRESIAS<sup>213</sup> fue concebido inicialmente por Davis (Stanford University) como una herramienta de ayuda para la construcción de sistemas que permite añadir, modificar o eliminar las reglas del sistema experto MYCIN, incorporando también la técnica del aprendizaje mediante enseñanza directa; un proyecto importante es el del sistema VEXED-LEAP de Mitchell, capacitado para aprender y ayudar en el diseño de circuitos VLSI (Very Large Scale Integration); la máquina de Boltzmann (intento de simular el funcionamiento del cerebro humano) es un desarrollo de 1985 a cargo de un grupo de trabajo de la Universidad Carnegie-Mellon bajo la dirección de Hinton; ACLS desarrollado por Intelligent Terminals Ltd.

#### F) Programación Automática.

Fue en este último periodo cuando se registró un mayor auge en el desarrollo de trabajos orientados a la consecución de este tipo de aplicaciones

---

<sup>209</sup> Consultar para una descripción más completa:

D. B. Lenat (1980), *The nature of heuristics*, Report No. HPP-80-26, Heuristic Programming Project, Computer Science Department, Stanford University.

D. B. Lenat y otros (1982), *Heuristic search for new microcircuit structures: An application of artificial intelligence*, *AI Magazine*, Summer, vol. 3, pp. 17-33.

<sup>210</sup> Un amplio desarrollo de su contenido se puede encontrar en:

P. Jackson, *Expert ...*, op. cit., pp. 445-450.

J. R. Quinlan, *Discovering rules ...*, op. cit.

<sup>211</sup> Un análisis más completo de su contenido se incluye en:

D. B. Lenat, *AM: An Artificial Intelligence approach to discovery in mathematics and heuristic search*, en R. Davis y D. B. Lenat (1980), *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*, New York, McGraw-Hill.

<sup>212</sup> Consultar la descripción del sistema recogida en: D. J. Mostow (1981), *Mechanical transformation of task heuristics into operational procedures* (Doctoral Dissertation), Report No. CS-81-113, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University.

<sup>213</sup> Para una profundización en su conocimiento consultar:

R. Davis y D. Lenat, *Knowledge-Based ...*, op. cit., pp. 229-490.

R. Davis, *TEIRESIAS: experiments in communicating with a knowledge-based system*, en M. E. Sime y M. J. Coombs (eds.) (1983), *Designing for Human-Computer Communication*, London, Academic Press, pp. 87-137.

no generales sino con capacidad limitada a un contexto muy determinado y concreto. Además, ha sido en proyectos como el de Quinta Generación de Ordenadores donde esta cuestión se ha considerado como de alto interés para la consecución de los objetivos fijados en los mismos. Esta mayor actividad no se ha visto, sin embargo, reflejada en un aumento de la aplicabilidad de las técnicas y procedimientos experimentales sobre los que se ha estado investigando. Es quizá la ingeniería del software, y más concretamente la cuestión relativa a la automatización de la programación, uno de los campos donde menos han acompañado los resultados obtenidos a los esfuerzos realizados en la resolución de las cuestiones y problemas que se han afrontado.

Pasando al análisis concreto de los estudios realizados cabe resaltar, en primer lugar, los intentos llevados a cabo en el ISI norteamericano para la creación de sistemas generadores de programas partiendo de especificaciones hechas en lenguaje natural y cuyo destino era el campo de las comunicaciones vía satélite y también el procesamiento de textos. Con ellos se pusieron en evidencia cuestiones de gran importancia y trascendencia. Otros trabajos más recientes, desarrollados igualmente en el ISI, se orientan al desarrollo de técnicas que capaciten al ordenador para tomar decisiones que tengan que ver con el diseño del programa.

También los trabajos de Biermann<sup>214</sup>, llevados a cabo a partir de 1976, y de Hammer y Ruth<sup>215</sup>, en 1979, están orientados al análisis de diversos aspectos relacionados con la evolución de la programación automática. En el año 1979 Manna y Waldinger inician diversas investigaciones cuyo propósito principal se concreta en la síntesis de programas mediante la deducción. Por último Green y Barstow estudiaron, a partir de 1978, diversos aspectos relacionados con el conocimiento sobre programación que debe incorporar un sistema cuyo propósito es programar de forma automática.

En referencia al desarrollo de sistemas concretos se pueden citar algunos casos representativos. Un primer ejemplo es el del sistema Crystal, que fue desarrollado por un equipo del Carnegie Group Inc. El mismo está concebido para la creación y gestión de software aunque, de hecho, su último objetivo sea la automatización de la generación de éste mediante la aplicación de conocimientos de desarrollo a una base cognitiva configurada a partir de las especificaciones hechas por el usuario.

En el MIT Rich, Shrobe y Waters se encargaron de desarrollar el sistema al que se le reconoce por Programmer's Apprentice<sup>216</sup>. Éste es más bien una

<sup>214</sup> Recogido en: A. W. Biermann (1976) *Approaches to automatic programming*, *Advances in ...*, op. cit.

<sup>215</sup> Para consultas acerca de esta investigación ver: M. Hammer y G. Ruth, *Automating the software development process*, en P. Wegner (ed.), *Research ...*, op. cit., pp. 767-790.

<sup>216</sup> Detalles acerca de los principios fundamentales sobre los que se sustenta el sistema se encuentran en:

herramienta de programación automatizada que ayuda al programador en el desempeño de su tarea. Otro sistema para la automatización de la programación es Phi-naught. Desarrollado por la empresa Shlumberger Ltd., Phi-naught genera programas en Fortran mediante la aplicación de diversas técnicas inteligentes de programación. El siguiente caso a reseñar es el de PECOS. Se trata de un sistema experto creado por Barstow, que utiliza descripciones de programas que se le suministran para apoyar el desarrollo automático de otros. El mismo se encuentra a su vez, junto con el sistema LIBRA<sup>217</sup> (concebido por Kant), incorporado a un proyecto de más envergadura denominado PSI<sup>218</sup>. Dicho proyecto se concreta, en realidad, en el desarrollo de otro sistema experto (hay quien considera que el proyecto PSI se compone de diversos sistemas expertos integrados) compuesto por varios módulos integrados en una única estructura para la automatización programática. Su desarrollo se llevó a cabo de forma compartida entre la Universidad de Stanford y la compañía Systems Control Inc., corriendo el mismo por cuenta de un equipo de investigadores a cuya cabeza se encontraba Green. La continuación en el Instituto Kestrel (Palo Alto) de las investigaciones iniciadas con el proyecto anterior dieron como resultado la creación de otro sistema (entorno) denominado CHI<sup>219</sup>, el cual pone a disposición del programador toda una serie de herramientas inteligentes de las que servirse en el desempeño de su tarea creativa.

DEDALUS<sup>220</sup> (Deductive Algorithm Ur-Synthesizer) se sirve de las especificaciones que se le hacen del programa deseado para ayudar a generarlo de forma automática en LISP mediante la aplicación de métodos deductivos. Fue concebido en el SRI International por Manna y Waldinger. El sistema ID3, creado por Quinlan en el Departamento de Ciencias de la Computación de la

---

(continuación de nota 216)

C. Rich y H. E. Shrobe (1978), *Initial report on a LISP programmer's apprentice*, IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 4, nº 6, November, pp. 456-467.

C. Rich, *The Programmer's Apprentice*, en P. H. Winston y K. A. Prendergast (eds.), *AI ...*, op. cit., pp. 121-132.

<sup>217</sup> Este sistema fue desarrollado de forma paralela al proyecto PSI en la Universidad de Stanford. De él se pueden encontrar descripciones en: E. Kant (1979), *Efficiency considerations in program synthesis: A knowledge-based approach* (Doctoral Dissertation), Computer Science Department, Stanford University.

<sup>218</sup> Consultar para ampliación:

C. Green (1976), *The design of the PSI program synthesis system*, Proceedings of the Second International Conference on Software Engineering, pp. 4-18.

C. Green, *A summary of the PSI program synthesis system*, en Proceedings of the Fifth International Joint ..., op. cit., pp. 380-381.

<sup>219</sup> Para profundizar en su conocimiento ver: C. Green y otros (1981), *Research on knowledge-based programming and algorithm design*, Memo KES.U.81.2, Palo Alto (Ca.), Kestrel Institute.

<sup>220</sup> Para ampliar su conocimiento consultar: Z. Manna y R. Waldinger (1978), *DEDALUS-The DEDuctive ALgorithm Ur-Synthesizer*, National Computer Conference, Anaheim (Cal.), pp. 683-690.

Universidad de Sidney, está concebido para que resuelva partidas de ajedrez mediante un método que genera en LISP el programa necesario para ello. QA3<sup>221</sup> es un sistema de los denominados de propósito general cuyo objetivo es la resolución, en campos diversos, de problemas no excesivamente complicados entre los que se encuentra la programación automática. NLPQ<sup>222</sup> (Natural Language Programming for Queuing Simulation) admite diálogos en lenguaje natural como método a emplear en la etapa de especificación del programa que se pretende crear. El mismo se concibió en dos etapas: la primera transcurrió en la Universidad de Yale (1967) con los trabajos de Heidorn y la segunda en la Naval Postgraduate School (1968-1972) donde concluyó el desarrollo. El sistema SAFE<sup>223</sup> fue concebido en la Universidad del Sur de California por un equipo de investigación formado por Balzer, Wile, Williams y Goldman. Dicho sistema es capaz de generar un programa partiendo de las especificaciones que le son hechas en lenguaje natural aunque empleando para ello un vocabulario bastante limitado. Por último, comentar el caso del sistema Protosystem I<sup>224</sup> el cual forma parte de un proyecto más amplio a desarrollar en el Laboratorio de Informática del MIT. Un equipo compuesto, entre otros, por Baron, Martin y Ruth se encargó de su diseño con el objetivo de conseguir la generación automática de software. No obstante, este es un proyecto que aún está sin concluir.

#### G) Representación del Conocimiento.

Hoy en día, sin duda alguna, es éste uno de los subcampos de la Inteligencia Artificial que más interés suscita y mayores esfuerzos está concitando entre las personas interesadas en la investigación sobre algún ámbito de aquella. Por ello, la representación del conocimiento es ya el núcleo fundamental de la mayoría de sistemas inteligentes siendo quizá el exponente más claro el de los sistemas expertos.

Por fortuna, este campo ya empieza a mostrar una cierta estructura. Las tendencias de las investigaciones en curso abarcan un amplio espectro de campos si bien las más relevantes se centran, aparte de en la profundización de cuestiones de base ya tratadas, sobre otras más novedosas relacionadas con la adquisición automática de conocimientos, esquemas para el aprendi-

<sup>221</sup> C. C. Green, *The application of theorem-proving to question-answering systems*, en D. E. Walker y L. M. Norton (eds.), *Proceedings of the International Joint ...*, op. cit., pp. 219-237.

<sup>222</sup> Descripciones del mismo se encuentran en:

A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 2, pp. 370-374.

G. E. Heidorn (1976), *Automatic Programming through natural language dialogue: A survey*, *IBM Journal Research and Development*, vol. 4, pp. 302-313.

<sup>223</sup> R. M. Balzer y N. Goldman (1979), *Principles of good software especification and their implications for specification languages*, *Proceedings of the IEEE Specification of Reliable Software Conference*, Cambridge (Mass.).

<sup>224</sup> A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 2, pp. 364-369.

zaje automático, la representación del metaconocimiento, la representación del conocimiento impreciso mediante lógicas difusas y estructuras jerárquicas, representaciones para el control de robots, etc.

#### H) Robótica.

Finalizando la década de los setenta quedó patente el hecho de que mediante la aplicación de diversas técnicas de Inteligencia Artificial era posible interconectar diferentes mecanismos robóticos para lograr una mayor autonomía y competencia de éstos. Así, el comienzo de este periodo constituyó el momento donde, de alguna forma, se perfilaron las líneas maestras de los primeros sistemas robóticos completos. Los logros obtenidos por la robótica inteligente hasta ese momento eran todavía parciales aunque importantes. La aparición de nuevas dificultades y problemas técnicos, unidos a la carencia de un conocimiento preciso para atacarlos, ha impedido un mayor grado de realizaciones en el ámbito práctico. No obstante, lo conseguido hasta el momento ha permitido la incorporación de los robots al desempeño de nuevas tareas funcionales (manipulación, ensamblaje, manejo de materiales, soldadura, etc.), esperando que esta tendencia se acreciente en un futuro no muy lejano. Pazos Sierra<sup>225</sup> apunta a que actualmente, aunque a nivel de laboratorio, los robots desarrollados en los que se han utilizado técnicas de Inteligencia Artificial se dividen en:

(...) dos grandes categorías:

a) Los robots <lógicos>; es decir, desprovistos de existencia física. Son representaciones sobre computador de la organización y el funcionamiento del <cerebro> de los robots evolucionados.

b) Los robots <completos>; es decir, los que ponen en práctica sus decisiones porque no son <espíritus> sino que poseen un cuerpo móvil y sentidos artificiales (...).

Pazos añade, además, que si bien los robots desarrollados pertenecientes a la primera categoría son numerosos hoy en día, los incluidos en la segunda apenas son media docena. En relación con esta cuestión puntualizar, aunque sea de forma breve, el hecho de que, en general, no todos los robots existentes en la actualidad se podrían encuadrar dentro de la categoría de los calificados como inteligentes. Aquellos robots cuyas habilidades se concretan únicamente en la repetición de una secuencia de movimientos, previamente determinados (programados) mediante instrucciones, no pueden ser reconocidos en modo alguno como dispositivos que muestren algún rasgo que apunte hacia un comportamiento inteligente. Lo que desde luego nadie parece poner ya en duda es que la robótica inteligente, como faceta de la Inteligencia Artificial, es quizá una de las que con mayor grado de aplicabilidad

---

<sup>225</sup> J. Pazos Sierra, *Concepto y Perspectivas de la Inteligencia Artificial en la Robótica.*, en R. Valle Sánchez y otros (eds.), *Inteligencia Artificial. Introducción ...*, op. cit., p. 80.

(proyección) se presenta en la resolución de problemas reales. Algunos de los dispositivos de este tipo se emplean en la actualidad en el desempeño de labores propias del sector industrial: automóvil, electrónica, bienes de equipo, etc. Por ello, la tendencia es a concentrar gran parte del esfuerzo realizado en investigación y desarrollo (I+D) sobre estas técnicas. Además conviene resaltar el hecho de que por fin parece haberse fijado un objetivo común, por parte de la mayoría de equipos de investigación, para la consecución definitiva de sistemas completos. Proyectos como el ATLAS, que se desarrolla en el MIT, o el multinacional TRIPARTITA pueden servir como muestra de ello a pesar de que gran parte de estos trabajos se encuentren en una fase meramente experimental sin apenas posibilidades, a corto plazo, de considerar una posible aplicación al mundo real.

En el ámbito de las realizaciones concretas, correspondientes a este periodo, la primera referencia se puede hacer respecto a algunos lenguajes de programación creados de forma específica para este tipo de aplicaciones. Los casos de VAL (creado en Unimation), RPL (desarrollado en el Stanford Research Institute), AML (concebido por IBM), HELP (creado por General Electric), RAIL (concebido por Automatix), MCL (creado por McDonell Douglas), JARS (diseñado en el Jet Propulsion Laboratory), son una muestra de ello.

En otra área, la correspondiente al diseño de componentes destinados a formar parte de robots inteligentes, se pueden citar como ejemplos representativos de los logros alcanzados algunos sistemas de visión artificial como son VAM (Texas Instruments) para prueba y clasificación de calculadoras, AUTOVISION SYSTEM (desarrollado por la compañía Automatix a partir de estudios previos realizados en el SRI) para soldadura e inspección, CONSIGHT-I (General Motors Research Laboratories) concebido para realizar transferencia de objetos y materiales, MIC (Machine Intelligence Corporation) para reconocimiento y manipulación de piezas, KEYSIGHT (General Motors) para detección de defectos en la carrocería de los automóviles y FMS (British Robotic System Ltd.), un dispositivo de visión que permite realizar tareas de clasificación. Otro tipo de componentes, destinados a formar parte de algunos sistemas más completos, son por ejemplo los dispositivos desarrollados en Philips y RCA para dotar a los robots de sensibilidad táctil. Actualmente se está investigando sobre un abanico muy diverso de posibilidades.

Por último, en relación con el desarrollo de sistemas utilizados en aplicaciones concretas, se pueden mencionar, entre otros muchos, al TSR-500V (Toshiba) que es un robot vidente y articulado para realizar soldadura de cables, o a META-MACHINES (Universidad de Oxford), que son máquinas de soldadura asistidas con dispositivo de visión artificial.

En el momento actual se sigue trabajando sobre cuestiones relacionadas con aspectos muy diversos de esta disciplina y que son la clave para la resolución de problemas, de diferente naturaleza, que se han venido presentando

en investigaciones anteriores. Proyectos para dotar a los robots con percepción multisensorial y permitirles la comprensión del entorno que les rodea, la incorporación de sensores táctiles y de fuerza, dispositivos para detección de esfuerzos, efectores, estrategias de control, visión artificial e interpretación de imágenes, análisis y reconocimiento del habla, programación de sistemas, aprendizaje y elaboración de estrategias de acción, son algunos de los más comunes e importantes.

En cuanto a los países donde actualmente se llevan a cabo investigaciones importantes, relacionadas con algunos de los campos implicados en el desarrollo presente y futuro de la robótica inteligente, cabe citar los casos siguientes:

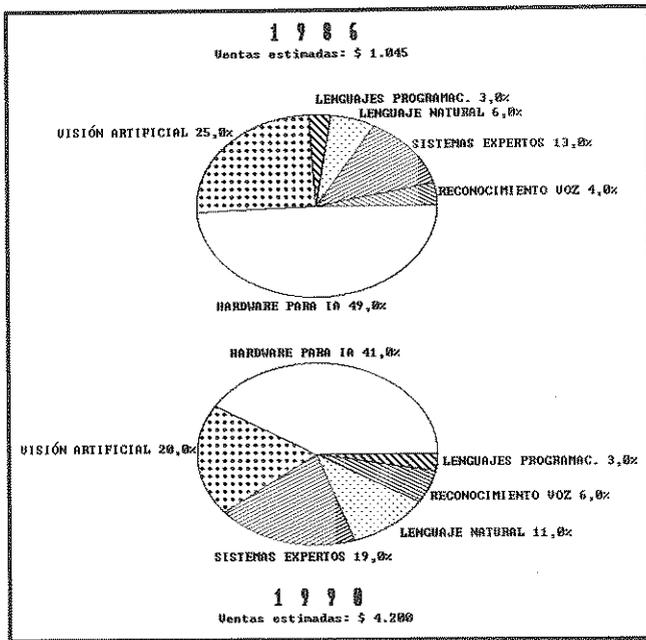
- Estados Unidos: son las universidades, organismos públicos y otras instituciones (Instituto de Robótica de la Universidad Carnegie-Mellon, Universidad del Estado de Ohio, MIT, Universidad de Rhode Island, Universidad de Maryland, Universidad de Texas, Universidad de Florida, Universidad de Stanford, SRI, Charles Stark Draper Laboratories, DARPA, National Science Foundation, Office of Naval Research, NASA, etc.) junto con empresas privadas (Unimation Inc., Cincinnati Milacron, IBM, Texas Instrument, etc.) las que apoyan, financian y promueven trabajos e investigaciones de muy diversa índole.
- Japón: la financiación y el desarrollo de los trabajos relacionados con la robótica inteligente corresponde a organismos dependientes del estado (MITI), además de firmas comerciales privadas (Yaskawa Seiki, Star Seiki, Hitachi Ltd., Fujitsu-Fanuc, Toshiba Seiki, etc.) y de universidades y otras instituciones (Instituto Tecnológico de Tokio, Universidad de Tokyo, Universidad de Waseda, Universidad de Nagoya, National Industrial Research Center, Mechanical Engineering Laboratories, Matsushita Research Institute, etc.).
- Alemania: diversos son los proyectos y trabajos desarrollados en centros de investigación, además de algunas empresas privadas como las conocidas Siemens, AEG, Volkswagen, etc.
- Gran Bretaña: destacan las Universidades de Londres, Edimburgo y Nottingham, aparte de algunas empresas como Hall Automation, ICI, GKN, etc.
- Francia: reseñan las aportaciones hechas desde las Universidades de París, Montpellier, Marsella y Technologique de Compiègne; el Laboratorio de Automática de Montpellier; el INRIA y, desde el ámbito de las empresas, las de ACMA-Cribier (Renault), Sciaky, AOIP Krenlieu, etc.
- Italia: destacan los proyectos y trabajos realizados en las Universidades de Roma, Turín y Milán. Junto con estos se encuentran los estudios realizados por los equipos de investigadores pertenecientes a empresas como Olivetti, Norda, Coman, Industriale (FIAT), etc.

- Suecia: en diversas universidades como las de Linköping y Luleå, y el Swedish Institute of Production Engineering Research, los equipos de investigación y desarrollo trabajan sobre numerosos proyectos, además de algunas empresas en el ámbito privado como son Kanflid, ASEA, etc. Desde el estado se promueven y financian también algunos otros proyectos.
- URSS: se concentran gran parte de las investigaciones en centros como el Instituto de Cibernética de Kiev, el Instituto de Ciencias de Control en Moscú, el Instituto de Cibernética de la Academia Estoniana de Ciencias de Tallinn, el Instituto de la Academia de Ciencias, etc.

1) Sistemas Expertos.

Sin duda alguna que los sistemas expertos, al igual que la Inteligencia Artificial en su conjunto, han suscitado siempre grandes expectativas que, en numerosas ocasiones, no han servido sino para perjudicar y dificultar la evolución de la propia técnica en sus distintas vertientes. No obstante, en la actualidad se puede afirmar, sin miedo a caer de nuevo en un estado de triunfalismo desmesurado, que se trata de uno de los subcampos de aquella que mayor importancia ha adquirido en función de los logros alcanzados y que con mayor proyección se presenta hacia el futuro (figura 2.1).

Figura 2.1. EL MERCADO DE IA EN 1986 Y 1990.  
(Miles de millones).



Fuente: DM Data Inc.

La explosión habida en este periodo en cuanto a la aparición de sistemas expertos aplicados a campos tan dispares como la ingeniería, la agricultura, la medicina, la electrónica, la producción industrial o las finanzas, es una muestra evidente de la progresión protagonizada por esta técnica desde dentro hacia fuera de laboratorios. Además, día a día, se pone de manifiesto el creciente interés que, incluso a nivel comercial, ha despertado en un amplio sector de la sociedad. Por todo ello, empresas y gobiernos están realizando un importante esfuerzo de inversión que persigue el afianzamiento de los programas de investigación ya en curso y la puesta en marcha de otros nuevos.

Aunque sería factible la elaboración de una lista exhaustiva donde se recogiesen los distintos sistemas expertos desarrollados en esta etapa dentro de las diferentes áreas de aplicación de éstos, sólo se van a relacionar aquí algunos de ellos que sirvan para ilustrar, en general, el tipo de aplicaciones sobre las que se ha estado trabajando<sup>226</sup>. En relación con esta misma cuestión también conviene apuntar el hecho de que no para todos los sistemas desarrollados se consiguió alcanzar el mismo status de aplicabilidad. Por lo tanto es posible encontrar bastantes programas cuyo desarrollo sólo se efectuó hasta alcanzar el nivel de simple prototipo y otros, los menos, que han sido empleados con profusión y que aún siguen gozando de la confianza y la estima de aquellas empresas y personas que en un momento dado optaron y apostaron por esta técnica, habiendo encontrado en ella un elemento de inestimable valía. Por ello se puede pensar, sin duda alguna, en que dado el valor de los servicios prestados por muchos de estos programas a sus creadores y patrocinadores éstos les permitan seguir en activo durante algunos años más.

En la última década, afortunadamente, este tipo de sistemas ha encontrando un amplio desarrollo en áreas de investigación tanto pura como aplicada. Algunas de las más representativas en función del número de sistemas producidos, experimentales o no, son las siguientes:

- a) Agricultura. El prototipo reconocido como POMME fue un desarrollo efectuado de forma conjunta entre State University y el Virgini Polytechnic Institute. Se orientó al asesoramiento de los agricultores que poseían plantaciones de manzanos en relación con cuestiones referidas a plagas y climatología. PLANT/DS, concebido en la Universidad de Illinois, permite realizar consultas para el diagnóstico de enfermedades de la soja. HERVICIDE ADVISOR es un sistema desarrollado por la multinacional Shell que sirve de apoyo en la creación de nuevos

---

<sup>226</sup> En general, si se desea una relación más detallada de los mismos se pueden consultar algunas de las siguientes obras que incorporan dicha información:

W. M. Gevarter, *Máquinas ...*, op. cit., pp. 69-72.

P. Harmon y otros, *Expert Systems. Tools & ...*, op. cit., pp. 206-256.

D. A. Waterman, *A Guide to Expert ...*, op. cit., pp. 239-299.

herbicidas agrícolas. SMARTSOY<sup>227</sup> es un sistema experto para la gestión (control) de plagas de insectos que afectan al cultivo de la soja. HYDROPONICS<sup>228</sup> es un sistema experto para diagnóstico de posibles problemas que se pueden presentar en Agricultura Hidropónica. Fue desarrollado en la Universidad de Nueva Gales (Australia). GOSSYM/COMAX<sup>229</sup> es un sistema orientado al apoyo en la toma de decisiones que tienen que ver con el cultivo del algodón. HORTYDOC es un sistema experto para el diagnóstico de las principales enfermedades hortícolas desarrollado en el IRFATA italiano. Por último, AGRILEXPERTO ha sido concebido por las compañías Prointec y Unisys. Se trata de un sistema modular que se puede aplicar en el asesoramiento del agricultor en ámbitos diversos como el riego, la aplicación de pesticidas y herbicidas, selección de semillas, etc.

- b) Aplicaciones militares y de defensa en general. En los últimos años los gobiernos de diversos países han puesto un especial interés en lograr la aplicación de la Inteligencia Artificial sobre áreas de naturaleza muy diversa, siendo una de ellas lo que se ha dado en llamar la defensa nacional. Por ello, empiezan a alcanzar cierta relevancia las realizaciones de sistemas expertos que se están llevando a cabo para el desempeño de múltiples tareas relacionadas con este fin.

Como ya se refirió antes, existe una amplia gama de usos y aplicaciones. AIRPLAN es un sistema concebido en la Universidad Carnegie-Mellon y capacitado para prestar ayuda en la planificación del tráfico aéreo militar correspondiente al espacio aéreo de un portaviones. El sistema ASTA, creado por Advanced Information & Decision Systems, ayuda al operador de radar a identificar el tipo de dispositivo enemigo que generó una señal que fue interceptada con los equipos propios. Otras aplicaciones en este mismo ámbito a destacar son los casos de POLITICS (Carbonell, J. R.), OCEAN SURVEILLANCE (Science Applications Inc.), BATTLE (Naval Research Laboratory-USA), SWIRL (Rand Corporation), HANNIBAL (ESL), etc.

<sup>227</sup> Varios investigadores de la Universidad de Florida, la Universidad de Georgia y el Centro de Desarrollo Rural, también perteneciente a este último estado, trabajaron de forma conjunta en el proyecto. Una descripción del mismo se puede encontrar en: W. D. Batchelor y otros (1989), *Evaluation of SMARTSOY: An Expert Simulation System for Insect Pest Management*, *Agricultural Systems*, vol. 31, nº 1, pp. 67-81.

<sup>228</sup> Para posibles consultas sobre el sistema ver: R. Finlayson y D. B. Hibbert, *AI in Analytical Chemistry: An Expert System for the Diagnosis of Problems in Hydroponic Agriculture*, en J. R. Quinlan (1989), *Applications of Expert Systems*, Sydney, Turing Institute Press/Addison-Wesley, vol. 2, pp. 218-230.

<sup>229</sup> Desarrollado por un equipo de investigadores pertenecientes a la USDA-ARS Crop Simulation Research Unit, la Mississippi State University y la Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. Detalles del mismo se encuentran en: J. M. McKinion y otros, (1989), *Application of the GOSSYM/COMAX System to Cotton Crop Management*, *Agricultural Systems*, vol. 31, nº 1, pp. 55-65.

- c) Aplicaciones relacionadas con los ordenadores y la electrónica. Este se puede decir que es un ámbito donde los trabajos y estudios hasta el momento realizados se han visto plasmados finalmente en un conjunto de realizaciones con un carácter eminentemente práctico. Así, en lo que se refiere a empresas dedicadas a la fabricación de equipos electrónicos, los programas de los que ahora nos ocupamos han sido utilizados tradicionalmente en la ejecución de tareas que tienen que ver con el diseño, la diagnosis, y la reparación de aquellos. Dada la complejidad que presentan en la actualidad algunos procesos de desarrollo y fabricación de este tipo de componentes, el uso y aplicación de un elemento tan fundamental como es el ordenador se ha incorporado, de una forma definitiva, a este campo. De igual modo, las personas relacionadas con el diseño y la producción de software-hardware consideran cada vez más a los sistemas expertos como un elemento de gran valor a la hora de efectuar, de forma eficiente, las tareas más importantes que tienen que ver con el diseño, la especificación, la programación, la configuración, la reparación, etc. de los programas y equipos informáticos.

Para terminar, como muestra de lo que se ha hecho y en la actualidad se está haciendo en este campo, se pueden reseñar los desarrollos de algunos programas:

Originalmente denominado R1 y con posterioridad XCON<sup>230</sup>, se trata de un sistema experto cuyo diseño inicial se efectuó en la Universidad Carnegie-Mellon, siendo objeto después de un proceso de revisión y mejora efectuado por la compañía privada DEC. El mismo se emplea conjuntamente con otro sistema denominado XSEL para prestar apoyo a los vendedores en la realización de los pedidos de clientes. Este puede ser considerado como uno de los más claros exponentes de sistemas que mayor éxito han tenido en su aplicación práctica. Otro programa concebido en esta última empresa y con aplicación a la informática fue SPEAR. DART es un prototipo para detección de averías en ordenadores creado en la Universidad de Stanford. EL y SYN son dos sistemas cuya implementación se realizó en el MIT siendo su misión la de asesorar a los diseñadores de circuitos en el análisis y posterior desarrollo de éstos, más concretamente en el de circuitos eléctricos analógicos. ACE es una creación más de la compañía Bell que se pensó emplear en el mantenimiento de cables de telecomunicaciones. YES/MVS<sup>231</sup> es un sistema experimental de tiempo real que se

---

<sup>230</sup> Una descripción del sistema se hace en: J. McDermott (1980), *R1: an expert in the computer system domain*, *Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-80)*, Stanford, Stanford University, August 18/21, pp. 269-271.

<sup>231</sup> Para poder tener un conocimiento más completo acerca del mismo es recomendable consul-

emplea para controlar de forma interactiva un sistema operativo. Su desarrollo corrió a cargo de la empresa IBM. CRIB ayuda a los ingenieros de mantenimiento de los equipos en la detección de fallos existentes tanto a nivel de software como de hardware. Fue un desarrollo conjunto de Brunel University y la empresa International Computers Limited. CRITTER, de la Universidad de Rutgers, se concibió para la validación de sistemas electrónicos. CONAD es un programa que se encarga de realizar la configuración de un sistema informático a partir de las especificaciones hechas en el pedido. Actualmente está siendo empleado por la multinacional Nixdorf. COMPASS, concebido por GTE Laboratories, se usa en el diagnóstico de averías surgidas en centrales de conmutación telefónica. Por último, NDS (utilizado en el diagnóstico de averías en redes de telecomunicaciones) y PDS (diagnóstico de averías de máquinas en tiempo real) fueron dos sistemas creados en la compañía Shell.

- d) Medicina. En el entorno de las aplicaciones médicas concebidas en este periodo, que son muy numerosas, se puede tomar como primer ejemplo el caso del sistema desarrollado por Kunz en la Universidad de Stanford y que recibió el nombre de PUFF<sup>232</sup>. El mismo se empleó como elemento de apoyo para los facultativos en el diagnóstico de enfermedades del pulmón. Este programa estuvo sujeto a evaluación durante algún tiempo en el Pacific Medical Center de San Francisco. Otros sistemas, con idéntico campo de aplicación, son los siguientes: MDX (Ohio State University), CENTAUR (Stanford University), ONCO-CIN, NEOMYCIN y GUIDON (Stanford University), PIP (MIT), MED1 (Universidad de Kaiserslautern), ANGY (University of Pennsylvania), NEUREX (University of Maryland), PEC (Rutgers University), etc.
- e) Química. El sistema CRYALIS, concebido por Feigenbaum y Englemore, es un resultado más de las investigaciones llevadas a cabo en la Universidad de Stanford. Su tarea se concretaba en la realización de estudios cristaligráficos sobre proteínas que servían, posteriormente, para inferir la estructura tridimensional de éstas. Otro sistema diseñado en la misma universidad y con idéntico campo de aplicación fue el prototipo que pasó a denominarse C-13. En la Universidad del estado de Nueva York tuvo su desarrollo el prototipo de investigación SYNCHEM<sup>233</sup>, el cual se aplicaba en química sintética y más concre-

---

tar: J. H. Griesmer y otros (1984), *YES/MVS: A continuous real time expert system*, *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-84)*, Texas, university of Texas, August 6/10, pp. 130-136.

<sup>232</sup> Consultar: HPP staff (1980), *The Stanford heuristic programming project: goals and activities*, *AI Magazine*, vol. 1, n° 1, pp. 25-30.

<sup>233</sup> De dicho programa se encuentra una descripción en: H. Gelernter y otros (1977), *Empirical exploration of SYNCHEM*, *Science*, vol. 197, n° 4308, pp. 1041-1049.

tamente en la síntesis de moléculas orgánicas complejas. De la Universidad de Harvard surgió LHASA, un desarrollo de Corey y Wipke. Éste fue uno de los primeros sistemas dedicados a la síntesis de componentes orgánicos para la creación de nuevas sustancias químicas. Un sistema desarrollado por el equipo de Stefik-Friedlan-Martin-Lederberg dentro del Proyecto de Programación Heurística de la Universidad de Stanford fue MOLGEN. Su cometido era servir de apoyo a la planificación de experimentos en genética molecular. Por último reseñar, dentro de este tipo de sistemas, la creación por parte de la empresa Intellicorp del programa que se denominó TQMS-TUNE para realizar ajustes de espectómetros de masa.

- f) Gestión y Finanzas. Hoy día se puede considerar a este área como una de las que más interés está suscitando en cuanto a la creación de sistemas se refiere además de presentarse, cara a un futuro próximo, con un alto potencial de desarrollo<sup>234</sup>. Como casos significativos de qué tipo de aplicaciones se están desarrollando podemos citar los siguientes: SEUL<sup>235</sup>, un sistema experto que tiene como objetivo el asesoramiento en la concesión de créditos evitando riesgos y pérdidas a

---

<sup>234</sup> Para iniciar el estudio sobre los conceptos fundamentales, las posibles técnicas a aplicar y sobre los desarrollos que pueden ser factibles en dicho contexto, es interesante consultar algunas de las siguientes obras:

D. Bendel Hertz (1990), *El directivo Experto*, Madrid, Ed. Díaz de Santos. Traducido al castellano de la obra *The Expert Executive. Using AI and Expert Systems for: Financial Management, Marketing, Production, Strategy*, (1988).

D. N. Chorafas (1987), *Applying Expert Systems in Business*, New York, McGraw-Hill Book Company, pp. 233.

A. Edwards y N. A. D. Connell (1989), *Expert Systems in Accounting*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice Hall, p. 254.

J. P. Gallagher, *Knowledge Systems for Business ...*, op. cit.

P. Harmon y P. King, *Sistemas Expertos. Aplicaciones de la ...*, op. cit.

C. W. Holsapple y A. B. Whinston (1987), *Business Expert Systems*, Homewood (Illinois), Irwin, p. 351.

J. Liebowitz (1990), *Expert Systems for Business & Management*, Englewood Cliffs (N. J.), Yourdon Press, p. 302.

L. F. Pau (1987), *Artificial Intelligence in Economics and Management*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., p. 292.

L. F. Pau y otros (eds.) (1989), *Expert Systems in Economics, Banking and Management*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., p. 475.

D. S. Prerau (1990), *Developing and Managing Expert Systems: Proven Techniques for Business and Industry*, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 363.

W. Reitman (ed.) (1984), *Artificial Intelligence Applications for Business*, Norwood (N. Y.), Ablex Publishing Corp., p. 343.

B. G. Silverman (ed.) (1987), *Expert Systems for Business*, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 446.

<sup>235</sup> Se detallan algunas de sus características en el artículo: *SEUL: primer sistema experto español en el área de leasing*, *Computerworld*, nº 340/Año 8, 10 Marzo (1989), pp. 15-16.

la entidad concesionaria. AUDITOR es un sistema de la Universidad de Illinois creado para la evaluación de potenciales insolvencias de los clientes de una compañía. La compañía Coopers & Lybrand concibió el sistema denominado ExpertTAX con la idea de apoyar el análisis que los asesores fiscales de la empresa realizan sobre cómo sus clientes orientan y planifican su fiscalidad. SPACE es un sistema experto desarrollado por Labein para el Ministerio de Industria y Energía, siendo su objetivo principal el autodiagnóstico de calidad en la empresa. Otros sistemas de interés en este área son: CGX<sup>236</sup>, LENDING PORT-MAN<sup>237</sup>, ADVISOR, PORTFOLIO MANAGEMENT ADVISOR, UNDERWRITING ADVISOR, TAXADVISOR, FinARS, AIG, etc.

- g) Otras Aplicaciones. En gran parte de las áreas de conocimiento que integran la Inteligencia Artificial, y más concretamente dentro del campo concreto de los sistemas expertos, se han encontrado o encuentran, en la actualidad, algún desarrollo o aplicación de importancia que poder reseñar. A continuación se describen algunos ejemplos de los trabajos efectuados en estos otros ámbitos.

Un sistema clásico creado en el ámbito de la enseñanza es SOPHIE-I. Se trata de un entorno para el aprendizaje que tiene por misión (ejercitar) capacitar a los aprendices para que puedan afrontar la resolución de diversos problemas que se suelen plantear en la localización de averías producidas en circuitos electrónicos. Fue desarrollado por Brown y Burton en la empresa Bolt, Beranek & Newmann. Otros sistemas aplicados a la instrucción de novales fueron GUIDON (Universidad de Stanford), BUGGY (Bolt, Beranek & Newmann), GEO (Universidad de Quebec), entre otros.

STEAMER es un sistema avanzado de enseñanza por ordenador para la formación de personal militar sobre la problemática del funcionamiento de una planta de propulsión a vapor perteneciente a un buque. Ha sido desarrollado, de forma conjunta, por la empresa Bolt, Beranek & Newman y el Centro de Investigación y Desarrollo del Personal de la Armada de Estados Unidos.

SACON, creado por Bennett y Engelmores en la Universidad de Stanford, es un sistema que presta ayuda a los ingenieros en la resolución de determinados problemas planteados en el análisis de estructuras. SPERIL-I, creado en la Universidad de Purdue, realiza una evaluación de los daños sufridos por una estructura tras un movimiento sísmico. Un segundo sistema desarrollado en la misma universidad fue SPERIL-II.

<sup>236</sup> Un análisis profundo del sistema se realiza en: V. Srinivasan y B. Ruparel (1990), *CGX: An expert support system for credit granting*, *European Journal of Operational Research*, vol. 45, nº 2/3, 13 Abril, pp. 293-308.

<sup>237</sup> Una descripción del mismo se encuentra en: Y. Y. Chan y otros, *Port-Man. An Expert System of Portfolio Management in Banks*, en L. F. Pau y otros (eds.), *Expert Systems in Economics ...*, op. cit., pp. 87-96.

En el campo de la energía nuclear, REACTOR<sup>238</sup> de EG&G Idaho, asesora a los técnicos en el diagnóstico y tratamiento que hay que dar a los accidentes ocurridos en reactores nucleares.

FAULTFINDER es una creación del Logic Programming Group de la Universidad de Londres. La versión inicial se concibió como un sistema capaz de diagnosticar averías de motores de automóviles y radiadores de gas. Posteriormente, un segundo prototipo del programa estuvo dedicado al diagnóstico de averías en circuitos numéricos.

Para realizar análisis relativos a la estructura geológica que posee el subsuelo de una zona determinada se creó, por parte del MIT/Schlumberger-Doll Research, el sistema denominado DIPMETER ADVISOR. Dicha empresa creó también el programa LITHO con aplicaciones en el mismo ámbito. Otro programa, llamado MUDMAN y desarrollado por la compañía N. L. Baroid, se aplica en el análisis de los fluidos (lodos) provenientes de perforaciones.

Para permitir a los letrados retomar información (jurisprudencia) acerca de las sentencias dictadas por un tribunal en un apartado concreto se concibió LRS. La creación del mismo corrió a cargo de la Universidad de Michigan. Otros sistemas creados para su aplicación en este mismo ámbito han sido SAL, DSCAS, CORPTAX, SARA, CAN AM TREATY, etc.

Con el objeto de ser aplicado a la resolución de algunos problemas planteados dentro del subcampo de la física que es la mecánica, se creó en la Universidad de Edimburgo un sistema al que se llamó MECHO.

DELTA, de General Electric, se utilizó para apoyar a los mecánicos en el diagnóstico y posterior reparación de averías sufridas por las locomotoras diesel y eléctricas.

Otro ejemplo de aplicación interesante es el sistema denominado NAVEX. La concepción del mismo fue fruto de la colaboración de la agencia espacial NASA y la compañía Inference Corporation. Su misión consistía en controlar los datos provenientes del radar de seguimiento del transbordador Space Shuttle con los que se estimaba la velocidad de crucero y la posición del mismo, detectando posibles errores y previniendo en su caso al operador de esta circunstancia.

SPILLMAP es un sistema experto para asesoramiento en el control de situaciones donde se ha producido una fuga de sustancias peligrosas. En instalaciones pertenecientes a industrias químicas, centrales nucleares o refinerías es factible que se pueda producir lo que se ha dado en llamar spill cri-

---

<sup>238</sup> Sobre las características de dicho programa se puede consultar: W. R. Nelson (1982), *REACTOR: an expert system for diagnosis and treatment of nuclear reactor accidents*, *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-84)*, Carnegie-Mellon University/University of Pittsburgh, August 18/20, pp. 296-301.

sis o vertidos accidentales de materias peligrosas. Este sistema ayuda en el control de la situación y posibilita una actuación inmediata para remediarla. Fue concebido en el Georgia Tech Research Institute.

En la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda, se concibió un sistema denominado FIRECODE para asesorar a los arquitectos en cuestiones relacionadas con el cumplimiento de la normativa sobre prevención y control de posibles incendios en nuevas construcciones.

ISIS es un sistema de apoyo a la planificación de trabajos de fabricación que fue desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon.

Finalmente, para cerrar este apartado en el que se ha pretendido mostrar la amplia variedad de aplicaciones conseguidas con esta técnica, mencionar el caso de LUCIANO. Se trata de un sistema experto capaz de jugar al dominó que fue desarrollado en el Laboratorio de Informática de la Facultad de Informática de Madrid.



# III

---

## LOS SISTEMAS EXPERTOS. INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

### 3.2 GENERALIDADES.

#### 3.2.1 Concepto de Sistema Experto.

3.2.1.1 Aproximación al Concepto basada en el componente humano: definición funcional.

3.2.1.2 Aproximación al Concepto basada en el componente tecnológico: definición estructural.

3.2.1.3 Definición de Sistemas Expertos como sistemas optimizados para búsqueda de información.



### 3.1 INTRODUCCIÓN.

Continuando con el esquema de desarrollo de este trabajo y una vez analizadas las particularidades más importantes del marco genérico que constituye la Inteligencia Artificial, ha llegado el momento de centrar la atención, en exclusivo, sobre uno de los campos que en la actualidad más interés suscita y mayor nivel de actividad presenta en las diversas áreas que pueden ser consideradas.

La metodología seguida para el desarrollo de este apartado va a ser muy similar a la ya empleada en la exposición del primero y el segundo. El contenido presenta una estructuración que es, en gran parte, la de los trabajos y estudios que, como el presente, dedican su atención a esta materia.

Resaltar finalmente, antes de finalizar esta introducción, dos cuestiones de suma importancia. La primera está referida al hecho de que premeditadamente no se ha pretendido, en ningún momento, realizar un estudio muy pormenorizado de esta materia, dada la amplia variedad de conceptos y disciplinas, con entidad propia, que aquí confluyen. Dichas disciplinas, en numerosas ocasiones, constituyen de por sí argumento suficiente para llevar a cabo un estudio independiente y amplio. No obstante, al igual que en los capítulos anteriores, si se ha creído conveniente incluir, cuando se ha dispuesto de ellas, las referencias bibliográficas necesarias para que el lector pueda, llegado el caso, realizar por su cuenta la ampliación y profundización del conocimiento sobre un determinado aspecto o cuestión. En segundo lugar se deberá también tener presente el dinamismo que caracteriza a este tipo de disciplinas y que, en particular, para el caso de los sistemas expertos se ha visto acrecentado notablemente en los últimos años. En general, la rapidez con la que suceden los acontecimientos en el mundo de la ciencia hacen difícil, y en muchos casos imposible, mantener la vigencia de una investigación durante un periodo de tiempo amplio. Es por ello que algunos de los planteamientos y soluciones técnicas que aquí se describan puedan verse superados con cierta rapidez dado el carácter estático que, por naturaleza, presentan este tipo de trabajos.

### 3.2 GENERALIDADES.

Durante bastante tiempo, los investigadores en Inteligencia Artificial se han ocupado de analizar y generar técnicas y métodos que permitan una adecuada representación simbólica del conocimiento humano para su posterior aplicación al ámbito de los ordenadores. También, han perseverado en el intento por desarrollar métodos válidos que permitiesen un uso eficiente de dicho conocimiento en tareas que tienen que ver con la resolución de problemas, la determinación de nuevos conceptos, ideas, e incluso de la generación de nuevo conocimiento. Como fruto de toda esa meritoria labor se observa que, en la actualidad, empieza a ser relativamente frecuente oír en círculos, ya no tan restringidos, comentarios y opiniones sobre las excelencias de "unos programas de ordenador" capaces de ejecutar, como si de una persona se tratase, tareas de muy diversa índole y dificultad. A pesar de la creciente popularidad ganada "a pulso" por esta técnica, aún existen muchas e importantes lagunas en lo que al conocimiento de la misma se refiere. Ello provoca, en numerosas ocasiones, la formación de ideas equivocadas o vagas sobre su realidad, sobre lo que pueden hacer o sobre cómo pueden hacerlo, sirviendo todo en última instancia, y es esto lo más grave, para alimentar falsas expectativas. De este modo se hace preciso desde un primer momento y en evitación de los riesgos anteriormente expuestos, una profundización en determinadas cuestiones que tienen que ver con el concepto, la génesis y sobre sus posibilidades de aplicación en el mundo real.

Dar una respuesta adecuada a la cuestión qué es algo, surgida en cualquier investigación sobre una disciplina, fenómeno o concepto concreto, exige la realización de un esfuerzo notable para plasmar, de forma sintética, la esencia de aquello que se pretende definir. No se trata por lo tanto, en la mayoría de los casos, de una tarea fácil de llevar a cabo. Si además a ese primer problema apuntado se le añade el hecho de que las ideas y los conceptos, el de sistema experto tampoco es una excepción, pueden ir evolucionando en el tiempo, la labor puede complicarse de forma considerable. Para el que en este momento se pretende analizar, esta dificultad se centra en dar una definición general sobre lo que es un sistema experto, con el problema añadido de que se puede hacer desde más de una perspectiva. Por lo tanto, y en estas condiciones, parece lo más conveniente abordar la cuestión de forma diferenciada para cada uno de los posibles enfoques que se pretendan adoptar.

Como paso previo al inicio del análisis de la cuestión central en este capítulo, convendría señalar el hecho de que falta, en parte de la literatura que se ocupa del estudio y descripción del concepto, un tratamiento lo suficientemente preciso y diferenciado que aclare la localización exacta de los sistemas expertos y qué son en realidad. Es difícil encontrar, incluso, una uniformidad

en la terminología empleada cuando distintas personas se refieren a este tipo de programas. Así hay autores que hablan de los Sistemas de Conocimiento (Knowledge Systems), otros que se refieren a los Sistemas Basados en Conocimiento (Knowledge-based Systems) y otros que emplean directamente el término Sistemas Expertos (Expert Systems/Knowledge-based Expert Systems) sin que, en ocasiones, se pueda saber con exactitud a qué se están refiriendo en realidad. Estas expresiones no son las únicas que se pueden encontrar cuando se hace referencia a los sistemas expertos en la amplia variedad de trabajos existentes sobre la materia. Aparte de las ya reseñadas, que suelen ser las más comunes, existen otras denominaciones como las de Smart Systems, Decision Support Systems, Artificial Intelligence Systems, Management Information Systems o, incluso, Management Support Systems, las cuales son empleadas indistintamente, aunque no siempre de forma correcta, para referirse en realidad a un mismo elemento. Es indudable que antes de iniciar el análisis del concepto propiamente dicho, es conveniente aclarar el contenido concreto de estos términos que son empleados sin diferenciar en unos y otros casos<sup>1</sup>.

En relación al propósito apuntado indicar, en primer lugar, que con el término Sistemas Basados en Conocimiento, denominados también por algunos autores como Sistemas Inteligentes Basados en Conocimiento, se apunta en realidad a una de las ramas principales de investigación que se puede distinguir dentro del campo genérico de la Inteligencia Artificial. Estos sistemas se caracterizan por incorporar usualmente, de forma explícita, el conocimiento referido al dominio donde se pretenden aplicar. Además, dicho conocimiento suele estar separado del resto de elementos que conforman el sistema y se

---

<sup>1</sup> La aclaración de contenido a la que se hace referencia en el texto, con relación a algunas de las expresiones utilizadas por los distintos autores al referirse a los sistemas expertos, no se ha considerado oportuno extenderla a todos los términos reseñados en el mismo. El motivo radica en el hecho de que la utilización de algunos de ellos se debe, con frecuencia, a una falta de consenso entre la comunidad de investigadores interesada por este campo a la hora de dar una denominación a algunas de las disciplinas o técnicas que en el mismo se encuadrarán. No se considera por tanto necesaria una profundización en la especificación del significado de todas las expresiones, ya que la utilización, un tanto indiscriminada que de ellas se hace, no se debe, de hecho, a una confusión real existente en el fondo de la cuestión y sí, las más, a un trato un tanto descuidado de los que escriben en cuanto a la terminología empleada. No obstante, y para aquellas personas interesadas en esta cuestión, es recomendable la consulta de las siguientes obras:

A. Edwards y N. A. D. Connell, **Expert Systems in ...**, op. cit., pp. 3-23.

E. Turban (1988), **Decision Support and Expert Systems**. Managerial Perspectives, New York, McMillan Publishing Company, p. 697.

H. G. Sol y otros (eds.) (1985), **Expert Systems and Artificial Intelligence in Decision Support Systems, Proceedings of the Second Mini Euroconference**, Lunteren (The Netherlands), 17-20 November.

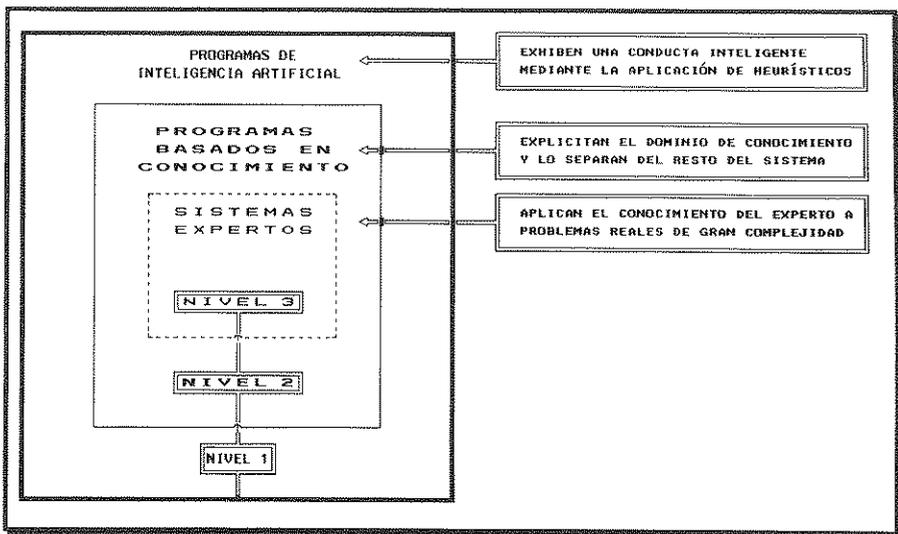
M. Yazdani, *Building an expert system*, en R. Forsyth (ed.), **Expert Systems. Principles ...**, op. cit., p. 173.

S. Holtzman (1989), **Intelligent Decision Systems**, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 304.

encuentra recogido en lo que normalmente se denomina como base de conocimiento, siendo susceptible de ser manejado por el programa con el fin de obtener, si es posible, una solución satisfactoria para el/los problema/s planteado/s. En este sentido se puede definir formalmente un Sistema Basado en Conocimiento como aquel programa de ordenador en el que el conocimiento referido al campo de aplicación, objeto del sistema, se encuentra especificado de forma explícita y separado del resto de elementos integrantes del mismo. De la misma forma lo definen autores como Maté<sup>2</sup>, Hunt<sup>3</sup>, Wigg<sup>4</sup> y Waterman<sup>5</sup>.

Un sistema experto constituye pues una tipología de lo que se acaba de definir como Sistema Basado en Conocimiento (figura 3.1) dado que, por lo general y en el momento presente, los sistemas expertos no están aún capacitados para adquirir el conocimiento por sí solos a partir de la experiencia. Ésta será pues la consideración que en adelante se le va a dar a tales programas en este trabajo.

Figura 3.1 LOS SISTEMAS EXPERTOS SON PROGRAMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO.



Fuente: Elaboración propia.

- <sup>2</sup> J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...*, op. cit., p. 59.
- <sup>3</sup> V. D. Hunt, *Artificial Intelligence ...*, op. cit., p. 147.
- <sup>4</sup> K. Wiig (1990), *Expert Systems. A manager's guide*, Geneva, International Labour Organization, p. 163.
- <sup>5</sup> D. A. Waterman, *A Guide to Expert ...*, op. cit., p. 18.

Por lo general los sistemas expertos suelen incorporar un cuerpo de conocimiento (capacidad de inferir, experiencia, memoria, certidumbre, etc.) considerable sobre una determinada área del saber que permite, conjugado con otros elementos, reproducir la conducta seguida por cualquier experto en dicha área y, más concretamente, en su actuación corriente a la hora de solventar los problemas que son propios de su actividad. Los sistemas expertos se orientan a la resolución de problemas complejos que de por sí necesitan la pericia de un experto para poder ser superados. Otros Sistemas Basados en Conocimiento son, por ejemplo, los Sistemas de Lenguaje natural, los Sistemas Inteligentes de Visión, etc. Hay que resaltar el hecho de que no todos los Sistemas Basados en Conocimiento se pueden considerar como sistemas expertos. Existen otros programas, desarrollados con técnicas de Inteligencia Artificial, que no tienen por qué ser considerados sistemas expertos. En años recientes se han desarrollado programas, los denominados Sistemas de Conocimiento, que están basados en la aplicación de parcelas del conocimiento humano muy determinadas con las que no se ha pretendido en ningún momento emular, en su conjunto, la actuación de un experto en un campo específico. Son, por lo tanto, sistemas desarrollados con técnicas de Inteligencia Artificial pero con unas pretensiones más limitadas que los sistemas expertos, dado que su campo de actuación es más reducido que el de aquellos. Suelen orientarse estos Sistemas de Conocimiento, por lo general, hacia problemas de escala reducida y con un cierto grado de dificultad pero que no requieren, en modo alguno para su resolución, la aplicación de grandes dosis de la experiencia de un experto.

Finalmente, para concluir este apartado, indicar la existencia de algunas tentativas para superar la dificultad planteada por el uso incorrecto y la falta de homogeneidad en las denominaciones utilizadas por las personas involucradas en la creación de todo este tipo de sistemas. Hay algunos investigadores que, llevados por esa intención, proponen una única denominación tanto para los sistemas expertos como para los Sistemas Basados en Conocimiento, ésta es la de Sistemas de Consulta. La razón que esgrimen es que ambos sistemas poseen una característica común importante: la de poder servir como sistemas de consulta en un campo determinado. Por lo tanto, de ahí se deriva la denominación propuesta.

### **3.2.1 Concepto de Sistema Experto.**

Una vez hechas las consideraciones oportunas en cuanto a la aclaración del significado de cada uno de los términos expuestos con anterioridad, se pasa ahora a abordar directamente la cuestión relacionada con la delimitación del concepto de sistema experto. Para ello, se ha creído oportuno atender a dos elementos considerados esenciales a la hora de estudiar cualquier sistema informático, éstos son: la estructura con la que está diseñado y el tipo de proceso informático utilizado en el mismo. De este modo se propondrá, por un

lado, una primera aproximación al concepto concretada en una definición funcional que atiende al método de proceso que incorpora un sistema experto. Por otro, se hará una segunda aproximación que, finalmente, quedará plasmada en lo que se denominará definición estructural, si lo que se tiene presente en esta ocasión es la organización interna con la que se suelen concebir tales sistemas<sup>6</sup>. Por último, y como tercera vía, se abordará la cuestión desde la perspectiva de aquellos que conciben a los sistemas expertos como sistemas optimizados para búsqueda de información.

### 3.2.1.1 Aproximación al concepto basada en el componente humano. Definición Funcional.

Es esta primera aproximación al concepto la que con más frecuencia, y de una forma genérica, se suele emplear por la mayoría de investigadores que abordan la cuestión de definir lo que se entiende por sistema experto. Tras algo más de una década de evolución y desarrollo de esta técnica, son ya múltiples las definiciones que se han dado. Aquí, como se puede suponer y por considerarlo innecesario, dada la similitud entre muchas de ellas, no se va a efectuar una exposición detallada de las mismas sino que, por el contrario y tomando una que se considere de las más acertadas, se procederá a su estudio, el cual irá complementado por un análisis de las cuestiones más relevantes que del mismo se deriven. La definición que se ha seleccionado para que sirva de base al estudio del concepto es, en este caso, la aportada por Feigenbaum<sup>7</sup>. Según él, un sistema experto se concreta en:

(...) un programa inteligente de ordenador que utiliza conocimiento y procedimientos inferenciales para solventar problemas lo suficientemente difíciles que exigen la competencia de un experto humano en su resolución.

De esta opinión resulta la idea de que se está ante una tipología de programa que a la hora de resolver un problema, enmarcado en un dominio particular, debe actuar, expresándolo en términos simples, como si de un especialista<sup>8</sup> en la materia se tratase. Es decir, que a la hora de abordar la resolu-

---

<sup>6</sup> Este planteamiento a la hora de tratar la cuestión relativa a la definición del concepto de sistema experto es propuesto por Gregorio Fernández en la obra:

G. Fernández, *Panorama de los Sistemas Expertos*, en J. Cuenca y otros, **Inteligencia Artificial: ...**, op. cit., p. 24.

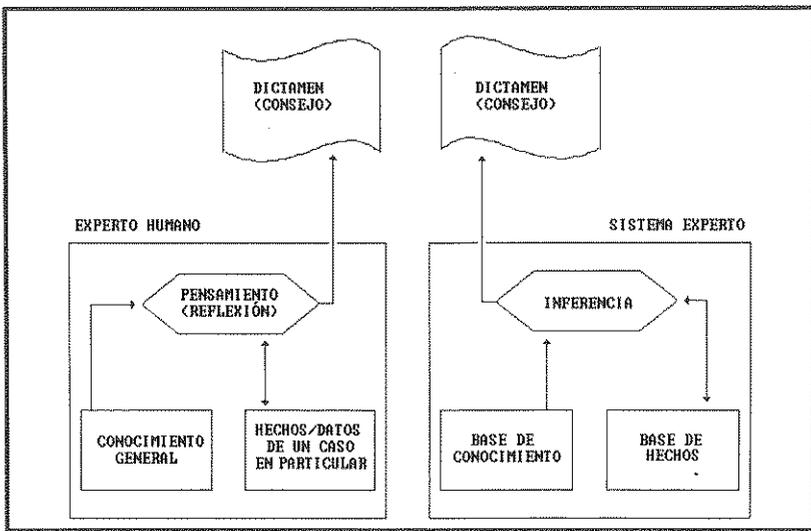
<sup>7</sup> E. A. Feigenbaum (1982), **Knowledge Engineering for the 1980s**, Stanford, Department of Computer Science, Stanford University, p. 1.

<sup>8</sup> Un experto es alguien que ha desarrollado más conocimiento en una área particular que el resto de personas que trabajan en ese mismo campo, pudiendo utilizar dicho conocimiento para desempeñar su labor de una forma más efectiva y eficiente que el resto. Es importante por tanto que, desde un primer momento, quede claro la significación que en este trabajo se le va a dar a los términos especialista, técnico, experto, etc. Los mismos serán utilizados indistintamente para referirse a aquella/s persona/s que posee/n los conocimientos, experiencia y pericia necesarios para resolver gran cantidad de problemas en un campo específico. Por lo tanto se descartan de pleno aquellas connotaciones que puedan hacer una referencia simplemente a la/s persona/s bien informada/s sobre un tema.

ción de un determinado problema el programa debe seguir unas pautas de comportamiento (funcionamiento) similares, aunque no tienen que ser exactamente idénticas, a las mostradas por un experto al que se le hubiese encomendado dicha tarea. Es por lo tanto éste un enfoque en el que la base de la definición se centra sobre un hecho puntual: el sistema experto, como una aplicación más de las técnicas de Inteligencia Artificial, debe mostrarse inteligente en el mismo sentido que lo haría un ser humano aunque, eso sí, dentro de una parcela de conocimiento muy determinada. El nivel de ejecución deseable en un sistema de este tipo sería, por lo tanto, el equivalente al que alcanzaría un experto humano que se encontrase en idénticas circunstancias<sup>9</sup>.

Es conveniente resaltar que el término comportamiento, como aquí se ha empleado, aglutina un conjunto de procesos y tareas, de diversa índole, las cuales normalmente un experto suele ejecutar a la hora de resolver los problemas planteados en el desarrollo de su actividad (figura 3.2).

Figura 3.2 ANALOGÍA ENTRE EL EXPERTO HUMANO Y EL SISTEMA EXPERTO.



Fuente: Elaboración propia.

<sup>9</sup> Para algunas de las personas interesadas en esta cuestión es precisamente este criterio el más válido para poder asignarle a un sistema informático el calificativo de experto. Ellos ponen el énfasis sobre el hecho de que el proceso de ejecución del programa, a la hora de solventar un problema, debe de ser similar al que habría diseñado un experto humano en similares circunstancias. Lo esencial, por lo tanto, es incorporar a la máquina con la máxima fidelidad posible el modelo del proceso cognitivo humano en este tipo de actividades. Con relación a este mismo asunto existe, sin embargo, otra corriente de opinión la cual defiende que el principal elemento a tener en cuenta, para considerar a un sistema informático como experto, es que éste pueda alcanzar el mismo nivel de ejecución (resultados) que un humano en la resolución de un determinado problema, no haciendo tanto hincapié en la forma de lograrlo.

Como se puede suponer, aquí se está apuntando además, aunque de forma indirecta, al hecho de que para que a un experto se le considere tal es necesario reunir una serie de cualidades que le capaciten para ello. Es, por lo tanto, el momento de especificar cuáles son las cualidades o capacidades que suelen caracterizar la conducta de un experto y las actividades que ésta implica a la hora de resolver un problema en un campo determinado y que serían deseables igualmente para el programa que intente emularle en esa faceta. De una forma resumida aparecen recogidas en los siguientes puntos:

- a) El experto está en disposición de manipular símbolos. Conocer significa, en este caso, poder representar simbólicamente hechos acerca de la realidad y, más concretamente, acerca del dominio de conocimiento en el cual la persona es especialista.
- b) La persona experta está capacitada para resolver una amplia gama de problemas, dentro de un campo específico, que incorporan un grado de dificultad considerable y que, además, suelen presentarse en estados de difícil predicción. Así, el contexto en el que dichos problemas surgen es diverso: pueden resultar problemas totalmente nuevos, en parte conocidos y en parte no, o ser muy parecidos a otras situaciones ya tratadas previamente. Como se puede suponer la escala de posibilidades resulta enormemente amplia.

Cuando el problema planteado es completamente nuevo y difiere considerablemente de situaciones anteriores, el experto debe desarrollar una estrategia también diferente a las empleadas con anterioridad o remodelar de manera sustancial alguna de aquellas. Pero en la realidad las cosas no siempre suceden así. Es importante resaltar el hecho de que, con frecuencia, el diseño de la solución a un problema se suele efectuar a partir de alternativas ya contempladas en la resolución de cuestiones previas que han resultado ser más o menos similares a las afrontadas en ese momento. Para lograr esto es necesario que el especialista conozca suficientemente los conceptos más relevantes del campo donde pretende actuar, además de disponer, como parte integrante de su conocimiento operativo<sup>10</sup>, de un catálogo donde se recojan toda una serie de situaciones específicas que le permitan resolver con cierta inmediatez los problemas, pudiendo así acortar el proceso de resolución. Esta cuestión de la celeridad, a la hora de resolver problemas, es un elemento de gran importancia que suele distinguir al experto de la persona que no lo es<sup>11</sup>. El esquema de comportamiento al

<sup>10</sup> Por no considerarlo oportuno en este punto no se va a analizar aquí el componente psicológico del denominado conocimiento operativo o experiencia. No obstante, un estudio del mismo se puede encontrar en la obra:

M. Greenwell (1988), **Knowledge Engineering for Expert Systems**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood Ltd., pp. 15-23.

<sup>11</sup> Existen trabajos de investigación que ponen de evidencia las diferencias de conocimiento

que se ha hecho referencia en este apartado responde, por lo general, a la fórmula situación-acción, donde se incorporan grandes dosis de adaptabilidad que posibilitan, a partir de un conocimiento básico, crear nuevas estructuras de conocimiento más adecuadas a las nuevas circunstancias de los problemas atacados.

Por último, puede darse también la circunstancia de que el experto reciba una descripción del problema de forma no convencional, o en términos poco usuales para el dominio en el que se encuentra trabajando. En este caso será preciso realizar una reformulación del mismo que posibilite su resolución. Un especialista podrá aplicar, dado que su conocimiento así se lo permite, alguna técnica mediante la cual convierta (vuelque) la representación inicial a una representación adecuada para el campo de conocimiento en el que ahora se encuentra.

- c) Con independencia del conocimiento genérico que sobre un determinado campo posea el especialista, el mismo también debe adquirir y manejar un amplio repertorio de conocimientos especializados que son los que en un momento determinado le permiten exhibir un comportamiento que podríamos catalogar como de "altas prestaciones". Este conocimiento especializado es, sin duda alguna, un componente fundamental de la pericia de un experto en el desempeño de una tarea y es, además, otro elemento que sirve para diferenciar a éste de la persona que posee sólo ciertos conocimientos sobre la materia en cuestión.
- d) El experto cuenta con la posibilidad de aplicar un trato discriminado a la información de la que dispone sobre un caso concreto. De esta manera puede discernir claramente entre informaciones poco relevantes y datos o conceptos importantes a la hora de plantear una resolución óptima del problema. Incluso, a un nivel más genérico, el experto puede desechar, partiendo de un amplio espectro de posibilidades, algunas alternativas de solución que desde un principio hayan podido ser contempladas. Con ello se reduce el espacio de búsqueda y se evita el tener que realizar una búsqueda no dirigida que, aunque permite en última instancia determinar cuál es la solución más recomendable para el problema, inevitablemente llevaría, en la mayoría de los casos, a

(continuación de nota 11)

existentes entre los expertos en un tema y las personas poco versadas en el mismo. Algunos de estos trabajos son:

B. Adelson (1981), *Problem Solving and the Development of Abstract Categories in Programming Languages, Memory and Cognition*, vol. 9, pp. 422-433.

J. L. Kolodner, *Towards an Understanding of the Role of Experience in the Evolution from Novice to Expert*, en M. J. Coombs (ed.) (1985), *Developments in Expert Systems*, London, Academic Press, pp. 95-116.

W. G. Chase y H. Simon (1973), *Perception in Chess, Cognitive Psychology*, vol. 4, pp. 55-81.

disponer de un tiempo excesivo en su consecución que invalidaría de pleno el método. La mencionada poda de casos se efectuaría en base a una serie de reductores de campo que, a modo de juicios de valor, emite el experto y que son fruto del conocimiento acumulado por éste durante años<sup>12</sup>, es decir, de su experiencia. Es lo que técnicamente se reconoce como aproximación dirigida o heurística. Es precisamente esta posibilidad de buscar soluciones de modo eficiente uno de los factores determinantes a la hora de catalogar el comportamiento de un experto como de adecuado.

- e) Es igualmente identificable en la persona experta su capacidad para justificar lo que hace y cómo lo hace, proporcionando explicaciones exhaustivas y concretas sobre los pasos que se han ido dando hasta alcanzar una conclusión o, de forma más concreta, sobre alguna decisión adoptada en un paso intermedio del proceso de resolución. El verdadero especialista en una materia está normalmente en disposición, cuando así se le demande, de razonar y justificar suficientemente cualquier aspecto relacionado con su propio conocimiento, con la forma de aplicarlo, con la carencia del mismo en un momento dado, con los procesos de inferencia que ha empleado y la relación de éstos con el conocimiento básico o especializado del dominio, etc. No se debe pasar por alto que los dominios más subjetivos son aquellos que demandan las explicaciones más elaboradas por parte del experto. En definitiva y para concluir, se trata de que el experto pueda razonar sobre sí mismo poniendo en evidencia dicha información cuando sea preciso.
- f) El experto debe de minimizar el riesgo de errar en las opiniones por él emitidas o en la estrategia de resolución elaborada ante un problema concreto que se le haya planteado. Quizá una de las características más importantes a reconocer en el verdadero experto, según Hart<sup>13</sup>, sea precisamente su efectividad o fiabilidad, es decir, la alta probabilidad que existe de que éste resuelva el problema planteado de forma satisfactoria. Téngase en cuenta además que una de las razones por las que se suele recurrir al criterio de una de estas personas es precisamente la confianza y seguridad que inspiran sus aseveraciones y consejos, dado el nivel de conocimiento que poseen respecto de la cuestión que se le ha expuesto. No es admisible ni deseable en modo alguno, aunque por desgracia posible dada su naturaleza humana, que de los consejos y opiniones de un experto se deriven errores o equívocos que con posterioridad sean los responsables de una mala es-

---

<sup>12</sup> Es de suma importancia no olvidar que el conocimiento es adquirido por el experto de forma incremental y no de una sola vez.

<sup>13</sup> A. Hart (1986), *Knowledge acquisition for expert systems*, London, Kogan Page Ltd., p. 22.

trategia resolutoria, la cual impida la superación del problema o, simplemente, que se dificulte la articulación de una resolución eficiente del mismo.

- g) Por último, un experto es siempre muy consciente de cuáles son sus limitaciones de conocimiento y actuación en un determinado campo, pudiendo concretar siempre si en un momento determinado es, como tal experto, competente o no para afrontar la resolución de un problema concreto. No suele ser frecuente que la persona así considerada se involucre, de forma consciente, en aventuras en las que no se considera a sí misma con un nivel suficiente de capacitación para afrontar con garantías un reto de tal nivel.

Este conjunto de características y particularidades con las que se ha intentado dibujar el perfil de un verdadero experto en un campo determinado del saber, es el que con posterioridad compondrá, con alguna que otra modificación o ampliación, el pliego de condiciones a exigir de un sistema informático que emplee técnicas de Inteligencia Artificial y al que se le pueda adicionar de una forma justificada el calificativo de experto.

Como ya se apuntó con anterioridad, el nivel de ejecución deseable en un sistema como el que se está analizando no sólo tiene presente las particularidades de la conducta de una persona experta sino que, también, apunta hacia determinadas funciones o actividades genéricas que ésta desarrolla en la labor específica de resolver problemas. Se trata por lo tanto ahora de hacer hincapié sobre algunas de las más importantes. Ahora bien, como cuestión previa a su tratamiento es necesario ocuparse de la enumeración de determinados procesos considerados esenciales y muy relacionados con aquellas. Éstos son fácilmente identificables en el comportamiento de un experto cuando él mismo está centrado en la resolución de una cuestión particular. Como es de suponer, dichos procesos deberán ser también objeto de réplica por parte del sistema informático, constituyéndose éstos, a su vez, como rasgos característicos del mismo. Para analizar tal cuestión se cuenta, en esta ocasión, con la opinión de Castillo y Alvarez<sup>14</sup>, los cuales la han plasmado en forma de definición. Para ellos un sistema experto es:

(...) un sistema informático que simula el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia, (...).

Se puede constatar pues como en la anterior cita aparecen reseñados algunos de los rasgos más importantes: el aprendizaje, la memorización, el razonamiento, la comunicación, etc. Cualquier persona, y en particular un experto, suele activar tales mecanismos cuando se plantea solventar un problema concreto. En el ámbito de la Inteligencia Artificial algunos han llegado in-

<sup>14</sup> E. Castillo Ron y E. Alvarez Sainz, *Sistemas Expertos ...*, op. cit., p. 14.

cluso a constituir motivo suficiente para desarrollar, en torno a ellos, áreas de investigación con entidad propia. Estas últimas han sido, y en algunos casos continúan siendo, centro de atención y estudio de gran parte de los equipos de investigación que trabajan en este campo. Los numerosos estudios realizados en algunas de las áreas reseñadas, por ejemplo, los relativos a técnicas de razonamiento, métodos de aprendizaje, representación del conocimiento y algunas otras, son una prueba evidente de la importancia que este tipo de materias han llegado a alcanzar a lo largo del tiempo.

Hecha ya la enumeración de algunos de los procesos más significativos que el experto suele poner en marcha cuando desarrolla una labor encaminada a la resolución de problemas, es ahora el momento de retomar la argumentación dirigida a concretar cuáles son las tareas que suelen ser propias de estas personas en la ejecución de tal actividad. Las mismas, y más concretamente el nivel de ejecución con el que estas personas suelen desarrollarlas, puede servir de elemento diferenciador con el resto que no tienen tan particular consideración. Por lo general, es norma que los expertos, dentro de su especialidad, se destaquen por ejecutar con más eficiencia que otras personas alguna/s tarea/s entre las que se podrían encontrar las siguientes:

- Interpretación de signos: Análisis de los inputs, de naturaleza diversa, que han sido percibidos a través de un dispositivo o sistema genérico. Ello permite concretar de forma correcta su significado y además, en base a aquellos, inferir una situación concreta. De su correcta ejecución depende el buen desarrollo de algunas de las otras tareas aquí consideradas.
- Adiestramiento: Seguimiento y evaluación del conocimiento de un ente o individuo, que normalmente evidencia a través de su conducta, con la intención de conseguir, tras el correspondiente programa formativo, una progresión adecuada del mismo.
- Predicción: Partiendo de modelos y estructuras de conocimiento ya existentes, o incluso de la propia experiencia, se precisa con más o menos exactitud el acontecer futuro en escenarios múltiples y las consecuencias derivadas del mismo.
- Diseño y configuración: Es una actividad cuyo desempeño cuenta con un componente creativo muy importante. Por lo general, a través de ella, se especifican las características, sujetas a restricciones, que deben tener los elementos (estructuras de naturaleza diversa, procesos, objetos, proyectos, etc.) sobre los que en ese momento se está trabajando para perfilar su estructura, composición, finalidad o cualquier otra particularidad que tenga relación con ello.
- Seguimiento: Supone realizar una labor de interpretación de información que, casi siempre, suele percibirse en forma de signos de naturaleza diversa y que está relacionada con el desarrollo de una tarea o

- proceso. El fin último de la misma se concreta en la comprobación de si aquellos evolucionan acorde con el plan diseñado previamente o sufren desviaciones de consideración.
- Control: Constituye un proceso de seguimiento al que se le adiciona un módulo activo que posibilita una intervención, a ser posible en tiempo real<sup>15</sup>, sobre un determinado sistema para corregir las alteraciones no deseadas que se suceden en el mismo. En este tipo de actividad es factible también el diseño de un módulo de predicción de comportamientos para la detección anticipada de posibles disfunciones en los mismos.
  - Clasificación: Proceso mediante el cual una persona o sistema agrupa, dentro de una misma categoría o clase, a un conjunto de elementos, comportamientos o fenómenos considerados como similares. Cuando se encuentra uno nuevo, al que tras un estudio se le reconocen características comunes a algunas de las categorías ya establecidas, se suele actuar en términos de la categoría al que éste se encuentra asociado más que en términos individuales. Esto permite una simplificación y reducción de las acciones y procesos, de todo tipo, a desarrollar en cada caso dado que no se actúa en función de la cosa concreta sino en relación a la tipología a la que pertenece.
  - Diagnóstico: Se intenta inferir los defectos en el funcionamiento de un determinado sistema a partir de los datos provenientes de las observaciones y controles realizados sobre el comportamiento del mismo. Para ello es normal que el experto pueda, dado que cuenta con el conocimiento y experiencia necesarios, establecer relaciones entre los posibles comportamientos y los diagnósticos asociados a ellos, o también entre posibles disfunciones del sistema y la propia configuración o implementación que de este se ha hecho.
  - Planificación: Consiste en la realización de una selección de acciones a desarrollar por el individuo, la organización o el sistema y que tiene como objetivo fundamental la consecución de un propósito concreto que, casi siempre, ha sido determinado con antelación. En la generalidad de casos ésta suele ser una tarea considerada como crítica dado que para el buen fin de una operación o proceso es trascendental el haber diseñado convenientemente el plan a seguir hasta su conclusión.

---

<sup>15</sup> Con esta expresión se suele hacer referencia, dentro del contexto en el que nos encontramos, a una fracción de tiempo. En determinadas circunstancias, la solución a plantear en un problema requiere que ésta sea dada en un periodo de tiempo también muy concreto. El sobrepasar ese periodo de respuesta, que se encuentra limitado en tiempo, puede suponer la resolución parcial de la cuestión planteada o, simplemente, la no resolución de ésta. Problemas diferentes requieren, por lo general, tiempos de respuesta también muy diferentes, siendo esta cuestión, en numerosas ocasiones, crítica para un desenlace satisfactorio.

- Asimilación de información: Todos los datos e informaciones recogidos por el individuo son convenientemente procesados y dispuestos, puede incluso que de forma distinta con la que se recibieron, para ser empleados cuando se considere oportuno.
- Consejero y asesor: Casi siempre que una persona tiene ante sí el compromiso de tener que tomar una decisión, puede que trascendente, y no se encuentra suficientemente capacitada para ello, recurre a la opinión o consejo de aquel al que todos le reconocen, por su nivel de conocimientos sobre la cuestión de que se trate, en buena disposición para ello. Esta suele ser una labor que muy pocos están capacitados para desempeñar.

La realidad ha puesto de manifiesto la necesidad de que para poder completar el desarrollo de algunas de la referidas tareas es obligatorio el haber ejecutado previamente, o de forma simultánea, alguna/s otra/s. Se trata, por lo tanto y en la mayoría de las ocasiones, de un complejo proceso en el que se dan interrelaciones muy claras entre unas y otras, si bien dependiendo del tipo de problema que se esté atacando algunas pueden tener mayor relevancia y peso específico que otras en ese caso concreto. No suele existir tampoco un orden preestablecido en la ejecución de cada una de ellas, aunque el mismo suele venir impuesto, en la mayoría de los casos, por la lógica implícita en la evolución de un procedimiento de tal naturaleza. Significar, por último, que cada situación en la que el individuo se encuentre le obligará a una realización más o menos completa de las distintas tareas dependiendo ello, en última instancia, del nivel de dificultad del problema a resolver y también de la naturaleza de éste.

### 3.2.1.2 Aproximación al concepto basada en el componente tecnológico: Definición Estructural.

Parece que un buen método para poder definir convenientemente la esencia de cualquier objeto, fenómeno o sistema es mediante la descripción de cómo es ese algo, detallando su estructura y la organización de los elementos que la componen. Por ello, y desde esta segunda perspectiva en la que se ha encuadrado la denominada definición estructural, se pretende, aparte de completar el examen que del concepto en sí se está haciendo, realizar también una primera descripción del orden u organización internos que, de forma más o menos homogénea, suelen presentar la generalidad de este tipo de sistemas de proceso, señalando que esta cuestión será objetivo específico del contenido de otro apartado posterior del capítulo. No se efectuará por tanto, en este momento, un análisis pormenorizado y en detalle de cada uno de los componentes, ya que lo pretendido por ahora es sólo que el lector pueda captar, con la mayor fidelidad posible, la imagen real de los sistemas expertos en una configuración que se podría considerar como clásica.

Se puede confirmar, sin excesivo riesgo de cometer una equivocación, la no existencia de un "estándar" en lo que a la composición de un programa de este tipo se refiere. Hoy día apenas si se pueden vislumbrar en este ámbito algunas normas o principios arquitectónicos<sup>16</sup> que guíen la creación de tales sistemas. Si acaso, es posible determinar la existencia de algunos factores como el tipo de conocimiento del que se disponga sobre un dominio concreto o la magnitud y complejidad de la tarea que el sistema experto deba desarrollar, que sí se deberán tener muy en cuenta pues suelen influir, de forma importante, sobre la arquitectura que dicho sistema presente. Dada la diversidad de técnicas que se han empleado hasta ahora en su desarrollo y configuración, podrían encontrarse bastantes diferencias entre muchos de los programas ya creados. No obstante, es posible realizar una especificación a grandes rasgos de la composición más frecuente que dichos sistemas suelen presentar. A través de una definición se puede describir a un sistema experto como:

(...) un programa de ordenador en el que la base de conocimiento, que es donde se encuentra recogida la experiencia y el saber en un dominio concreto, es independiente del motor de inferencia o unidad que incorpora las estrategias de razonamiento que se aplicarán sobre aquel.

Algunos autores como Dussauchoy<sup>17</sup>, Hollnagel<sup>18</sup> o Goodall<sup>19</sup> también hacen referencia expresa a la organización interna de un sistema experto apoyándose en la definición que de estos dan.

Los elementos reseñados en la definición anterior son dos de los componentes considerados más característicos dentro de la estructura general de tales programas. A ellos se le deben añadir, no obstante, otros considerados como muy necesarios para permitir que el sistema creado sea una herramienta verdaderamente útil. Entre esos otros elementos se pueden citar los siguientes: la interfaz de usuario, la memoria de trabajo (base de datos global), el módulo explicativo (traza) o el módulo de adquisición del conocimiento. En la siguiente figura 3.3, donde aparecen recogidos todos esos componentes, se muestra lo que sería una versión simplificada de la estructura correspondiente a un sistema experto.

<sup>16</sup> Dichos principios de construcción, que son cuatro en concreto, quedan recogidos por Maté y Pazos en la obra:

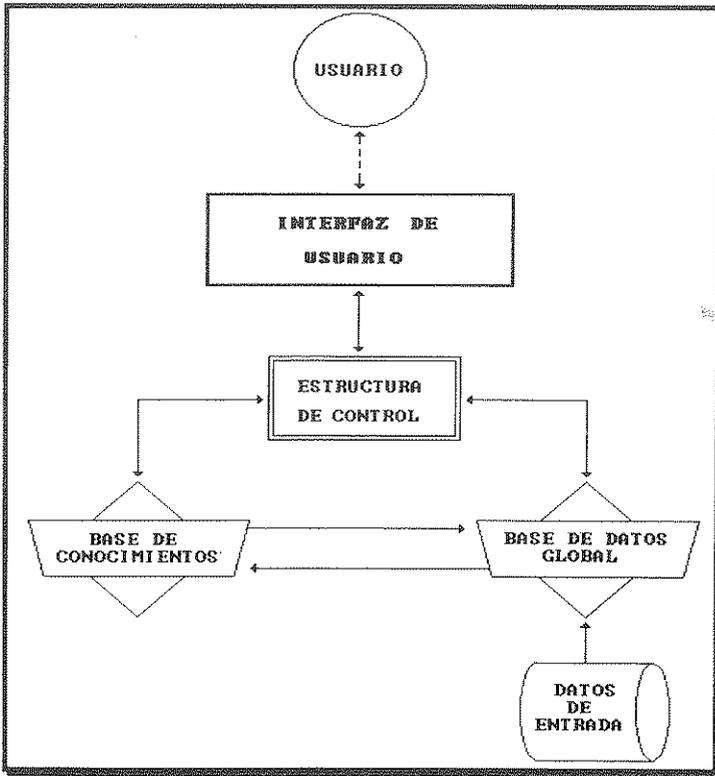
J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, **Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...**, op. cit., pp. 71-74.

<sup>17</sup> A. Dussauchoy y J. N. Chatain (1988), **Sistemas Expertos. Métodos y Herramientas**, Madrid, Ed. Paraninfo, p. 31. Traducido al castellano de la obra *Systemes Experts. Methodes et outils*, publicada por Editions Eyrolles, París.

<sup>18</sup> E. Hollnagel (1989), **The Reliability of Expert Systems**, Chichester (W. S.), Ellis Horwood Ltd., p. 16.

<sup>19</sup> A. Goodall, **The Guide to Expert ...**, op. cit., p. 12.

Figura 3.3 VERSIÓN SIMPLIFICADA DE LA ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO.

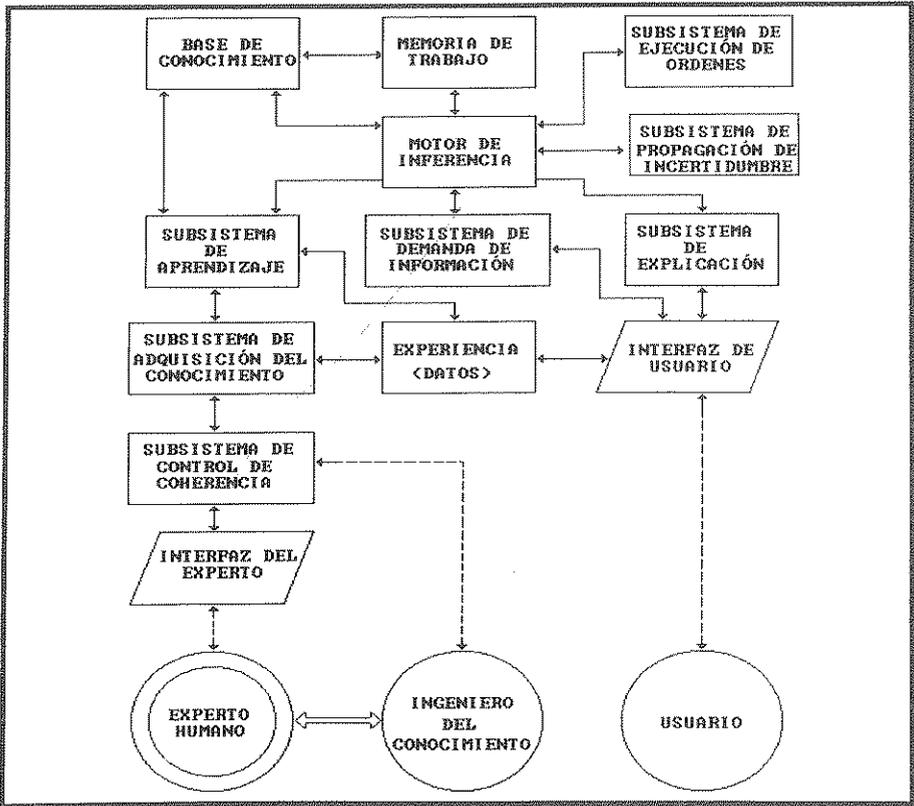


Fuente: Elaboración propia.

Dado que, como ya se indicó con anterioridad, no existe un consenso general en cuanto al esquema de composición genérico para este tipo de sistemas, es factible diseñar también una versión "extendida" donde aparezca recogida una concepción más amplia de la disposición de los diversos componentes que integran un sistema experto. Esta otra, a la que ahora se está haciendo referencia, aparece recogida en la figura 3.4. Algunos de los términos incluidos en la figura se definen a lo largo de este capítulo.

Como se puede constatar a partir de las representaciones gráficas anteriores, nos encontramos ante un diseño estructural novedoso y bastante diferente del que se ha venido utilizando en los programas de informática convencional. Con esta nueva concepción en la disposición de los distintos elementos integrantes del sistema se posibilita, en general, la creación de potentes herramientas para resolver problemas de muy diversa índole, dotándole a éstas de gran flexibilidad para adquirir, modificar y actualizar sus conocimientos. Además, ofrecen también una mayor transparencia dada la posibi-

Figura 3.4 VERSIÓN DETALLADA DE LA ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO.



Fuente: Elaboración propia.

lidad que tienen tanto el usuario final como el experto de recibir información justificativa de cómo el programa ha efectuado un proceso de razonamiento o alcanzado determinada conclusión.

### 3.2.1.3 Definición de Sistemas Expertos como sistemas optimizados para búsqueda de información.

En primer lugar hay que apuntar el hecho de que esta tercera perspectiva de análisis se encuentra, de alguna forma, relacionada con la aproximación que inicialmente se realizó al concepto de sistema experto en el apartado 3.2.1.1. En ella, se aludía a la idea de que el programa de ordenador catalogado como de experto debería seguir unas pautas de comportamiento (funcionamiento) similares, aunque no teniendo que ser exactamente idénticas, a las mostradas por un experto humano cuando se enfrenta a la resolución de un problema o a la toma de una decisión concreta. Este comportamiento se manifiesta a través del desarrollo de toda una serie de procesos y tareas, de

índole diversa, las cuales dicha persona suele poner en práctica cuando se encuentra en tal situación. La propia realidad ha sido la encargada de poner de manifiesto igualmente el papel decisivo que en dicha faceta juega la información de la que se dispone y, en particular, lo adecuada que ésta resulte ser tanto en calidad como en cantidad para los fines perseguidos en tales circunstancias. Por otro lado, son numerosos los casos que se podrían enumerar donde la cantidad de información disponible en un momento dado supera, de forma notable, la capacidad existente para procesarla de una forma efectiva. Con frecuencia, la información recibida suele ser almacenada en bases de datos, por lo general con diferentes formatos y estructura, lo cual supone contar físicamente con gran cantidad de aquella aunque no se pueda utilizar de forma adecuada. En tal situación, la determinación de cuál debe ser el conocimiento (información) a emplear, por su relevancia, en la resolución de un problema o en la toma de una decisión, se convierte en una cuestión fundamental que no siempre la persona humana puede resolver de forma satisfactoria, aún cuando se trate del caso de un experto.

Así, teniendo en cuenta lo dicho hasta el momento y añadiendo la opinión de algún investigador más como es el caso de Addis<sup>20</sup>, si se analiza con detenimiento el contenido del párrafo anterior y se admite además el que la aptitud de una persona experta en un área específica depende, en gran medida, de su capacidad para buscar y obtener la información que necesite en cada momento dentro de su entorno habitual, es posible establecer una nueva vía de aproximación a dicho concepto que pasa por considerar, en cierto modo, a los sistemas expertos como auténticos sistemas optimizados de búsqueda de información. Se trata de programas que suelen incorporar, como elemento importante que los caracteriza, procedimientos mediante los cuales se depura, selecciona y extrae de entre la totalidad de la información disponible, aquella que resulte más relevante para la cuestión o el problema que se esté intentando resolver en un momento dado. Mediante los mismos se efectúa una limitación en la disposición y presentación informativa para aquellos casos donde sólo es necesario utilizar, por las razones que fueren, una parte muy concreta de toda la información de la que se dispone en ese momento. A pesar de que puede resultar, hasta cierto punto, obligado el interrogarse ahora por las bases y los principios más importantes sobre los que se fundamentan la operatividad y el desarrollo de tales procedimientos, no parece este el momento más adecuado para efectuar un análisis en detalle de los mismos, quedando pues dicha cuestión pendiente para más adelante.

Es obvio que para todas aquellas personas involucradas en el manejo de información se están sucediendo hoy en día, y de forma acelerada, cambios importantes que permitirán la superación de algunas dificultades consideradas

---

<sup>20</sup> T. R. Addis (1982), *Expert Systems an evolution in information retrieval*, *Information Technology: Research and Development*, nº 1, pp. 301-324.

consustanciales a esa actividad de gestión informativa pero, que de igual forma, provocarán la aparición de otras nuevas a superar. No se debe pasar por alto el hecho de que en el momento actual uno de los activos más valiosos con los que cuenta cualquier persona u organización, del tipo que sea, es precisamente la información disponible sobre el campo que es propio de su actividad. Además, en la mayoría de los casos, la disposición efectiva y eficiente de la misma suele constituir una ventaja comparativa importante en relación al resto de competidores que simplemente o no cuentan con ella o disponen de la misma pero a un nivel cualitativa o cuantitativamente inferior. Por ello, dentro de las distintas organizaciones, tanto gubernamentales como privadas, hace algún tiempo que se empezó a tomar conciencia de la gran importancia que tiene el disponer de sistemas adecuados para la generación, captación, recuperación y gestión de tal información. Es claro que en el desempeño de esta múltiple tarea los sistemas expertos pueden constituirse como un instrumento de un valor indiscutible.

Para finalizar con la revisión que sobre el concepto de sistema experto se ha efectuado y a modo de conclusión apuntar que, según el criterio que se mantiene en este trabajo, en aquel se engloba y encierra algo más que una mera descripción, en uno u otro sentido, de un simple programa de ordenador. Por ello hay que pensar más bien que en él aparecen recogidos, a su vez, toda una diversidad de conceptos, procedimientos y técnicas que, utilizados de forma correcta, permiten al hombre hacer uso de los ordenadores con una amplia variedad de nuevas y decisivas alternativas.



## IV

---

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS**

#### 4.1 INTRODUCCIÓN.

#### 4.2 COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

#### 4.3 CREACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO. PRINCIPIOS ARQUITECTÓNICOS.

4.3.1 Base de conocimiento.

4.3.2 Base de datos total (Memoria de trabajo).

4.3.3 Motor de inferencia (Estructura de control).

4.3.4 El componente de adquisición.

4.3.5 El componente explicativo.

4.3.6 Interfaz (Módulo) del experto.

4.3.7 Interfaz de usuario.

#### 4.4 ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO.

4.4.1 Etapa 1: Definición del problema. Identificación.

4.4.2 Etapa 2: Búsqueda del experto o de la fuente de conocimiento.

4.4.3 Etapa 3: Identificación de los conceptos y datos clave.

4.4.4 Etapa 4: Selección del soporte: hardware y software.

4.4.5 Etapa 5: Adquisición del conocimiento I.

4.4.6 Etapa 6: Representación del conocimiento y formalización del razonamiento.

4.4.7 Etapa 7: Desarrollo de un prototipo. Testeo y validación.

4.4.8 Etapa 8: Adquisición del conocimiento II.

4.4.9 Etapa 9: Mantenimiento y actualización.

#### 4.5 PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS ACTUALES.

4.5.1 Problemas y límites impuestos por el contexto donde el problema va a ser aplicado.

4.5.2 Problemas y límites derivados del estado actual del arte.

## 4.1 INTRODUCCIÓN.

Una vez hecha la necesaria puntualización sobre el concepto de sistema experto, y más concretamente sobre las distintas acepciones que de él se pueden derivar, resulta igualmente conveniente especificar con claridad cuáles son los rasgos genéricos más importantes que a la vez caracterizan y diferencian a este tipo de programas de otros que se encuadran dentro del marco general de la informática actual. Por ello, ahora se van a analizar todas aquellas cuestiones que tienen que ver directamente con la disposición formal que, por lo general, se le suele dar a los distintos elementos que integran este tipo de sistemas, además de una descripción de las diferentes etapas que, consideradas en su conjunto, constituyen el proceso que tiene por objeto la creación y desarrollo de los mismos.

A pesar de que en cada sistema experto se pueden concretar una serie de características particulares como son su diseño, su desarrollo o el mismo comportamiento, que lo hacen diferenciarse del resto de programas de su misma naturaleza, casi siempre es factible, no obstante, el poder determinar un conjunto de rasgos diversos que es deseable formen parte del perfil de los sistemas que reciben tal consideración. No obstante, siempre será posible encontrar en la realidad un caso donde determinadas particularidades incorporadas a un programa, bien en la composición y organización del mismo, en la ejecución de éste o en la génesis del sistema, lo hagan constituirse como excepción al modelo genérico descrito en gran parte de la literatura especializada. No va a ser por tanto objetivo de este capítulo la realización de una descripción minuciosa de los elementos considerados más relevantes y que corresponden a cada uno de los apartados que aquí se han concretado. Más bien lo que se intentará, en su lugar, es hacer una descripción, bajo la forma de modelo básico, que le permita al lector en adelante poder identificar y reconocer a uno de tales sistemas a partir de aspectos tan fundamentales como son los relativos a su estructura, comportamiento, etc.

## 4.2 COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA EXPERTO.

Por lo general un sistema experto suele estar diseñado para que exhiba unas características genéricas concretas que se ajusten a las necesidades del usuario final. También, dependiendo del grado de dificultad que la aplicación lleve consigo y de la propia naturaleza de ésta, es factible hacer mención a determinadas prestaciones que por el momento tienen, dado el nivel de desarrollo alcanzado por esta técnica, sólo la consideración de deseables para una gran parte de los programas existentes en la actualidad. Hay que admitir además la importancia que en el futuro tendría el hecho de que tales potencialidades fuesen incorporadas a los mismos cuando los obstáculos de carácter técnico ahora planteados hayan sido superados. Es fácilmente constatable que hoy en día no todos los programas de esta categoría muestran el mismo nivel de competencia ni incorporan iguales prestaciones. No obstante, sí que es posible encontrar en casi todos ellos una serie de posibilidades (prestaciones) que, dada la frecuencia con la que se suelen presentar, constituyen en sí elementos que caracterizan y condicionan el comportamiento de los mismos. A continuación se relacionan aquellos considerados, en general, como más relevantes.

a) Adquisición, dominio y modificación de conocimientos. Los sistemas de esta naturaleza, al igual que las personas, están capacitados para incorporar y manejar conocimientos correspondientes a un campo concreto del saber. Además, suele ocurrir con frecuencia que dicho conocimiento está cambiando y evolucionando casi de forma constante, por lo que el contenido del programa deberá ser actualizado y modificado convenientemente cuando así se requiera. Por ello, un sistema experto que recoge en su base de conocimiento la información específica sobre un campo o especialidad deberá, llegado el caso, disponer también de un componente que le permita al usuario variar o actualizar el conocimiento que el programa ya posee o incluso incorporar nuevas unidades cognitivas al mismo. Por desgracia, en el momento presente todavía no se ha alcanzado un nivel óptimo en el desarrollo de las técnicas que permitan a los sistemas expertos obtener fácilmente el conocimiento por sí mismos a partir de los casos prácticos en los que se vean involucrados.

b) No existe una programación previa a través de la cual se determine cómo y cuándo el sistema utilizará el conocimiento que posee y que le fue suministrado previamente. Será el mecanismo de inferencia del propio programa el que determine y controle, en todo momento, tales particularidades en función de la evolución seguida por el proceso de resolución desde su inicio, así como también de las posibles variaciones que hayan experimentado las condiciones originarias en las que el problema fue planteado.

c) Resolución de problemas. En lo que normalmente hoy es considerado como un planteamiento resolutivo inteligente es posible apreciar, como ca-

racterística de gran importancia, la capacidad que la mayoría de programas actuales tienen para explorar, buscar y determinar, entre un gran número de posibilidades correspondientes a un espacio de búsqueda concreto, una a la que se le reconoce como la más adecuada para el problema planteado. Los sistemas expertos suelen usar una amplia variedad de técnicas de búsqueda, bajo el formato de reglas, con las que se evita el tener que realizar un análisis aleatorio de todas las posibilidades existentes dentro de un espacio, reduciendo desde un primer momento el número de posibilidades (soluciones) factibles. Indudablemente que con ello se logra un ahorro importante en el tiempo de proceso empleado por el ordenador y, por ende, en el de respuesta del programa a los requerimientos que se le hacen.

d) Ejecución de "alta calidad". Un sistema experto debe de estar siempre capacitado para responder a cualquier contingencia o cualquier circunstancia con unos niveles de competencia equiparables a los de un experto humano en el dominio de conocimiento correspondiente. Como una cuestión muy relacionada con esta cualidad, y que resulta esencial a la hora de catalogar a un sistema como verdadero experto, se encuentra también aquella que tiene que ver con el tiempo de respuesta que el sistema presenta para los distintos problemas que se le van planteando. Este último es un punto que día a día va ganando en importancia en determinadas aplicaciones, las denominadas "aplicaciones en tiempo real"<sup>1</sup>, que constituyen en la actualidad una de las posibilidades de mejora más importantes para este tipo de programas. La gran mayoría de los sistemas que hoy en día se encuentran en activo no pueden operar en tiempo real debido, fundamentalmente, al diseño del motor de inferencia que incorporan y a los prolongados tiempos de proceso que son requeridos durante su actividad.

e) Capacidad para usar un mecanismo de inferencia con el que poder realizar sus deducciones. Con dicho elemento el programa está en disposición para poder razonar de forma juiciosa sobre diversos puntos y, en ocasiones, poder incluso dar la justificación, si así le es requerido, de las cuestiones que se le han presentado al usuario, del conocimiento mismo que el programa posee, del dictamen final que el sistema ha podido emitir para un caso concreto, de la realización de hipótesis de trabajo y los argumentos a favor y en contra de alguna planteada en particular o, simplemente, de la consecución de algún proceso intermedio en la resolución de un problema. También es factible que el sistema pueda aportar información al usuario sobre las consecuencias que de la realización de algún planteamiento se puedan derivar o

<sup>1</sup> Sistemas en tiempo real se suele considerar a todos aquellos en los que resulta trascendental el tiempo en que se produce la salida o respuesta. Así, el tiempo que medie entre la entrada al sistema de la información necesaria y la respuesta que el mismo da deberá ser lo suficientemente pequeño para permitir que ésta última sea aceptable para el usuario. Algunos ámbitos donde los sistemas en tiempo real son aplicados con frecuencia son: las pruebas asistidas por ordenador, el control de procesos, los sistemas de ayuda a la decisión, etc.

predecir, es decir, lo que podría ocurrir si una hipótesis elaborada previamente por el programa se llega a cumplir. Todas estas cuestiones inciden de manera importante sobre el nivel de confianza que se le suele otorgar a un sistema experto en el desempeño de su labor.

f) Tratar y manejar incertidumbre e información incompleta. En bastantes de las actividades que el ser humano desarrolla se suelen presentar situaciones en las que la disposición de información no es todo lo satisfactoria que se desearía bien por su escasa disponibilidad o bien por su poca fiabilidad, llegando en ocasiones, incluso, a ser imposible el verificar esta cuestión. Es por ello que en la programación basada en el conocimiento no siempre resulta obligado disponer de la totalidad de información necesaria para resolver una cuestión concreta. De este modo, en algunos de los sistemas que se emplean para desarrollar aplicaciones de muy diversa índole, se ha ofrecido la posibilidad de incorporar y manipular determinadas informaciones y hechos de los que no se tiene un conocimiento cierto y a los que, por tal circunstancia, es frecuente que se le trate de forma particularizada mediante la aplicación, por ejemplo, de modelos probabilísticos, de los conocidos factores de certeza<sup>2</sup>, del modelo evidencial de Dempster-Shaffer, del modelo posibilístico de Zadeh (Fuzzy Logic)<sup>3</sup>, etc. Desgraciadamente, y a pesar de que la incorporación de información de esta naturaleza es casi obligada dentro del proceso de razonamiento de un sistema experto, hasta el momento presente, y no sólo en el ámbito de la Inteligencia Artificial, no se ha conseguido diseñar un tratamiento de los fenómenos y hechos inciertos mediante la aplicación de una teoría consistente y común para la variedad de casos planteados. Por el contrario, en la mayoría de éstos, lo único que se ha hecho es diseñar una solución a medida del problema afrontado en cada momento.

Dentro de este mismo apartado se encuentra también otra cuestión importante que tiene que ver con el manejo de conocimiento incompleto o difu-

---

<sup>2</sup> Un factor de certeza es una medida informal que se le asigna a determinados hechos o relaciones para indicar el grado de confianza que estos nos merecen o, dicho en otros términos, el grado de certeza que sobre ellos tenemos. Este tipo de guarismos suele recibir un tratamiento algo más informal que los clásicos coeficientes de probabilidad asignados a los hechos y fenómenos analizados a través de las técnicas correspondientes a un procedimiento estadístico determinado.

<sup>3</sup> Para un análisis más detallado de cada una de estas opciones es conveniente consultar las siguientes obras y artículos:  
E. Castillo Ron y E. Alvarez Sainz, **Sistemas Expertos ...**, op. cit., pp. 113-141.  
K. Parsaye y M. Chignell (1988), **Expert Systems for Experts**, New York, John Wiley & Sons, pp. 211-249.  
L. A. Zadeh (1979), *A theory of approximate reasoning*, **Machine Intelligence**, vol. 9, pp. 149-194.  
M. M. Gupta y otros (eds.) (1985), **Approximate Reasoning in Expert Systems**, Amsterdam, North-Holland, p. 835.  
R. Martin-Clouarie y H. Prade (1985), *On the problems of representation and propagation of uncertainty in expert systems*, **International Journal of ManMachine Studies**, vol. 22, pp. 251-264.

so, el cuál puede estar expresado en una amplia variedad de formas. En este caso incluso la propia vía de comunicación que es el lenguaje natural, utilizado entre experto y usuario o entre el sistema y el usuario, puede ser una de las fuentes de imprecisión a la hora de suministrar información y datos con sesgo o ambiguos relativos a un problema concreto que se desea resolver.

g) Capacidad para razonar sobre sí mismos y sobre sus propios procesos de razonamiento y análisis. No es conveniente, en modo alguno, que de la forma en la que el programa opera pueda derivarse la idea de que éstos se constituyen en auténticas chisteras de mago de las que se pueden obtener resultados, en ocasiones, sorprendentes. Es sumamente importante, para garantizar la credibilidad que un programa de este tipo puede tener, que éste sea capaz de conectar los pasos de inferencia desarrollados con los principios fundamentales del dominio en el que está trabajando. Evidentemente que en los dominios más subjetivos se requerirán las explicaciones más elaboradas, sobre todo cara a la/s persona/s hacia la/s que se orienta o dirige la solución o conclusión obtenida por el programa. El sistema experto debe poseer algún tipo de utilidad a través de la cual se puedan dar explicaciones relativas a los razonamientos que el mismo efectúa hasta llegar a la determinación de una conclusión o la toma de una decisión. Se debe procurar, además, que las explicaciones se expresen en un lenguaje que le resulte familiar tanto al experto como al usuario final. No obstante, conviene dejar claro que ésta es una cuestión en la que a veces surgen dificultades dado que no siempre resulta fácil, ni siquiera para un experto, articular la propia experiencia, y ello porque no siempre se es plenamente consciente de los procesos a través de los cuales se toma una decisión o se alcanza determinada conclusión.

h) Aplicable a determinados ámbitos de la realidad para que ayude a resolver problemas concretos que al usuario se le planteen a lo largo del tiempo. En la actualidad no parece oportuno ni aconsejable, por diversos motivos, desarrollar sistemas de los catalogados como "de laboratorio", salvo que el objetivo fundamental que se persiga en su caso sea precisamente experimentar nuevas técnicas o métodos dentro de este campo.

i) Un sistema experto debe ser versátil en el sentido de que pueda ser utilizado incluso por personas que no posean un conocimiento profundo de cuestiones relacionadas con la informática ni tengan excesiva experiencia en dicho ámbito. De nada sirve desarrollar un sistema muy sofisticado y técnicamente complejo si, con posterioridad, la persona a la que el mismo se dirige no tiene la posibilidad de comunicarse adecuadamente con él. En la consecución de este objetivo jugará un papel fundamental el componente del sistema encargado de tal misión y al que se le denomina interfaz de usuario. Ésta deberá de estar concebida de forma que facilite al máximo la comunicación del programa con el usuario y viceversa.

## 4.3 CREACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO. PRINCIPIOS ARQUITECTÓNICOS<sup>4</sup>

Ya se hizo referencia expresa en apartados anteriores a una característica fundamental que particulariza a este tipo de programas y es la disposición física separada de algunos de sus componentes esenciales como son la base de conocimiento y el motor de inferencia<sup>5</sup>. Pues bien, a estos dos componentes básicos de la estructura interna de cualquier sistema experto hay que añadirle, además, otros que aunque por lo general casi siempre se les suele reconocer un menor protagonismo, no por ello hay que considerarlos como de menor rango o importancia. Partes integrantes del sistema como son la base de hechos, la interfaz de usuario, el módulo explicativo o el módulo para adquisición de conocimiento, serán también objeto de estudio particular en este apartado. No se debe pasar por alto el hecho de que el funcionamiento, adecuado o no, que finalmente exhiba un sistema experto dependerá, en última instancia, de varios factores entre los que se puede destacar el diseño apropiado de todos sus componentes, la mejor o peor adecuación de dicho diseño a las circunstancias que concurren en la aplicación a realizar y, en última instancia, además, el buen acoplamiento de todos los componentes.

En la figura 4.1, que aparece a continuación, se muestra lo que podría constituir el diseño básico<sup>6</sup> de la estructura interna que, por lo general, exhiben la mayor parte de los sistemas expertos que hasta el momento se han desarrollado.

### 4.3.1 Base de conocimiento.

Muchos suelen considerar a este elemento como una especie de memoria permanente en la que se encuentra recogido todo el conocimiento específico (experiencia), a disposición del sistema, en relación con el ámbito o dominio en el que se pretende que el mismo actúe. Su contenido será de vital

---

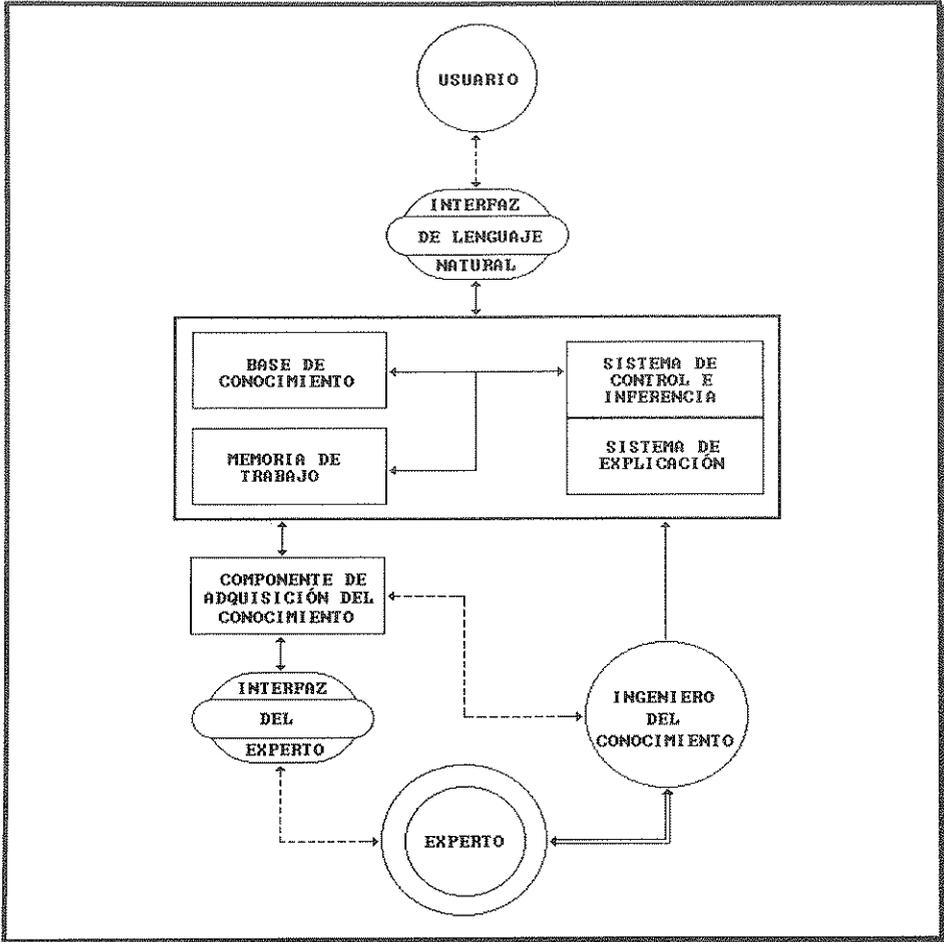
<sup>4</sup> El estudio que se va a realizar a lo largo de todo este punto estará referido al caso de un sistema experto basado en conocimiento.

<sup>5</sup> Hay algunos autores, como es el caso de Luger y Stubblefield, que consideran muy necesaria esta separación y fundamentan su opinión con diversos argumentos. Su opinión está recogida en la obra:

G. F. Luger y W. A. Stubblefield, *Artificial Intelligence and ...*, op. cit., p. 295.

<sup>6</sup> La misma salvedad que en su momento se hizo para las prestaciones que este tipo de programas pueden brindar a sus usuarios, en el sentido de que no todos ofrecen igual variedad, es factible repetiría ahora para el caso de la composición y ordenación interna de los mismos. Con ello lo que se pretende es que el lector tenga en cuenta que la estructura interna de los distintos elementos aquí reflejada no tendrá porqué coincidir, obligatoriamente, con la de todos y cada uno de los posibles sistemas que en la realidad se hayan concebido. Se trata, por esto, de realizar una descripción estándar en la que se intenta recoger y analizar, por extensión, el mayor número de componentes potenciales que un sistema experto puede incorporar y no tanto el presentar en sí un modelo que se ajuste al de la mayoría de los sistemas ya existentes.

Figura 4.1 DISEÑO BÁSICO DE LA ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO.



Fuente: Elaboración propia.

importancia para plantear la resolución de los problemas diversos que se puedan presentar dentro de tal contexto. Ese conocimiento (experiencia), por lo general, se concretará en un conjunto de hechos, objetos, sucesos, situaciones y relaciones que tienen que ver con un determinado campo del saber. En muchos sistemas expertos el conocimiento ha sido plasmado con frecuencia en forma de reglas, expresadas éstas en un lenguaje propio de alguna de las múltiples herramientas de desarrollo existentes, aunque también se han utilizado otros tipos de representaciones como son los objetos estructurados (marcos, guiones), las redes semánticas, etc. Desde luego que la modalidad de estructura representativa que se adopte y la disposición que reciba la información dentro de la base van a depender, fundamentalmente, de la

tipología de conocimiento que se quiera representar. Además, las unidades informativas que constituyen el contenido de dicha base pueden pertenecer a diferentes categorías (tipos) de conocimiento como son el conocimiento declarativo, que constituye el contenido de la denominada base de hechos; el conocimiento procedimental u operativo y el llamado metaconocimiento.

Las referidas unidades de conocimiento, de naturaleza y contenido diverso, deberán encontrarse siempre representadas de forma explícita, no permitiendo que éstas se entremezclen unas con otras para así facilitar su identificación y posibilitar también un acceso sencillo a las mismas. Todo ello permitirá, indudablemente, que a la base de conocimiento se la dote de una estructura flexible.

La forma en la que el conocimiento va a ser representado es algo inherente al propio diseño del sistema experto. No obstante, no está claro que existan de por sí unas normas específicas predeterminadas para poder seleccionar una modalidad u otra de representación. Lo que sí es siempre recomendable, sea cual sea la forma en que el mismo vaya a ser representado en la base, es contemplar una serie de directrices generales sobre cómo hacerlo. Seguidamente se exponen algunas de las consideradas más importantes:

- El tipo de representación elegido debe de ser lo más sencillo posible. Con ello, aparte de facilitar la propia tarea de la representación se posibilitará, además, una manipulación ágil del conocimiento y también el poder realizar, sin necesidad de recurrir a un experto en programación, modificaciones y rectificaciones en la base sin gran esfuerzo ni excesivo grado de complicación.
- La representación seleccionada tiene que caracterizarse por permitir un alto nivel expresivo y una potencia de cálculo considerable.
- El tipo de representación que se vaya a aplicar debe posibilitar también el desarrollo de alguna opción para llevar a efecto justificaciones y explicaciones de los procesos desarrollados o de las soluciones, intermedias o con carácter definitivo, que se hayan concretado.
- Debe ser factible el que las unidades de conocimiento introducidas en la base sean independientes unas de las otras. Así la incorporación o eliminación de alguna o la simple modificación del estado de una de ellas sólo afectará a dicha unidad y no al resto de unidades o al conjunto de la base.
- La modalidad de representación utilizada debe permitir el establecimiento de relaciones ya sean de grupo, de herencia, etc., entre las distintas unidades cognitivas que componen la base.

Determinados especialistas en el diseño de bases de conocimiento son partidarios de que antes de iniciar la fase de configuración de la base, propiamente dicha, se realice una especificación clara de las características que

ésta deberá reunir. Para ello, será necesario responder a una serie de cuestiones entre las que se podrían encontrar algunas de las siguientes: ¿qué hechos, objetos, sucesos, estrategias y situaciones serán definidos?; ¿cómo son las relaciones que se dan entre los distintos hechos, objetos, situaciones, estrategias y sucesos definidos con anterioridad?; ¿cómo se formularán y procesarán las reglas?; ¿la base de conocimientos hace totalmente referencia a la solución del problema?, etc.

Apuntar finalmente que el diseño inicial hecho de la base de conocimiento debe posibilitar, en todo momento, un posterior desarrollo continuado de la misma y un fácil mantenimiento. Esto será factible si se dota a este elemento de una cierta modularidad, para que cuando se disponga de nuevos conocimientos o cuando los ya existentes queden obsoletos se puedan realizar fácilmente cambios mediante la adición de nuevas reglas, la eliminación de otras o la corrección de algunas de las ya existentes, no siendo necesario, en ningún momento, la reprogramación del sistema experto en su totalidad. El tamaño de la base de conocimiento variará dependiendo de lo ambiciosas que resulten ser las aplicaciones que con el sistema se pretendan llevar a cabo. Lo que sí es evidente es que la potencia del mismo crecerá con el aumento del número de reglas que compongan la base y siempre que éstas no resulten triviales o repetitivas<sup>7</sup>.

#### 4.3.2 Base de datos global (Memoria de trabajo).

Suele contener los datos iniciales que describen el enunciado de un problema así como cualquier otro que se genere mientras el motor de inferencia trabaja sobre la resolución del mismo. En ella podrán recogerse las respuestas que el usuario dé a las diversas cuestiones que el programa le pueda plantear, además de cualquier otro resultado intermedio fruto del proceso de razonamiento efectuado y de las conclusiones que se hayan alcanzado, en un determinado momento, dentro del tiempo de proceso. A veces, incluso, esta base puede servir como instrumento para poder hacer un seguimiento exhaustivo de la evolución del problema propuesto a través de todas las etapas por las que éste discorra.

En ocasiones no ha quedado expresada con suficiente claridad la diferencia que existe entre el papel a desempeñar por la base de conocimiento y el que se le encomienda a la base de datos. Es por lo tanto conveniente hacer, en este momento, un inciso para aclarar cuál es el que le corresponde a cada

---

<sup>7</sup> Algunos autores hacen una categorización de los sistemas en función del número de reglas que incorporan sus respectivas bases de conocimiento. Así, sería factible distinguir hasta tres niveles diferentes que pueden servir meramente como orientación:

- 1) Pequeños sistemas y prototipos de demostración, hasta 200 reglas.
- 2) Sistemas típicos para aplicaciones en el ámbito de la empresa, entre 200 y 3000 reglas.
- 3) Grandes sistemas, por encima de las 3000 reglas.

una. La base de conocimiento recoge el conocimiento relativo a cómo hacer las cosas ("knowhow" en inglés) dentro del ámbito de una determinada especialidad o disciplina, pudiendo ser utilizado éste en reiteradas ocasiones aunque se le incorporen nuevas unidades cognitivas o se efectúen modificaciones en las ya existentes. Por contra, el contenido de la base de datos se corresponde siempre con las particularidades de un solo caso, el cual es tratado con el fin de alcanzar, si es factible, un resultado o solución conveniente. Todo el contenido de dicha base variará por completo de un caso a otro de los que se someten a tratamiento del programa. No ocurrirá lo mismo, sin embargo, con la base de conocimiento a pesar de que en ella se pueda dar algún tipo de modificación que no es de esperar alcance la escala referida para el primer caso.

#### 4.3.3 Motor de inferencia (Estructura de control).

Es el componente del sistema encargado de gestionar y controlar, de forma lógica, todo el proceso que tiene ver con el manejo y la utilización eficiente del conocimiento incorporado a la base. Sin él, un sistema experto no pasaría de ser un mero almacén de sabiduría y conocimiento específico pero carente de un método o procedimiento efectivo para ponerlo en práctica y explotarlo convenientemente. No basta, por tanto, con saber hacer las cosas. El conocimiento del que se puede disponer en un ámbito determinado no resulta útil sino es puesto en práctica de forma adecuada. Dicha labor de disposición y aplicación racional del conocimiento es la que le corresponde desempeñar al motor de inferencia. Este auténtico "gestor" es el encargado de decidir cómo, cuándo y porqué se selecciona, interpreta y aplica la información procedente de la base de conocimiento sobre la base de datos, con la finalidad de alcanzar, cuando ello sea factible, una solución conveniente al problema planteado. Un matiz de suma importancia en relación con esta cuestión es que la forma en que dicho elemento utiliza y maneja el conocimiento no está programada de antemano por nadie. Por contra, es este mismo dispositivo el que, mediante la aplicación de sus propias estructuras de razonamiento y control, determina en todo momento qué tipo de conocimiento es necesario aplicar y lo utiliza y encadena en el transcurso del proceso de resolución del problema planteado.

Es importante que el diseño de este componente sea siempre lo más sencillo posible. Aunque no en todos los casos es factible encontrar unos elementos constitutivos similares dentro de un motor de inferencia, para un sistema basado en reglas se podrían distinguir los siguientes:

- Un intérprete<sup>8</sup> (interpreter). Su misión consiste en determinar cómo se aplica el conocimiento del dominio.

---

<sup>8</sup> Por lo general, en la mayoría de los casos, nos estaremos refiriendo al intérprete de reglas.

- Un programador-ejecutor (scheduler). Se encarga de secuenciar las acciones llevadas a cabo por el motor de inferencia en función de las prioridades que se puedan haber fijado en el plan de resolución. Para ello, normalmente este componente deberá evaluar los efectos que traería consigo, en relación con la búsqueda de una solución, la activación de determinadas reglas.
- Un regulador de consistencia (consistency enforcer). El mismo vela por la obtención de una expresión consistente de la solución del problema a medida que ésta vaya tomando cuerpo.

La experiencia adquirida en la creación de sistemas expertos ha puesto de manifiesto que si bien puede concretarse con relativa facilidad la forma en que el conocimiento de una persona experimentada puede ser expresada en forma de hechos y reglas, para conformar así la base de conocimiento, no ocurre de igual forma con el motor de inferencia. Realmente no existe un principio claro que, a priori, pueda indicar el modo en que un motor de inferencia debe ser diseñado. Lo que sí es evidente es que ante problemáticas distintas será necesario utilizar distintos mecanismos de inferencia y, por lo tanto, habrá que tener muy presente siempre la naturaleza del ámbito donde el problema a tratar se circunscribe y también el modo en que haya sido representado y organizado el conocimiento del dominio donde se pretende aplicar el sistema. No obstante, sí queda la posibilidad de poder aplicar un mismo motor de inferencia sobre distintas bases de conocimiento. En algunos casos de sistemas expertos muy conocidos se procedió a vaciar la base de conocimiento de reglas y hechos que fueron sustituidos por otros nuevos a los que se les aplicó un motor de inferencia que previamente ya se había utilizado.

Las funciones básicas que un motor de inferencia deberá desempeñar en el transcurso de una sesión resolutoria son varias, encontrándose entre las más importantes algunas de las que a continuación se reseñan:

- 1) Control: Este dispositivo incorporado por el motor dirige y gobierna el modo en que las estrategias de búsqueda y razonamiento son utilizadas. Como una faceta destacada dentro de su cometido se encuentra, por lo general, la determinación de la secuencia en la que se examinan, eligen y disparan las reglas que componen la base de conocimiento de un sistema con tales características.
- 2) Inferencia: Este proceso se caracteriza por la puesta en acción de un conjunto de estrategias de búsqueda y razonamiento, usadas por el sistema experto, para derivar nuevos hechos a partir de los ya existentes en el programa. Así, mediante la aplicación de una serie de rutinas, se posibilita el razonamiento como elemento integrante de la ejecución del programa cuando aquellas son aplicadas sobre la base de conocimiento.

Al igual que no se puede reconocer de forma concluyente la existencia de un método con aceptación general para la representación genérica del conocimiento, es difícil también encontrar, entre los métodos de búsqueda desarrollados hasta ahora, uno al que se le pueda considerar como más eficiente que el resto. No obstante, dado que el método básico de resolución de problemas más utilizado en Inteligencia Artificial ha sido el de búsqueda<sup>9</sup>, su estudio y desarrollo se ha constituido como uno de los principales campos de investigación dentro de dicho ámbito. Son diversas las técnicas de búsqueda que se han diseñado para la resolución de problemas, si bien la aplicación de unas u otras dependerá de la naturaleza y características que éstos presenten. En todo caso, se deberán tener en cuenta siempre algunas cuestiones<sup>10</sup>, interrelacionadas entre sí, que tienen que ver con la estrategia de búsqueda que se va a aplicar: si ésta se fundamenta en técnicas de búsqueda a ciegas o, por contra, se basa en técnicas heurísticas; el sentido en el que se va a realizar dicha búsqueda (búsqueda en anchura o en profundidad) y, por último, el tipo de encadenamiento del conocimiento que se adoptará (encadenamiento hacia adelante, encadenamiento hacia atrás, encadenamiento mixto) durante el proceso de resolución.

#### 4.3.4 El componente de adquisición.

En la creación de cualquier sistema experto resulta ser de suma importancia el proceso mediante el cual se transfiere la experiencia desde el experto humano al programa. En este contexto, y en la mayoría de los casos, se da el hecho de que la persona experimentada en una disciplina concreta carece de los conocimientos necesarios sobre programación, por lo que se hace necesaria la participación de un programador (ingeniero de conocimiento). No obstante, y a pesar de poder contar con esta segunda persona, con frecuencia surgen problemas dado que el ingeniero del conocimiento no es un experto en el dominio de conocimiento en el que se está trabajando, además de que no siempre resulta fácil transmitir las ideas de una persona a otra para que esta segunda, a su vez, las plasme en el ordenador. Por todo ello y para superar los inconvenientes apuntados anteriormente, parece oportuno que sea el propio experto el que interactúe directamente con el programa. Se-

---

<sup>9</sup> En el ámbito de la Inteligencia Artificial la simulación de cualquier actividad que denote inteligencia necesita la determinación de un procedimiento formal para concretar la secuencia de las acciones a desarrollar dentro de ella. De este modo, la búsqueda se puede definir como un proceso en el cual, a partir de una situación inicial, se procede a buscar dentro del espacio (conjunto de posibles alternativas de exploración) del problema con el propósito de identificar la secuencia de acciones o etapas a cubrir y que conducen a un objetivo final que se desea alcanzar.

<sup>10</sup> De todas ellas se encontrará una descripción más detallada y precisa en las siguientes obras: A. Barr y E. A. Feigenbaum (eds.), *The Handbook of ...*, op. cit., vol. 1, pp. 20-139. J. Giarratano y G. Riley, *Expert Systems ...*, op. cit., pp. 107-176.

ría deseable, en estas circunstancias, que el programa pudiese auxiliar al experto de igual forma que lo haría el ingeniero de conocimiento.

En infinidad de sistemas expertos el módulo de adquisición del conocimiento resulta ser un integrante sin cuya participación no sería factible el desarrollo inicial del programa ni su posterior mantenimiento. Este suele presentarse, por lo general, a modo de utilidad segregada de la interfaz del experto y sin estar, por lo tanto, integrado en ella. Resulta incuestionable el hecho de que disponer de un buen módulo de adquisición facilitará de manera considerable la labor del ingeniero del conocimiento. Por ello, se debe catalogar a este componente bajo estudio como un instrumento indispensable a la hora de incorporar, de una forma eficiente, el conocimiento a la base o de realizar los cambios que en la misma sea necesario efectuar en cada momento. Con la utilización de este módulo es posible la creación y posterior edición de la base, además de poder efectuar una supervisión continuada de la sintaxis incorporada a las unidades en las que se ha estructurado el conocimiento. El formato que generalmente suele adoptar este tipo de dispositivo es asimilable al de un editor de textos especializado, aunque la actividad que desde él se desarrolla en modo alguno podrá influir sobre el valor de los razonamientos que el sistema experto pueda realizar.

Finalmente conviene señalar, por su importancia, algunas de las características más relevantes que debe mostrar una herramienta de esta naturaleza, si bien es evidente el hecho de que sobre la propia realidad se va a dar una amplia variedad de posibilidades en cada uno de los módulos que sean analizados. Por lo tanto, y como ya ocurrió con algunos de los componentes descritos previamente, no será factible tampoco en esta ocasión la determinación de una composición estándar para dicho elemento. Así las particularidades referidas serían:

- Capacidad para representar de forma transparente toda la información recogida en la base de conocimiento.
- Disponibilidad de un método sencillo para poder introducir el conocimiento en la base, es decir, todas las reglas, hechos y relaciones existentes entre los mismos.
- Comprobación automática de la sintaxis de todas las unidades de conocimiento utilizadas en la representación de un caso.

#### **4.3.5 El componente explicativo.**

Es normal que a la hora de recibir una recomendación o un consejo proveniente de una persona a la que se considera experimentada en un determinado campo, ésta explicita y razone convenientemente los fundamentos racionales sobre los que ha basado su opinión explicando, llegado el caso mediante diversos conductos, el proceso de razonamiento que ha seguido hasta

la finalización del procedimiento resolutivo. Mediante dicha aclaración el experto pretende ganar la confianza del usuario, en lo que a la aceptación de su dictamen se refiere, a la vez que intenta convencerle de que la conclusión por él alcanzada es fruto de una actuación que ofrece las suficientes garantías de coherencia y rigor metodológico en el esquema de razonamiento aplicado. De esta forma resulta más que probable que las personas que están siendo asesoradas por el experto acepten con pleno convencimiento las conclusiones obtenidas por éste y sus recomendaciones.

Por los motivos argumentados en el párrafo anterior, es esta capacidad de brindar explicaciones una cualidad que resulta de vital importancia a la hora de lograr la plena aceptación de los sistemas expertos por parte de las personas que pretenden utilizarlos. Debido a ello, es frecuente que en bastantes de los sistemas expertos ya existentes<sup>11</sup> se incluya, como una utilidad más que éstos ofrecen, un elemento que le permite al usuario del sistema obtener, tras un análisis de los procesos seguidos por el motor de inferencia, una justificación adecuada de cuál ha sido la secuencia (razonamiento, acciones, recomendaciones, etc.) que el programa ha seguido hasta alcanzar una determinada solución para el problema planteado. La confianza que el usuario tenga en un programa de esta naturaleza se deriva, en sí, no ya de la calidad de los resultados que éste produzca sino más bien de lo seguro que resulte ser el sistema de razonamiento que el mismo incorpora, además de lo apropiado que sea éste último para la tarea encomendada al programa. Hasta ahora, muchos de los componentes de explicación diseñados han ofrecido un nivel<sup>12</sup> de aclaración que resultó ser, casi siempre, suficiente para el inge-

---

<sup>11</sup> En general, al conocimiento recogido en un sistema experto, relativo a cómo éste opera y razona, se le suele denominar como Metaconocimiento (Metaknowledge). El mecanismo de explicación utilizado con más frecuencia suele ser el denominado razonamiento retrospectivo (Retrospective Reasoning), aunque también se pueden emplear otras modalidades como son el razonamiento hipotético o ex-ante (Hypothetical Reasoning), y el razonamiento ex-post o a posteriori (Counterfactual Reasoning).

<sup>12</sup> Según el criterio de Cleal y Heaton, es posible distinguir hasta tres niveles de explicación diferentes que los sistemas expertos basados en reglas pueden usar.

Nivel 1º. En él se interroga al sistema sobre cuestiones muy específicas. Dentro de este grado se encontrarían todas aquellos modelos típicos de consulta como son: porqué, porqué no, cómo, qué, etc. El elemento común que suele caracterizar a todo este tipo de preguntas es que, por lo general, no implican nunca la referencia a lo que se podría denominar como estrategia de razonamiento de alto nivel que estos programas suelen emplear.

Nivel 2º. En este segundo apartado sí son ya consideradas cuestiones que tienen que ver con las estrategias (de control) utilizadas en el manejo y aplicación del conocimiento recogido en la base de conocimiento de muchos sistemas.

Nivel 3º. Se incluyen todas aquellas cuestiones que requieren del sistema una explicación sobre la inclusión de determinados módulos de conocimiento dentro de la base. El sistema debe poner de manifiesto si existe o no justificación racional para la incorporación de determinada/s regla/s a la base de conocimientos.

Las soluciones alternativas a aplicar en sistemas expertos que emplean otro tipo de formalismos de representación, distintos a las reglas, se describen en la obra de Cleal y Heaton:

niero del conocimiento, dado que éste se encuentra muy familiarizado con el entorno del proceso y la adquisición. Igual ocurre con el experto, dado el conocimiento que posee sobre el dominio donde el problema se plantea. Las dificultades, no obstante, surgen en el caso del usuario final del sistema que, por lo general, suele ser una persona en la que no se dan las circunstancias anteriormente apuntadas para ingeniero y experto. Por lo tanto, estas personas se enfrentan al hecho de que los módulos de tal naturaleza, desarrollados hasta ahora, son poco apropiados para su nivel de conocimiento y necesidades particulares en cada caso.

Con un programa como el que aquí se está describiendo, el usuario estará en disposición de poder realizar siempre preguntas al sistema e indagar, por ejemplo, sobre cómo ha llegado éste a la determinación de soluciones intermedias, porqué requiere en un momento dado una información o datos precisos del usuario, qué cualidades tienen determinados objetos, porqué el programa plantea una cuestión concreta, etc. Se dan también, para este caso, una serie de particularidades que, en su conjunto y concretadas todas dentro de un mismo sistema, le otorgarían al mismo unas prestaciones de alto nivel. De las diversas características que podrían señalarse conviene destacar las siguientes:

- El dispositivo de justificación con el que cuente el sistema experto debe de ser algo más sofisticado y completo que una simple traza del proceso de resolución y razonamiento (reglas disparadas) que se haya seguido hasta ese momento. Una regla no puede justificarse a sí misma.

Resulta de vital importancia dejar suficientemente claro no solo cómo se ha derivado una determinada conclusión sino, además, porqué se alcanzó la misma. Esto, sin duda alguna, exige el dotar al sistema de un mecanismo de razonamiento mucho más sofisticado que el que permite la simple descripción del contenido de las reglas o su encadenamiento, además de la incorporación de un modelo diferente de análisis y razonamiento. La mayoría de los mecanismos incorporados a los sistemas existentes actualmente en el mercado carecen de la necesi-

---

(continuación de nota 12)

D. M. Cleal y N. O. Heaton, *Knowledge-Based Systems. Implications ...*, op. cit., pp. 132-150.

Otras contribuciones interesantes relacionadas con esta temática son las siguientes:

D. Warner Hasling (1983), *Abstract Explanations of Strategy in a Diagnostic Consultation System, Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-83)*, August 22/26, pp. 157-161.

M. C. Polson y J. Richardson (1988), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Hillsdale (N. J.), Lawrence Erlbaum, p. 65.

P. Jackson y P. Lefrere, *On the application of rule-based techniques to the design of advice giving systems, International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 20, pp. 63-86.

ria potencia para justificar o aclarar de forma adecuada. Debido a ello, hay investigadores que van más allá y proponen ya el diseño de modelos que incorporen, de forma separada, reglas y justificaciones para posibilitar la argumentación a partir de las unidades de conocimiento más básicas que el sistema posea<sup>13</sup>. Los sistemas expertos de segunda generación<sup>14</sup> deben incorporar un conocimiento más preciso y de nivel superior en sus bases de datos los avances que se producirán tanto en los métodos de adquisición como en los de representación, lo cual, a su vez, servirá para mejorar y reforzar esta labor de clarificación.

- Los sistemas expertos futuros deberán permitir, en lo posible, que sea el propio usuario del sistema el que modele el mecanismo de explicación según sus necesidades particulares. De hecho ya existen bastantes trabajos que se han orientado hacia la consecución de tal objetivo.
- Sería muy interesante que el sistema estuviese en disposición de poner en evidencia cuándo el usuario precisa de una aclaración sobre una cuestión o aspecto concreto que se relacione con la materia que en ese momento está siendo objeto de su atención. Mediante un seguimiento efectuado por el propio sistema de la conducta que el usuario ha exhibido hasta ese instante, se podrían detectar situaciones en las que éste pueda necesitar de una argumentación aclaratoria sobre un determinado aspecto, a pesar de que no lo haya manifestado así expresamente. En determinadas circunstancias es posible que una persona no detecte por sí misma la necesidad que tiene de información

---

<sup>13</sup> Como solución intermedia se ha pensado, por parte de algunas personas interesadas en esta cuestión, en la posibilidad de poder adjuntar a las distintas reglas que conforman la base de conocimiento un texto para ser utilizado, cuando sea necesario, como argumento justificativo del porqué se ha seguido una determinada línea de razonamiento o aplicado una estrategia de resolución concreta.

<sup>14</sup> Hay algunos investigadores como es el caso de Steels que utilizan el término "second generation expert systems" para referirse a aquellos sistemas que combinan el razonamiento heurístico, basado en reglas, con razonamiento de nivel superior basado en un modelo causal del dominio del problema afrontado. Un modelo causal consta de un conjunto de propiedades, referidas a diversos componentes, los cuales están relacionados causalmente en el sentido de que el valor asignado a una propiedad está determinado por el valor de alguna/s otra/s propiedad/es. Las relaciones causales pueden representarse fácilmente en una red para la cual los nodos representan las propiedades de los distintos componentes. Este tipo de modelos no requiere la construcción de grandes estructuras de reglas y posibilitan, de esta manera, la elaboración de dispositivos de justificación más evolucionados que los diseñados tradicionalmente.

Más detalles acerca de esta cuestión pueden ser consultados en:

L. Steels, *The Object-Oriented Knowledge Representation System KRS*, en T. O'Shea (ed.) (1984), **Proceedings of ECAI-84**, North Holland, Amsterdam.

L. Steels, *Second Generation Expert Systems*, en M. A. Bramer (ed.) (1987), **Research and Development in Expert Systems III. Proceedings of Expert Systems'86, the Sixth Annual Technical Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems**, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 175-183.

adicional para clarificar y completar su conocimiento sobre algún extremo. Casi siempre, hasta que no se plantea directamente una pregunta al respecto de lo que se está intentando resolver, no queda en evidencia la carencia de conocimiento que sobre ello se tiene y, en ocasiones, ésto puede representar una seria limitación dado que es el mismo usuario el que se muestra incapaz de reconocer su propia carencia.

- Es recomendable que durante el tiempo que dure el procesamiento los usuarios puedan conocer, siempre que lo deseen, la progresión en el tratamiento del problema que el sistema está haciendo. Para ello, será necesario el poder disponer de los argumentos suficientes con los que se justifique y razone convenientemente el porqué de algunas decisiones tomadas por el programa.
- Deberían existir diversos niveles de contenido en la justificaciones y aclaraciones suministradas por el programa. Esto se debe a que, en ocasiones, una justificación simple puede resultar suficiente para admitir la validez o no de un resultado.

Resulta obvio, tras la enumeración de estas características, que en tales circunstancias, donde la interacción hombre-máquina alcanza una cierta continuidad y profundidad, ésta debe llevarse a cabo en condiciones favorables. Para ello se deberá disponer de un medio (lenguaje) de comunicación simple y versátil que amplíe al máximo las posibilidades de la comunicación.

Aparte de las tareas que le son propias, concretadas casi siempre en facilitar la comprobación de la exactitud, de la consistencia y la posibilidad de las conclusiones alcanzadas por el programa, junto con la verificación de la corrección del razonamiento efectuado por éste, pueden realizarse con él otras aplicaciones que serán analizadas a continuación.

a) Este módulo generador de explicaciones puede resultar también muy útil a la hora de perfeccionar y optimizar el sistema mismo (evaluación del programa). La persona encargada de la tarea de programar puede utilizar esta facilidad tanto para mejorar la estructura del sistema en sí como para depurar el conjunto de reglas que se ha configurado en la base de conocimiento, eliminando errores, redundancias y posibles incoherencias en el diseño y secuenciado de las mismas.

b) Este elemento, al que también se le denomina en ocasiones como subsistema de explicación, puede constituirse igualmente como una excelente herramienta para propósitos que tienen que ver con la formación y el entrenamiento de personas en el desempeño de una determinada actividad. Realizando una adecuada selección de los casos a plantear y proveyendo al novel mediante este dispositivo de las necesarias justificaciones, relativas al modelo de conducta que se habría de aplicar en las diferentes situaciones para que,

a su vez, las contraste con sus propios esquemas, se puede llegar a lograr una correcta asimilación del método de resolución a utilizar en cada una de las posibles tipologías de problemas, posibilitando así que dicha persona se convierta, poco a poco y con la acumulación del conocimiento necesario, en un auténtico experto.

c) Por último, también es posible emplear un módulo de explicación, de un cierto nivel, para la realización de lo que se ha dado en llamar "razonamiento hipotético". El mismo se utiliza para explorar y concretar, en su caso, posibles alternativas de resolución de un problema a través del planteamiento de diversas cuestiones del tipo "¿qué ocurriría si ...?", aprovechando para ello las explicaciones y justificaciones que la herramienta suministra.

#### 4.3.6 Interfaz (Módulo) del experto.

Las tareas que al mismo se le encomiendan son las siguientes:

- Configuración del sistema: A través del módulo referido se puede llegar a conformar el formato y la estructura de algunos otros elementos integrantes del sistema experto como es el caso, por ejemplo, del motor de inferencia.
- Adquisición del conocimiento<sup>15</sup>: Con la interfaz del experto se posibilita la edición, incorporación y modificación del conocimiento el cual será incorporado a la base en caso de no encontrarse todavía en ella.
- Mantenimiento del conocimiento: El poder mantener convenientemente actualizado un sistema experto, en lo que al conocimiento que éste incorpora se refiere, es sumamente importante. Por ello, a través de este componente se logra actualizar y completar la base de conocimiento del sistema una vez que la misma ha sido creada.
- Validación y depuración: También mediante la intervención de esta interfaz es posible detectar y corregir, en su caso, posibles errores e inconsistencias que se hayan cometido durante la fase de carga del conocimiento suministrado por los expertos a la base del sistema.

#### 4.3.7 Interfaz de usuario.

Es este uno de los componentes de la estructura interna del sistema experto al que cada vez se le está reconociendo un mayor protagonismo a la hora de posibilitar el diseño de programas que ofrezcan unas buenas prestaciones y que, además, resulta ser pieza clave cuando se pretende ganar la confianza del usuario hacia el sistema y lograr una total aceptación por su parte.

---

<sup>15</sup> En algunos sistemas suele producirse una clara segregación de esta función con respecto al módulo del experto, pasando a ser ejecutada la misma por un componente independiente, dentro del sistema, denominado módulo de adquisición o subsistema de adquisición del conocimiento.

La industria de la informática convencional ha realizado, a lo largo de todos estos años, un impresionante esfuerzo por mejorar de forma continuada las prestaciones de los ordenadores e incrementar al máximo la potencia de éstos. Sin embargo, a pesar de tal evolución, el usuario final se ha visto con frecuencia bastante limitado en la explotación de los mismos debido, en ocasiones, a lo inadecuados<sup>16</sup> que han resultado ser los dispositivos de comunicación con el ordenador puestos a su disposición. Casi nunca se ha podido elegir libremente el tipo de interfaz que permita interactuar con aquel en unas condiciones favorables, dadas las particularidades impuestas por el contexto donde normalmente se desenvuelve. Son muchos los que, recientemente, se han planteado la cuestión de si existe una gran diferencia entre la Inteligencia Artificial y las tecnologías de informática tradicional en lo referente a los dispositivos de interacción que una y otra deben utilizar. La respuesta a dicha pregunta debería ser, sin duda alguna y en la mayoría de los casos, sí. Pensemos que no resulta frecuente encontrar a un usuario al que le interese disponer de una interfaz en la que se presente el trabajo interno desarrollado, por ejemplo, por un compilador. Sin embargo, no debe de extrañar que para el caso de una persona, convertida en usuario final de un sistema experto, sea esencial el poder disponer y exponer en la pantalla el esquema del proceso seguido por el programa a la hora de alcanzar una determinada conclusión o de concretar la solución de un problema. Es probable que el diseñador de una interfaz para un sistema experto, de hecho, se enfrente a diversos problemas que resultan ser similares a los que se le plantean a un diseñador de módulos de comunicación para sistemas convencionales. Pero a pesar de ello, algunos de los principios básicos, sobre los que se fundamenta el diseño convencional, deben de ser reformulados convenientemente en términos de la nueva tecnología informática que se va a aplicar y en función de los objetivos para los cuales los sistemas expertos, en particular, han sido creados.

<sup>16</sup> Los principales problemas con los que se han enfrentado las personas involucradas en los trabajos de investigación, dentro de este área, tienen su raíz en cuestiones que afectan a diversos ámbitos entre los que destacan el tecnológico, el de la organización de sistemas de información, el de la modelización de la psicología humana y el de la concepción y creación de sistemas basados en conocimiento. Para profundizar en esta cuestión consultar:  
 B. R. Gaines, *Intelligent User Interfaces*, en M. L. Emrich y otros (eds.), **Expert Systems and ...**, op. cit., pp. 271-302.  
 — (1981), *The technology of interaction-dialogue programming rules*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 14, nº 1, pp. 133-150.  
 — (1986), *From timesharing to the sixth generation: the development of human-computer interaction part I*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 24, nº 1, January, pp. 1-27.  
 — (1986), *Foundations of dialogue engineering: the development of human-computer interaction part II*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 24, nº 2, February, pp. 101-123.  
 E. L. Rissland (1984), *Ingredients of intelligent user interfaces*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 21, nº 3, September, p. 73.  
 J. A. Hendler (ed.) (1988), **Expert Systems: The User Interface**, Norwood (N. J.), Ablex Publishing Corp., p. 324.

Es por ello, y dentro ya del campo específico de la Inteligencia Artificial, que aún el más sofisticado de los sistemas expertos que se hayan construido hasta el momento pueda ser catalogado, sin duda alguna, como de programa inútil si no dispusiese de un componente para comunicación hombre-máquina apropiado que le permitiese al usuario final una adecuada explotación del mismo. Los métodos de interacción entre usuario y sistema existentes hoy en día pueden limitar en muchos casos la efectividad de éstos y también, en otros, la perfecta aplicabilidad de los programas que se van desarrollando. El problema suele aparecer dado que la mayoría de las personas a las que se considera como usuarios finales de tales sistemas no tienen, generalmente, grandes conocimientos de informática. Esta situación aconseja, cuando no fuerza, la creación por parte de los diseñadores de tales elementos de unos instrumentos de comunicación con el programa que permitan realizar tal actividad, en ambos sentidos, al nivel más sencillo (amigable) posible. No se quiere indicar tampoco, con ello, que por el simple hecho de disponer de una buena interfaz de usuario un sistema experto, con poca capacidad, llegue a ser un programa brillante. Lo que sí es evidente es que un sistema experto, en principio con gran capacidad, es un programa brillante pero cerrado, aislado y poco eficiente por no disponer de un canal de comunicación válido con el usuario final.

La tendencia reciente en el diseño<sup>17</sup> de este tipo de dispositivos se orienta hacia la consecución de interfaces de usuario que utilicen, en el desempeño de su tarea, un lenguaje de comunicación lo más parecido posible al lenguaje ordinario (natural) para lograr así, entre la persona humana y el ordenador, una interacción mucho más completa y diáfana que posibilite a su vez la creación de un entorno más abierto, creativo y que se integre convenientemente en el contexto donde el usuario se suele desenvolver a diario. Incluso, se alumbra la posibilidad de que en un futuro muy próximo se produzcan cambios importantes en el tipo de interacción<sup>18</sup> hombre-máquina que se pueda establecer. Además de la primera condición, ya apuntada, se po-

---

<sup>17</sup> Los trabajos que se desarrollan en la actualidad en este área tienen antecedentes en algunos estudios que les han precedido. Así, en la década de los ochenta, se propusieron varios modelos concretos para describir los distintos niveles existentes en la creación de interfaces de usuario, siendo algunos de los más interesantes los elaborados por Foley & Van Dam y por Card, Moran & Newell. El contenido de los mismos puede ser revisado en:

J. D. Foley y A. Van Dam (1982), **Fundamentals of interactive computer graphics**, Reading (Mass.), Addison Wesley, p. 75.

S. K. Card y otros (1983), **The psychology of human computer interactions**, Hillsdale (N. J.), Lawrence Erlbaum, p. 75.

<sup>18</sup> La rapidez y profundidad con la que se están estudiando este tipo de cuestiones lleva a algunos investigadores a considerar ya a todo lo relacionado con la interacción hombre-máquina como parte integrante de un nuevo campo de investigación con entidad propia. Gran parte de su contenido sería así el resultado de la interrelaciones que se producen entre diversas disciplinas como son la Inteligencia Artificial, la Psicología, la Ergonomía y la Ingeniería.

drían indicar otros requisitos que es deseable cumplan dichos componentes, dado que la no concurrencia de los mismos podría condicionar, de manera importante, la mejor o peor disposición que la persona haga de ellos.

Por último, el futuro de la creación de interfaces de usuario, dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial, pasa forzosamente por la concepción de diseños donde se integren un conjunto amplio de posibilidades abiertas a todas las posibles vías de comunicación que se puedan dar entre un ordenador y el ser humano. En este sentido, y según la opinión de Muir<sup>19</sup>, son varios los objetivos que, expresados a modo de grandes líneas de actuación, se deben alcanzar en relación con este propósito:

- a) Se debe procurar la configuración de interfaces de usuario multifunción dado que, en la realidad, las manifestaciones de muchos problemas que se presentan pueden ser percibidas a través de diversos sentidos.
- b) Para posibilitar una interacción mucho más efectiva y amigable se debe ir hacia los dispositivos de comunicación inteligentes (intelligent user interfaces) que sean capaces de comprender, desde un primer momento, las intenciones y los deseos del usuario dentro del contexto donde normalmente éste desarrolla su labor.
- c) La interfaz de usuario debe resultar un instrumento rápido, portable, versátil y compacto.

En la misma línea del planteamiento hecho con anterioridad, pero con un nivel de concreción mucho mayor, se pueden determinar las funciones (tareas) que la interfaz de usuario debería cumplir en adelante para que el servicio que éstas prestan discurra conforme a las posibilidades ofrecidas por el continuo desarrollo tecnológico y también en relación a las necesidades que los nuevos usuarios de los sistemas inteligentes van experimentando paulatinamente. La lista a elaborar con dichas funciones podría ser bastante amplia, pero aquí sólo se va a hacer referencia a las consideradas como más importantes:

- 1) Ofrecer, y lo que es más importante, en ambos sentidos, un modelo avanzado de interacción entre el sistema y la/s persona/s encargada/s de su explotación.
- 2) Admitir la entrada y salida de información de todo tipo y de datos procedentes de fuentes diversas que se encuentran implicados en el desarrollo de un determinado proceso o en la resolución de un problema o cuestión particular.
- 3) Permitir que el usuario del programa, siempre que lo considere necesario, obtenga del mismo todas las explicaciones y justificaciones per-

<sup>19</sup> R. Muir, *The integrated user*, en D. S. Moralee (ed.), *Research and Development in ...*, op. cit., p. 129.

tinentes que se puedan derivar de la adopción de una decisión o de una resolución en particular. Este punto suele resultar de vital importancia a la hora de ganar la confianza de la/s persona/s a la/s cual/es va a prestar servicio el sistema.

En los planteamientos expuestos con anterioridad se da por supuesto, como es lógico, que el elemento técnico en esta cuestión no será nunca un obstáculo insalvable para la consecución de tales metas.

#### 4.4 ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO.

Por lo general, el desarrollo de un sistema experto suele ser, en parte, similar al de cualquier otro programa convencional de ordenador. Debido a ello, se puede constatar como algunos de los problemas y dificultades que surgen en el momento en el que se plantea el diseño y la creación de un sistema de este tipo son algo propio de dicho contexto, mientras que otros resultan ser comunes a la mayoría de los desarrollos de software sean del tipo que sean. En este apartado serán estudiados y analizados, con particular interés aunque no de forma exclusiva, los citados en primer lugar.

Este que ahora nos ocupa es un proceso en el que las distintas fases que lo integran están interconectadas entre sí tanto que, en la realidad, no siempre es posible establecer una clara separación entre las mismas. No existe, como ya ocurrió en la determinación del contenido de otros apartados relacionados con la creación de sistemas expertos, un único modelo (metodología) de desarrollo para las distintos tipos de programas que se pueden dar. No obstante, sí que puede resultar interesante la elaboración de un esquema genérico aproximado cuya estructura podrá variar, en ordenación y contenido, dependiendo fundamentalmente de la modalidad de programa que se desee obtener, tamaño del mismo, etc. A modo de orientación, podría resultar válido el que aparece recogido en la figura 4.2 donde se especifican las distintas etapas en las que se podría subdividir el proceso de desarrollo de un sistema experto.

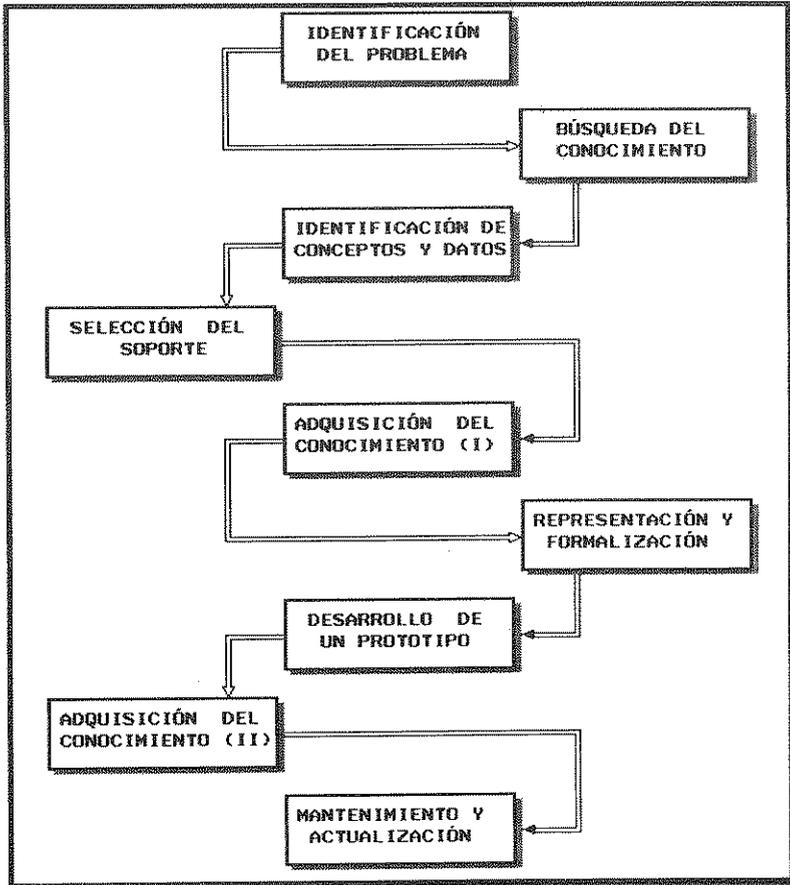
En el desarrollo de un sistema experto siempre se suele contemplar la colaboración que, de forma estrecha, prestan dos tipos de personas como son el/los ingeniero/s del conocimiento y el/los experto/s humano/s del dominio<sup>20</sup> (figuras 4.3.A y 4.3.B).

Ahora bien, la actuación de éstos, ya desde un principio, no debiera ignorar, y esto no siempre ocurre así, ninguna de las aspiraciones y necesida-

---

<sup>20</sup> Aunque no se haga mención expresa en este momento a la figura del programador, sí se admite que su papel puede llegar a ser de suma trascendencia, sobre todo en aquellos casos donde el ingeniero no sea la persona encargada de la codificación formal del conocimiento que el experto le ha ido suministrando.

Figura 4.2 ETAPAS DEL PROCESO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO.



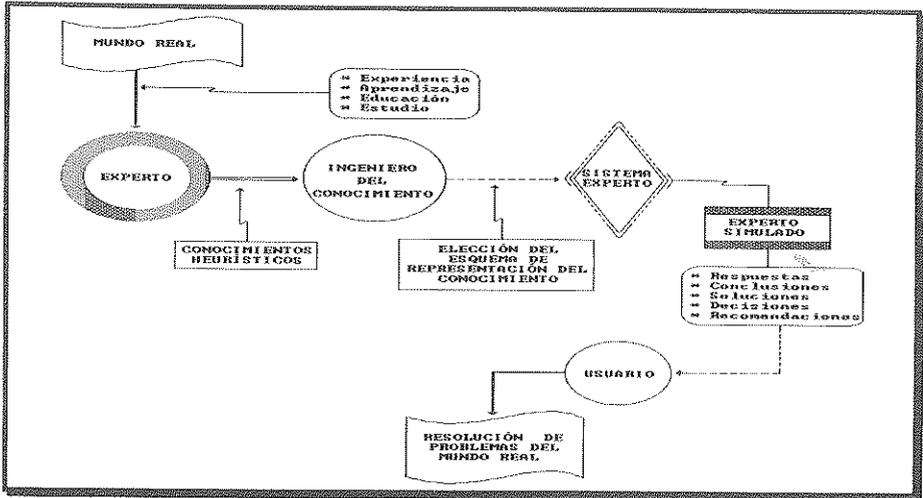
Fuente: Elaboración propia.

des de una tercera persona en juego que es el destinatario final del programa. El papel protagonista del desarrollo suele corresponder, por lo general, a los dos primeros. Sin embargo, el éxito o fracaso final que el sistema tenga dependerá, en última instancia, de las aportaciones y colaboraciones que se hayan dado entre las tres personas reseñadas.

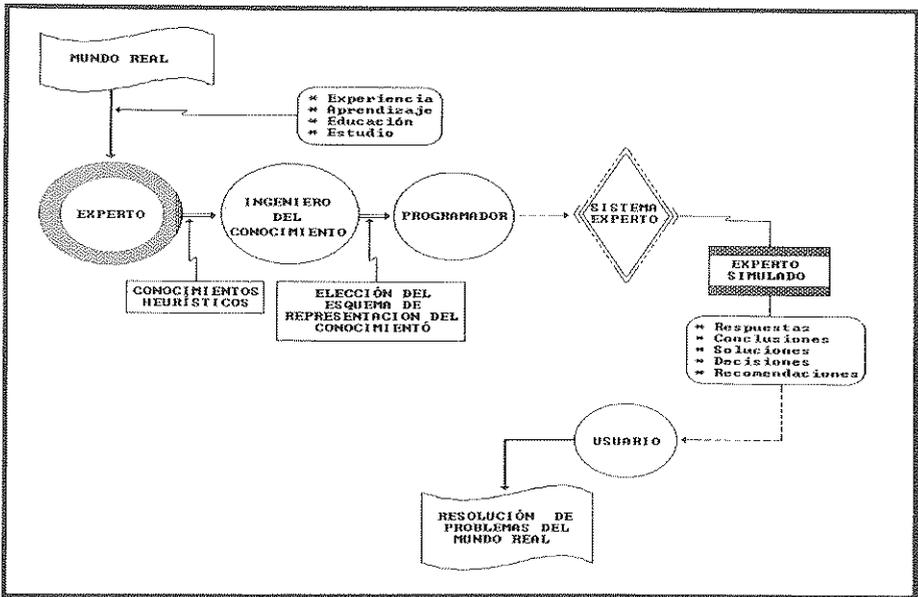
Seguidamente se realiza una descripción, en detalle y por separado, del contenido y actividades que se corresponden con cada una de las fases especificadas en la figura 4.2.

Figura 4.3 CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL EQUIPO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO

A. SIN CONTEMPLAR LA FIGURA DEL PROGRAMADOR.



B. CONTEMPLANDO LA FIGURA DEL PROGRAMADOR.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.1 Etapa 1: Definición del problema. Identificación.

En un primer momento, previo al inicio del proceso de desarrollo de cualquier tipo de programa, es de suma importancia que se realice una descripción lo más detallada posible de la cuestión que se va a intentar resolver. En este caso particular lo que se pretende es comprobar si realmente el sistema experto va a poder contribuir, de una manera eficiente, a la resolución de un problema permitiendo alcanzar todos los objetivos previstos o, por el contrario, no resultará ser así. No siempre la mejor alternativa para resolver convenientemente un problema tiene que ser, de forma obligada, un sistema experto o, expresándolo de una forma más genérica, las técnicas de Inteligencia Artificial. Por ello son numerosas las opiniones<sup>21</sup> que apuntan hacia el hecho de que antes de involucrarse de lleno en un proyecto de esta naturaleza, a veces complicado y costoso, resulta imprescindible realizar una evaluación sobre posibles soluciones que se presentan como alternativas de aquellas. Algunas de estas opciones, las más corrientes, podrían ser: la incorporación de especialistas al tratamiento de la cuestión a resolver, la educación y formación de personal cuando esto sea factible, la utilización de programas y paquetes de software convencional o cualquier otra posibilidad que se considere viable y oportuna en virtud de las circunstancias que concurren en un momento dado.

Una vez que se ha verificado que este tipo de técnicas informáticas resultan ser válidas para plantear la resolución de la cuestión que se pretende solventar, será necesario concretar, como aspecto de suma importancia, el que dicho problema presente además un grado de dificultad apropiado.

En relación con las dos cuestiones tratadas previamente se podrían especificar situaciones diversas que exigen, sin ningún tipo de duda, la aplicación de técnicas inteligentes para la resolución de determinados problemas o también algunas circunstancias que igualmente las demandan. La lista a elaborar con este propósito podría ser bastante amplia. No obstante, aquí parece oportuno hacer referencia solamente a los casos de mayor trascendencia. Los así considerados son:

- a) La determinación de la solución para el problema planteado debe requerir obligatoriamente la concreción de un proceso resolutivo en el que los pilares básicos, sobre los que éste se sustente, sean el cono-

<sup>21</sup> Algunos de los referidos comentarios y otras opiniones sobre esta cuestión se pueden encontrar en:

H. Murdoch, (1990), *Choosing a problem-when is Artificial Intelligence appropriate for retail industry?*, *Expert Systems*, vol. 7, nº 1, pp. 42-49.

D. S. Prerau, (1985), *Selection of an Appropriate Domain for an Expert System*, *AI Magazine*, vol. 6, nº 2, pp. 27-30.

R. Stowe y otros, (1986), *How to Identify Business Applications of Expert Systems*, *Proceedings of the Second International Expert Systems Conference*, Learned Information.

cimiento y la experiencia pertenecientes al dominio particular donde el problema se circunscriba. Dicho conocimiento deberá ser preciso y encontrarse bien estructurado. Está particularmente indicada la aplicación de este tipo de programas para aquellos casos en los que se tiene que trabajar con conocimiento subjetivo, inestable, simbólico, en parte incompleto o impreciso, etc.

Lo evidente es que el encontrar una solución satisfactoria a un problema crítico no debe ser fruto sólo de la aplicación del sentido común o de la simple ocurrencia, lo que vulgarmente se reconoce como "idea feliz" en el momento preciso. El nivel alcanzado en la actualidad en las distintas áreas de la Inteligencia Artificial no permite aún un tratamiento satisfactorio de actividades donde se requiere la aplicación de un tipo de razonamiento que implique la utilización del sentido común. Asimismo, problemas que requieran modelos espaciales o geométricos de gran complejidad, determinadas relaciones causales o temporales, comprensión de las motivaciones humanas o del lenguaje natural, no son los idóneos para ser atacados empleando como arma fundamental la Ingeniería del Conocimiento.

- b) Cuando en determinadas circunstancias se haga difícil o imposible el poder disponer de un experto humano o, simplemente, cuando se le requiera en distintos lugares al mismo tiempo para que plantee la estrategia resolutoria ante un caso concreto. Este tipo de situaciones, si se suceden de forma continuada, pueden presentar serios inconvenientes.

También puede ser precisa su aplicación si en determinadas circunstancias es necesario salvaguardar el conocimiento y la experiencia que una persona ha adquirido durante un largo periodo de tiempo y de la que no vamos a poder disponer más en el futuro. De esta forma, todo ese valioso patrimonio podrá ser salvado y transmitido para que otros lo adquieran.

- c) Es necesario ejecutar tareas de cierta complejidad donde se hace obligatoria la realización de un análisis exhaustivo sobre una amplia variedad de datos, parámetros y condiciones. Un sistema experto puede ser una mala solución si el problema a atacar es excesivamente largo y complejo. Cuando nos encontramos ante una cuestión que requiere para su resolución el empleo de una gran cantidad de conocimiento y éste, además, resulta difícil de aplicar, obtendremos como resultado un programa que con toda probabilidad no estará a la altura del problema.
- d) No existe una alternativa exclusiva de resolución ya preestablecida del problema planteado. Si hay que decidir entre dos o tres alternativas de respuesta no será necesario contar con un programa de este tipo para

ello. Muchos sistemas expertos están diseñados para que ante un problema concreto suministren un número moderado de posibles respuestas.

- e) La cuestión a resolver se plantea dentro de un entorno considerado como adverso (hostil) para la persona humana (experto humano en este caso). Una variante de este apartado lo constituyen determinadas situaciones consideradas como críticas donde las decisiones se deben tomar en un espacio de tiempo muy reducido.
- f) El problema planteado, en su conjunto, está convenientemente definido y delimitado, exigiendo además su resolución el empleo de una porción finita de conocimiento para que sea posible plantear diversas alternativas de respuesta.
- g) No se conoce la existencia de algoritmos o modelos matemáticos concretos a través de los cuales sea factible representar, de forma adecuada, la situación o el comportamiento descrito dentro del contexto del problema expuesto. Si el conocimiento exigido para el desempeño de una tarea es estable, de carácter numérico y de fácil recopilación, entonces la alternativa más adecuada para aplicar en el dominio correspondiente será la informática convencional.

Pasando a considerar otros aspectos, es también una opinión bastante común la que se orienta hacia considerar que, dentro de esta primera fase, es recomendable realizar la determinación expresa del tipo de tarea/s que el programa deberá ejecutar en el futuro (interpretación, monitorización, control, diseño, diagnosis, etc.). En un ámbito mucho más preciso, se deberán concretar asimismo cuáles serán las modalidades y cantidad de conocimiento implicados en los distintos dominios que el proyecto abarque. Hay incluso algunos investigadores que van más allá e incluyen, dentro de esta fase inicial, la determinación del contenido de cuestiones tan importantes como serían la definición y evaluación de los recursos físicos y humanos con los que se cuenta para efectuar la aplicación, el establecimiento y determinación de los conceptos principales con los que hay que trabajar dentro del contexto concreto, la realización de un estudio detallado sobre la viabilidad y coste del proyecto, la elaboración de un plan completo de ejecución, etc.

#### 4.4.2 Etapa 2: Búsqueda del experto o de la fuente de conocimiento.

Aunque no de forma exclusiva, casi siempre que dentro de este ámbito se hace referencia expresa a las posibles fuentes de las que se extraerá la experiencia e información con la que alimentar la base de conocimiento de un programa se suele pensar, de forma inmediata, en un especialista o experto como protagonista fundamental de tal proceso<sup>22</sup>. De hecho no parece factible

<sup>22</sup> Con esto no se quiere apuntar, de ninguna manera, a que sea esta persona la única fuente de información existente. Otras alternativas que, dependiendo del contexto donde el proble-

plantear la creación de un programa que acumule experiencia y conocimientos pertenecientes a un campo específico del saber si no se cuenta, desde un principio, con una/s fuente/s originaria/s que ofrezca/n las suficientes garantías para que, a partir del conocimiento que en ella/s está contenido, se pueda obtener, en cantidad y calidad, el necesario para lograr un desarrollo adecuado de la aplicación. El experto debe conocer, en la teoría y en la práctica, todo el trasfondo existente tras la problemática que vaya a ser tratada. Como objetivo adicional es conveniente que él mismo tome, lo antes posible, conciencia clara de las dificultades que se pueden plantear a lo largo de todo el proceso de desarrollo y, puntualmente, en algunas actividades que tienen que ver con la adquisición, representación del conocimiento y con el procesamiento de todos los datos obtenidos. La experiencia adquirida en la creación de tales sistemas se encarga de poner de manifiesto que no siempre resulta fácil encontrar un experto que esté dispuesto a participar y colaborar estrechamente en la concepción y el desarrollo de un sistema experto. Por esto resultará decisivo, desde un principio, el dar a conocer a los posibles candidatos integrantes del equipo qué es lo que se va a requerir de ellos.

Una cuestión que también se suele mostrar como de suma importancia en estos momentos iniciales, cara a poder ganar la confianza y colaboración de estas personas, es la de conseguir eliminar la idea (temores) que algunas de ellas pueden abrigar sobre el hecho de que en el futuro el sistema pueda llegar a convertirse en un competidor serio en todo lo relacionado con la tarea a desempeñar por ambos. Resulta evidente que un experto que esté involucrado sólo a medias en esta tarea se convertirá en una fuente de conocimiento poco adecuada para sacar adelante el proyecto planteado.

Una vez que nos hemos asegurado una disponibilidad suficiente de esta/s persona/s es conveniente plantear si las mismas están en condiciones de poder transmitir, de forma apropiada, las ideas y conocimientos que son precisos para cumplir con todos los objetivos que se hayan establecido. Tener a mano uno o más expertos no siempre es garantía suficiente de disponer de una adecuada fuente de conocimiento acorde con las necesidades plantea-

---

(continuación de nota 22)

ma se plantee, pueden ser utilizadas son: bases de datos, publicaciones especializadas de todo tipo, memorias de resultados empíricos correspondientes a otros casos resueltos con anterioridad, etc.

Igualmente es factible el que, en determinadas circunstancias, se pueda o deba contar con la participación de más de un experto para la labor de creación de la base de conocimiento. Esto puede no plantear problemas serios cuando de lo que se trata es de desarrollar un programa no excesivamente grande. Sin embargo, cuando lo que se afronta es la creación de un sistema de gran tamaño, el hecho de tener que contar con varios expertos puede suponer que, aunque éstos trabajen en la misma especialidad, unos y otros prefieran plantear el problema y buscar en el espacio del mismo aplicando metodologías, en algunos casos, ligeramente diferentes. Si dos expertos llegasen a polemizar sobre cuál camino seguir o qué técnica aplicar, la viabilidad misma del proyecto en sí puede peligrar.

das. Dicha/s persona/s debe/n atesorar conocimiento y experiencia pero, además, debe/n estar en buena disposición para articularlo y transmitirlo de forma idónea. Esto incluye todos los métodos y todas las técnicas y procedimientos a utilizar en la resolución de problemas típicos de su especialidad. El más versado de los expertos, y con él todo su saber, puede resultar totalmente inaccesible si tal persona carece de la capacidad y transparencia necesarias para la transmisión de ideas, argumentos, opiniones, creencias, razonamientos, pensamientos, intuiciones, etc. En otras circunstancias, una de tales personas se nos podría presentar como alguien inabordable si no se pudiese acceder a ella nada más que en contadas ocasiones. A veces ocurre que la persona (experto) más capacitada para participar en el proceso de desarrollo del programa es, a la vez y desafortunadamente, la más necesaria para su organización. Esto sin duda alguna traerá consecuencias negativas para el desarrollo.

#### **4.4.3 Etapa 3: Identificación de los conceptos y datos claves.**

Una vez concretado el problema sobre el que se va a efectuar la aplicación y habiéndose elegido a los especialistas que van a aportar su experiencia para alimentar al sistema, es el momento de profundizar en el conocimiento de la cuestión que se ha proyectado resolver. Un análisis conjunto y detallado ingeniero del conocimiento-experto sobre la materia objeto de estudio, debe llevar a explicitar las relaciones más importantes que se establezcan entre los objetos y procesos de mayor relevancia dentro del universo que conforma y caracteriza al problema tratado. Del mismo modo, se deberán explicitar las relaciones existentes entre los datos disponibles, su carácter temporal o intemporal, su consistencia, precisión y fiabilidad. Para alcanzar dicho propósito suele resultar interesante, siempre que sea factible, aplicar lo que se podría denominar como una técnica divisoria del problema. La misma se concretaría en una partición de la cuestión central en varios subproblemas, para así poderlos estudiar a una escala más reducida y con un mayor grado de concentración.

En el momento que ingeniero y experto se pongan de acuerdo y reconozcan que ya se ha conseguido una adecuada identificación de los distintos principios, conceptos, hechos y relaciones que integran el problema, así como un diseño correcto de su estructura, esta etapa se podrá dar por concluida.

#### **4.4.4 Etapa 4: Selección del soporte: Hardware y Software.**

Algunas de las personas que cuentan con un mayor bagaje en el desarrollo de sistemas expertos manifiestan la opinión de que quizá una de las decisiones más trascendentes a la hora de plantear la creación de tales sistemas, es justamente la elección del software y hardware con los que efectuar tanto el desarrollo inicial como la explotación de la versión definitiva del programa. Para llevar a efecto la misma se deberán tener muy en cuenta, desde

un principio, los objetivos fundamentales fijados a partir de la/s tarea/s que deba desempeñar el sistema una vez que éste haya quedado perfilado por completo. Asimismo, éste es un proceso de selección en el que se exige la mayor imparcialidad posible por parte de las personas encargadas de llevarlo a efecto. Deben ser las circunstancias reales del proyecto las que marquen la orientación de la decisión a tomar y no las ideas preconcebidas que cada persona se haya podido fijar.

Una vez que el ingeniero del conocimiento ha comprendido y asimilado la estructura genérica del conocimiento utilizado por el experto y las estrategias de inferencia que éste aplica, habrá llegado el momento en el que se deberá/n seleccionar la/s herramienta/s<sup>23</sup> o lenguaje/s que se empleará/n inicialmente para el desarrollo de un prototipo del programa. En el mismo intervalo de tiempo se procederá también a la determinación del tipo de soporte físico (máquina) donde aquellos serán implementados. No obstante, conviene apuntar que no siempre coincidirá el ordenador que ha servido inicialmente para desarrollar el prototipo del programa con el que, con posterioridad, se habilita para instalar en él la versión final del mismo. Tanto en un caso como en otro lo recomendable, desde un primer momento, será realizar una taxonomía de los distintos modelos existentes determinando, para cada caso y de una forma precisa, todas las especificaciones y características técnicas de aquellos.

Por tanto, son numerosos los apartados que conviene definir con claridad desde un primer momento y antes de tomar una decisión firme sobre cuál será la combinación hardware-software que se deba elegir. Lindsay<sup>24</sup> (cuadro 4.1) propone para ello un pequeño cuestionario con el que precisamente se pretende lograr esto.

Pasando ya a un tratamiento diferenciado de los dos componentes en lo referente al hardware, ha sido tradicional, hasta ahora, la utilización para el desarrollo de sistemas expertos de las denominadas "máquinas simbólicas" (máquinas dedicadas) especialmente diseñadas para aplicaciones dentro del campo de la Inteligencia Artificial. Dentro de esta tipología destacan las denominadas estaciones de trabajo (AI workstations) desarrolladas particularmente para este ámbito y, dentro de ellas, las máquinas LISP (LISP machines).

---

<sup>23</sup> El desarrollo de un sistema experto, por lo general, suele constituirse en un proceso bastante extenso y complicado en cuanto a su ejecución. Por este motivo, se han creado lo que vulgarmente se podría reconocer como programas especiales, concebidos en particular para reducir y simplificar dicho proceso creativo. Pues bien, a esos programas peculiares a los que se acaba de hacer referencia se les suele denominar, entre los integrantes de la comunidad de Inteligencia Artificial, como herramientas de desarrollo de un sistema experto. Hoy día, y gracias a ellos, se consigue ahorrar en los diferentes procesos de desarrollo tiempo y recursos económicos. De sus características esenciales y tipologías existentes se hizo ya una breve descripción en capítulos anteriores.

<sup>24</sup> S. Lindsay, *Practical applications of ...*, op. cit., pp. 60-61.

Más recientemente han surgido y se han aplicado, en ocasiones, los grandes equipos (mainframes) y también, con más profusión, los denominados "minicomputers" (ordenadores interactivos y multiusuario de tamaño medio) y los ordenadores personales (PC's)<sup>25</sup>.

**Cuadro 4.1 CUESTIONARIO PARA REALIZAR LA SELECCIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE.**

1. ¿Puede el sistema ser desarrollado y ejecutado en/junto a sistemas ya existentes?
2. ¿Qué lenguajes, entornos o conchas serían compatibles tanto con el prototipo como con el programa final que se pretenden desarrollar?
3. ¿De qué manera afectan a la elección del tipo de procesamiento, del hardware y del software a emplear, las características y peculiaridades del problema que va a ser resuelto?
4. ¿Qué tipo de paradigmas se encuentran envueltos en la resolución del problema planteado?
5. ¿Cómo está representado todo el conocimiento involucrado en la resolución del problema?
6. En dicho ámbito, ¿de qué manera se suelen alcanzar las conclusiones?
7. ¿Qué tipo de facilidades necesita el programador en el desempeño de su labor?
8. ¿Que tipo de facilidades necesita el usuario final?
9. ¿Cuál es el coste real de la herramienta que se va a emplear?
10. ¿A qué tipo de soporte físico es posible acceder en el mercado?, ¿cuál es el coste del mismo?
11. ¿Está ya la herramienta disponible para su uso inmediato?

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

El utilizar una u otra modalidad de equipo como soporte físico de la aplicación dependerá, entre otros factores, del tamaño del programa que se desee obtener, de los recursos financieros de los que se disponga para el desarrollo integral del proyecto, del número de usuarios finales que vayan a utilizarlo y, finalmente, del tipo de herramienta o lenguaje de desarrollo a emplear. En este último punto habrá que tener siempre la certeza de que existe una versión operativa ejecutable en el equipo que se haya seleccionado (cuadro 4.2).

<sup>25</sup> Una descripción bastante completa de las características técnicas de las distintas modalidades, así como ventajas e inconvenientes que incorporan cada uno se encuentra en: R. A. Edmunds, *The Prentice Hall Guide ...*, op. cit., pp. 154-178, pp. 373-375.

**Cuadro 4.2 DISPONIBILIDAD DE VERSIONES DE ALGUNOS LENGUAJES Y HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS.**

	LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN					HERRAMIENTAS PARA DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS				
	LISP	PROLOG	OPS5	C	PASCAL	ART	KEE	INSIGHT 2+	EXYS	PC PLUS
<b>MÁQUINAS LISP</b>										
LMI GigaMos)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
SYMBOLICS	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
TEXAS INSTRUMENTS	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
XEROX	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO
<b>MAINFRAMES</b>										
DEC	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
IBM	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
<b>MINICOMPUTADORAS</b>										
DEC	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
HEWLETT-PACKARD	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
<b>ESTACIONES DE TRABAJO</b>										
APOLLO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
IBM	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO
SUN	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
<b>PC's</b>										
APPLE	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO
COMPAQ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
IBM	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
TEXAS INSTRUMENTS	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

Encontrar un equipo que ofrezca unas prestaciones acordes a los requerimientos técnico-económicos planteados por el proyecto será una cuestión preferente. Para su concreción no deben pasarse por alto algunas consideraciones de suma importancia cuando se vaya a tomar una decisión sobre dicha cuestión:

- 1) Los ordenadores diseñados para desempeñar tareas de desarrollo específicas podrán ejecutar éstas de una forma más eficiente que otros ordenadores de propósito general (convencionales). Desgraciadamente los primeros no suelen ser, por regla general, los más asequibles económicamente hablando. Por lo tanto se deberá tener mucho cuidado para no caer en el consabido tópico de pedirle "peras al olmo" informático en este caso.
- 2) En última instancia, son algunos de los elementos integrantes del soporte físico, como su memoria interna o la capacidad de proceso de éste, los que pueden condicionar el tamaño de la aplicación que con ella se puede desarrollar. No se puede olvidar el hecho de que el procesamiento simbólico es una modalidad que requiere un uso intensivo y extensivo de los recursos informáticos disponibles, más allá de las necesidades que se plantean para algunas aplicaciones consideradas dentro del ámbito de la informática convencional.

Aparte de las dos fundamentales, antes mencionadas, Prerau<sup>26</sup> hace una

<sup>26</sup> D. S. Prerau, *Developing and Managing ...*, op. cit., pp. 169-171.

enumeración exhaustiva de algunas indicaciones más que por su interés convendría también tener presente en ese momento.

Por último, en el cuadro 4.3 aparece recogido un conjunto de rasgos que son propios de cada una de las tipologías de ordenadores a las que con anterioridad se ha hecho alusión y que será necesario confrontar siempre con los requerimientos que plantea el problema a resolver.

**Cuadro 4.3 ALGUNAS CARACTERÍSTICAS A CONSIDERAR CON RESPECTO A LAS HERRAMIENTAS, LENGUAJES Y ENTORNOS QUE SE EMPLEAN EN EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS.**

CARACTERÍSTICAS	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	LENGUAJES DE IA	ENTORNOS PARA INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO
TECNOLOGÍA DE FÁCIL ACCESO	SÍ	NO	NO
ACCESIBLE PARA EL EXPERTO	SÍ	NO	NO
ACCESIBLES A PERSONAS QUE NO PROGRAMAN	SÍ	NO	NO
INTERFAZ DE USUARIO ATRACTIVA (AMIGABLE)	SÍ	NO	NO
GRÁFICOS SOFISTICADOS	NO	NO	SÍ
DESEMBOLSO INICIAL PEQUEÑO	SÍ	SÍ	NO
PORTABLE EN HARDWARE ESTANDARD	SÍ	SÍ	NO
DESARROLLO RÁPIDO	SÍ	NO	SÍ
SOPORTAN GRANDES DESARROLLOS	SÍ	SÍ	SÍ
PROGRAMACIÓN FLEXIBLE	NO	SÍ	SÍ
USAN REDES, MARCOS, ETC.	NO	NO	SÍ
ABUNDANCIA DE HERRAMIENTAS DE APOYO	NO	NO	SÍ
FÁCIL INTERACCIÓN	SÍ	SÍ	SÍ

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

En el caso del software, son bastantes los especialistas que, dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial, consideran la etapa de selección de tal componente como un aspecto sumamente importante para el diseño y construcción de sistemas expertos. Con bastante frecuencia, y en distintas áreas pertenecientes a una misma organización, se plantean interrogantes que tienen que ver con la especificación del equipo informático, hardware y software, a emplear en cada caso. Una de las cuestiones que, por lo general, encuentra difícil solución es aquella que apunta hacia la concreción de cuál elección, la del programa o la del equipo físico, es la que debe primar sobre la otra. En un primer acercamiento y teniendo presente algunas de las consideraciones hechas anteriormente con relación al hardware, se podría plantear el que en una supuesta situación "ideal" debería ser justamente la elección del segundo elemento la que, de alguna manera, indicase el tipo de equipo físico a emplear en cada ocasión. No obstante, esto no siempre sucede así sino que, por el contrario, en algunos proyectos se plantea una restricción clara por tener que utilizar, para el desarrollo de una aplicación, equipos ya disponibles y, por ello, obligadamente se llega a la elección de un software ejecutable en tales dispositivos que, a lo mejor, resulta no ser el más adecuado para resolver el

problema planteado. Ni que decir tiene que, en tales circunstancias, los resultados a los que se puede aspirar estarán marcados, y en la mayoría de los casos limitados, por tal particularidad.

Hoy en día ocurre que, en diversos campos de actividad, se da una tendencia muy acusada hacia la utilización generalizada de máquinas estándar para aplicaciones comerciales de sistemas expertos. Debido a ello, en la mayoría de las ocasiones éstos serán implementados en ordenadores personales, minicomputadoras y estaciones de trabajo convencionales, por ejemplo, aquellas que se sirven de entornos UNIX. Esto viene a significar, en definitiva, que la modalidad de software a emplear estará, en cierto modo ya, bastante condicionada por tal motivo.

Con independencia de las consideraciones genéricas que se acaban de hacer es conveniente, además, resaltar el papel que algunos factores pueden desempeñar como condicionantes de la elección del software para aplicar en un proyecto determinado. Éstos, a los que se hace referencia ahora, suelen ser, en primer lugar y como ya se ha mencionado, el disponer previamente de soporte físico para el desarrollo; la existencia de elementos de programación utilizados con anterioridad en la empresa (lenguajes, shells, etc.); el tiempo y los recursos financieros de los que se dispone para invertir en el proyecto; el tipo de ordenador en el que se deberá ejecutar el programa final; la naturaleza del propio proyecto (problema); la necesidad de tener que interaccionar con otros sistemas; la disponibilidad o no de algún/os elemento/s (motor de inferencia, interfaz de usuario, etc.) perteneciente/s a un sistema desarrollado previamente, etc.

Para personas que ya han trabajado dentro de este campo, en un área concreta, se puede plantear casi siempre una doble alternativa de desarrollo que pasa, en un caso, por la posibilidad de que determinados elementos, que ya han sido utilizados en el marco de una aplicación específica, sean de nuevo aplicados a otros ámbitos diferentes. Son relativamente frecuentes los casos de sistemas expertos en los que en lugar de iniciar desde el principio el desarrollo de uno completamente nuevo, con todo lo que ello lleva consigo, se ha aprovechado la estructura y componentes de alguno creado con anterioridad. Como segunda posibilidad a plantear estaría el acometer el desarrollo completo de todos los componentes del sistema. Ello supone, de forma obligada, la utilización de algunos de los elementos disponibles para tal efecto como sería el caso de los lenguajes de programación o el de las herramientas de apoyo, shells o entornos de programación.

En cambio, para las personas que por primera vez fijan su atención en esta labor creativa, puede que la forma más directa y rápida, aunque no exclusiva, de llevarla a efecto sea la utilización de lo que se conoce como sistemas vacíos o conchas (shells). Hoy día existe una amplia gama de estos instrumentos disponible en un mercado sumamente dinámico. De esta situación

se deriva el que resulte imprescindible realizar inicialmente un análisis exhaustivo en el que se evalúen las prestaciones ofrecidas por las distintas opciones, para así poder comprobar si se adaptan o no a las características del problema planteado. Ante tal situación habrá que plantear algunas cuestiones de gran trascendencia como son:

- ¿Cuál es el límite máximo de reglas que la herramienta está capacitada para utilizar? Este límite va a depender, casi siempre, de la capacidad de memoria existente en el ordenador que se vaya a utilizar. No se debe olvidar nunca que cuanto mayor sea el número de reglas introducidas más lenta será la velocidad de procesamiento, especialmente si se está trabajando con ordenadores pequeños. También ocurre que aunque algunas herramientas no tienen un límite teórico definido de reglas para manejar, sí existe, de hecho, uno que no impide la adición de otras nuevas pero que, una vez superado, supone una merma considerable para la eficiencia del sistema.
- ¿Qué estrategias de inferencia son las que estas herramientas utilizan? Lo más recomendable, por lo general, suele ser la elección de un mecanismo de búsqueda y razonamiento que incorpore tanto encadenamiento hacia delante como hacia atrás.
- ¿Qué tipo/s de representación del conocimiento será necesario utilizar en la resolución del caso afrontado?.

Las respuestas dadas a estas cuestiones orientarán, en parte, el sentido de la elección que se decida realizar.

Es cierto que, en ocasiones, dada la procedencia de algunas de estos sistemas vacíos, una parte de ellos no acaba por adaptarse convenientemente a los nuevos dominios donde se pretende su aplicación por vez primera. Algunos problemas serios se podrían derivar de su utilización, en tales casos, para lograr el desarrollo de programas específicos. Dos de los inconvenientes más destacables serían: uno, el que la estructura de control del motor de inferencia perteneciente a la "shell" no se adaptase a las estrategias de resolución necesarias para el nuevo sistema; dos, el que la utilización de reglas no sea aconsejable dentro del nuevo dominio en el que hay que trabajar. Ello haría totalmente inviable el empleo de una herramienta de este tipo que utilice a aquellas como elemento de base para el desarrollo del sistema experto.

Por último, si no se dispone de un entorno o una "shell" de desarrollo, el único útil de construcción indicado que queda para ser empleado en la creación del programa sería un lenguaje de programación. Lo lógico es pensar en la utilización de alguno propio del contexto donde se está, por ejemplo, LISP o PROLOG. Sin embargo, aunque no sean lenguajes concebidos expresamente para dicho ámbito, se puede pensar también en la aplicación de algún otro lenguaje estándar de alto nivel como podría ser el caso de C o de Pascal.

A propósito de ello, López de Mántaras<sup>27</sup> y Martin y Oxman<sup>28</sup> señalan, en general para cualquier tipo de lenguaje y en particular para aquellos propios del área de la Inteligencia Artificial, algunas características relevantes a considerar a la hora de realizar la elección de tal elemento. En última instancia, el que el programa se desarrolle empleando uno u otro no será excesivamente relevante si el producto final satisface convenientemente las necesidades del usuario.

Apuntar, para cerrar este apartado, que el resultado que se haya obtenido con el prototipo inicialmente diseñado será, quizá, una de las pruebas más válidas para contrastar si la selección que de la herramienta y equipo físico se ha hecho ha resultado ser adecuada o no.

#### 4.4.5 Etapa 5: Adquisición del conocimiento I.

La disposición que se le ha dado a las distintas etapas que integran el proceso de desarrollo de un sistema experto en este trabajo es susceptible de ser modificada dado que, en la realidad hasta el momento presente, no se ha contemplado una única ordenación para la misma. Como prueba de ello y según la opinión de diversos autores como es la de Dussauchoy<sup>29</sup>, esta fase que ahora se empieza a describir debe anteceder siempre a aquella en la que se realiza la selección del soporte físico (hardware) y operativo (software) que se va a utilizar. Ello se debe a que dicha elección jugará un papel fundamental para determinar las aplicaciones futuras que se van a desarrollar y el potencial que éstas alcanzarán. No obstante, el motivo para incluirla en el lugar que ocupa en este estudio es compartir una idea bastante difundida según la cual, en definitiva, las etapas previas hasta ahora tratadas pueden ser consideradas como meramente preparatorias para lo que de verdad constituye el desarrollo del sistema experto en sí. Es en esta primera fase, dedicada a la adquisición del conocimiento, donde se comienza con el trabajo real de creación del programa (ingeniería del conocimiento). En definitiva, para los diversos modelos existentes de ordenación de las distintas fases que componen tal proceso, siempre será posible señalar ventajas e inconvenientes de unos modelos sobre otros, no resultando fácil destacar, de forma clara, uno sobre los demás.

Por otra parte, en el caso de etapas como la de adquisición del conocimiento y la de representación de éste, no cabe establecer una rígida separación entre ellas dado que, de hecho, se suelen cubrir a veces de forma simultánea. Tanto es así que incluso para iniciar la construcción, aunque sea del

---

<sup>27</sup> R. López de Mántaras, *La Inteligencia Artificial: Situación y Perspectivas*, en R. Portaencasa y otros, *Programación Informática ...*, op. cit., pp. 176-177.

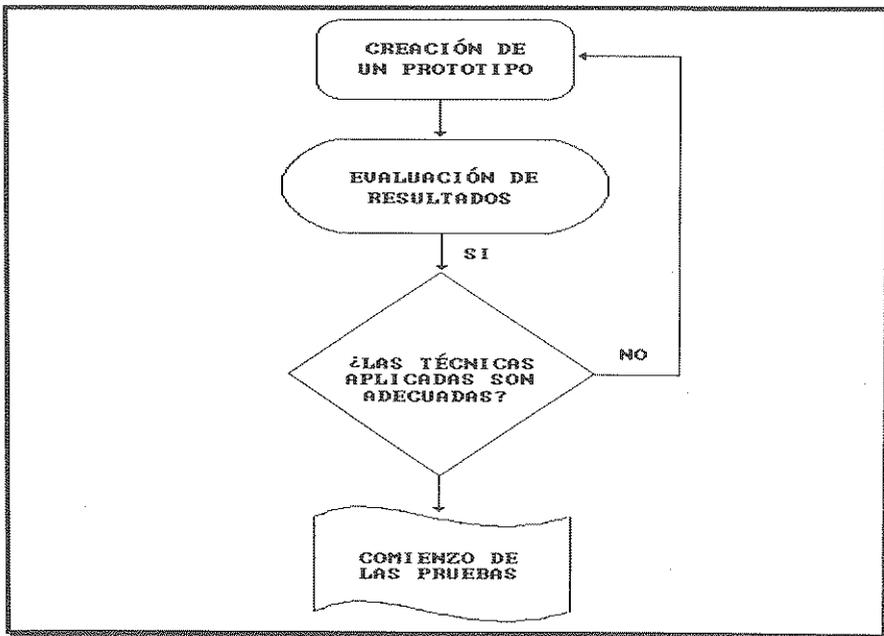
<sup>28</sup> J. Martin y S. Oxman, *Building Expert Systems ...*, op. cit., pp. 188-190.

<sup>29</sup> A. Dussauchoy y J. N. Chatain, *Sistemas Expertos. Métodos ...*, op. cit., p. 150.

prototipo del programa, ya habrá sido necesario recoger el "saber hacer" en poder del experto y, de forma casi inmediata, organizarlo y determinar los posibles modos de representación a emplear para poderlo incorporar al ordenador. Es por ello que el orden que a cada una de ellas se le asigne no debe tener, en este caso, demasiada relevancia.

Una vez hechas las indicaciones oportunas sobre la ordenación de algunas de las actividades propias de un proceso de esta naturaleza, es el momento de centrar definitivamente la atención sobre aquella que tiene como fin último captar toda la información necesaria para construir, en toda su extensión, la base de conocimiento de un sistema experto. El haber dividido la misma en dos partes diferenciadas tiene su justificación en el supuesto, adoptado en este trabajo, de que lo que se pretende alcanzar es un desarrollo progresivo y riguroso del sistema creando, en primer lugar, un prototipo con el que realizar diversas pruebas de contrastación del programa y, una vez que éste haya quedado validado en su mayor parte mediante la resolución de problemas sencillos, se procederá al desarrollo de la versión completa del mismo. Los numerosos sistemas hasta ahora concebidos y desarrollados bajo este esquema han puesto de manifiesto la conveniencia de adoptarlo para obtener así garantías, a corto plazo, de que las técnicas seleccionadas por el

Figura 4.4 EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES TÉCNICAS IMPLEMENTADAS EN EL PROTOTIPO DE UN SISTEMA EXPERTO.



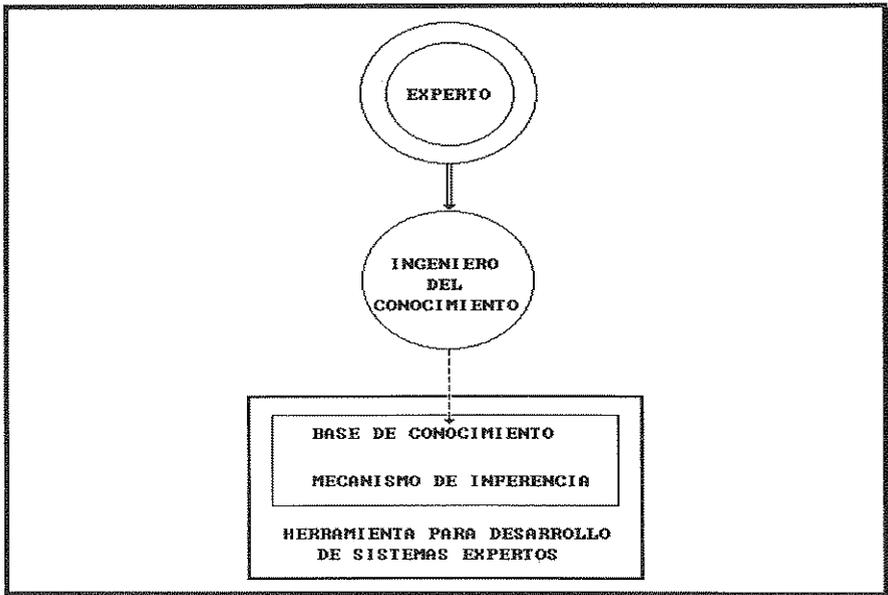
Fuente: Elaboración propia.

ingeniero para incorporarlas definitivamente al sistema experto son las adecuadas en cada caso. En otras palabras, se procede a la creación de un programa al que se le podría denominar como "de prueba" para contrastar la validez de las soluciones técnicas a él incorporadas (figura 4.4). No sería en modo alguno lógico implicar, de una vez, todo el esfuerzo y los recursos del proyecto en el desarrollo integral de un programa para constatar, cuando sea demasiado tarde, lo inadecuados que resultan ser bien el diseño del sistema o las soluciones técnicas arbitradas para afrontar la resolución del problema planteado. De esta forma se habrían empleado tiempo y dinero para nada.

Son, por lo tanto, estos primeros compases de la etapa de adquisición del conocimiento los dedicados a "nutrir" la maqueta del programa con información, en la escala que se considere necesaria, para cumplir con los objetivos fijados en el desarrollo del mismo. No es por tanto propósito específico en este momento crear, en toda su extensión, la base de conocimiento del programa. Bastará, por ello, con integrar parte del conocimiento, el que se considere suficiente, a la base para poder así ejecutar todo el conjunto de pruebas y ensayos que hayan sido planificados. A medida que se avance irán surgiendo, posiblemente, nuevas ideas y enfoques que afectarán y modificarán planteamientos previos.

A pesar de estar en una fase inicial dentro de la labor orientada a la búsqueda y extracción del conocimiento real y experimental, necesario para ali-

Figura 4.5      **ÁREA DE ACTIVIDAD DEL INGENIERO DEL CONOCIMIENTO.**

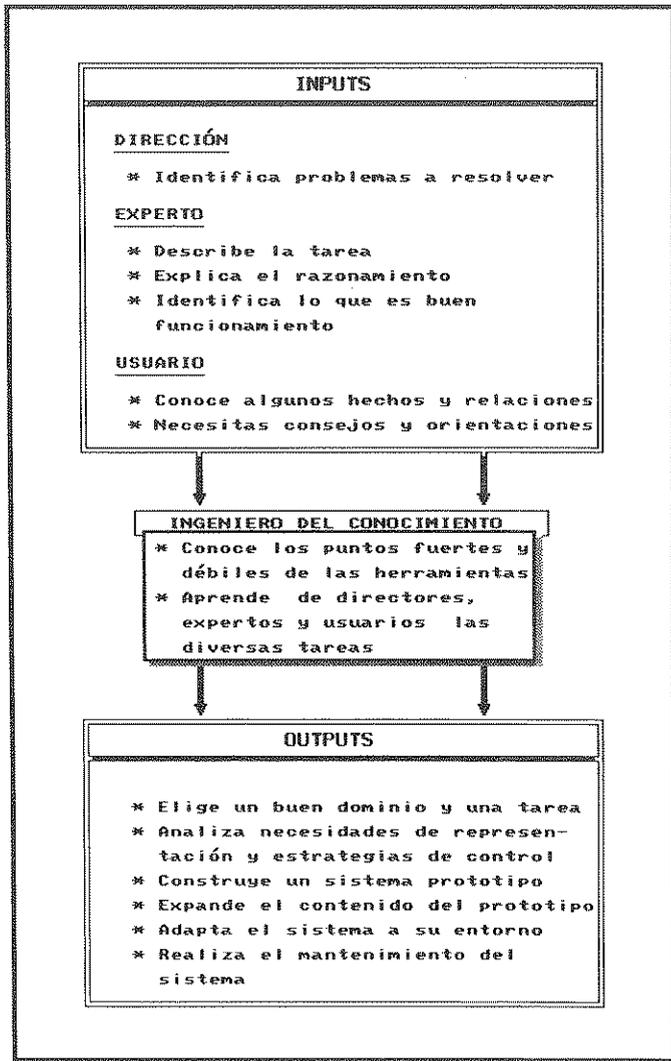


Fuente: Elaboración propia.

mentar el programa, el papel desempeñado ya desde este momento por el ingeniero del conocimiento resulta ser de suma trascendencia y extrema dificultad (figura 4.5). Poder llegar a determinar cómo está estructurado el conocimiento, aunque sea a pequeña escala, no es algo que se pueda conseguir de forma inmediata.

Su actividad se podrá desarrollar a diversos niveles tal y como se recoge en la figura 4.6.

Figura 4.6 NIVELES DE ACTUACIÓN DEL INGENIERO DEL CONOCIMIENTO.



Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

En las circunstancias antes descritas esta persona debe actuar en condiciones donde a veces se hace necesario conjugar, a la vez, fundamentos de disciplinas tan diversas como son la informática, la Inteligencia Artificial, la psicología y el propio área de conocimiento correspondiente al dominio donde el problema planteado se circunscribe. Por ello, a la hora de afrontar dicha tarea y salvo que coincida que experto e ingeniero sean la misma persona<sup>30</sup>, es necesario que éste último se haya familiarizado suficientemente con la cuestión a resolver, con su entorno y con los procesos de resolución generalmente aplicados en dicho contexto. Es algo así como si se tuviese que convertir, de alguna manera, en un "miniexperto" en el tema. Las vías para conseguirlo pueden ser diversas<sup>31</sup>: lecturas, cursos, entrenamiento, etc. Una vez alcanzado el nivel antes referido, el ingeniero estará en disposición de poder dominar la terminología propia del ámbito, se familiarizará con el entorno de trabajo del experto y con sus esquemas generales de análisis. Además, podrá entender mejor a los especialistas y las explicaciones que éstos faciliten, sus aciertos y errores, estando incluso en una mejor disposición para interrogarles convenientemente. Para obtener conocimientos de un especialista en forma utilizable hay que tener una idea muy clara de lo que se busca. De no hacerlo así se correrían riesgos que en poco tiempo darían paso a la aparición de problemas serios.

#### **4.4.6 Etapa 6: Representación del conocimiento y formalización del razonamiento.**

La representación del conocimiento es una de las preocupaciones principales que subyacen en la programación del conocimiento. Suele ser ésta una de las tareas que más tiempo y esfuerzo demandan de las personas que se dedican al diseño de sistemas expertos. Ello se debe, en parte, al hecho mismo de no conocer aún con la suficiente precisión cuáles son los procesos que cualquier ser humano y, en particular un experto, activa en su mente cuando selecciona, examina, sintetiza y transforma los datos iniciales de un problema en pos de alcanzar una solución válida para el mismo. No obstante, cualquiera que sea la naturaleza del conocimiento con el que se esté tratando, siempre será factible representarlo en términos de hechos y fenómenos que integran la realidad; de procedimientos o de reglas para manipular tales hechos

---

<sup>30</sup> Esta posibilidad cada vez se contempla en un mayor número de casos dado que incorpora algunas ventajas. No obstante, en determinadas ocasiones pudiera resultar más conveniente la no coincidencia de ambas figuras en una misma persona. Ello se debe al hecho de que algunos expertos dependen, en gran manera, de la ayuda externa para poder poner de manifiesto cómo resuelven los problemas.

<sup>31</sup> En algunos campos se hace incluso preciso que los ingenieros se involucren en el quehacer diario de los expertos. Determinadas prácticas resolutorias utilizadas por éstos no son susceptibles de ser transmitidas ni por escrito ni de palabra. Por lo tanto, queda como única alternativa factible que permite asimilarlas la implicación del ingeniero en aquellas actividades que a diario los especialistas desarrollan y en las cuales tales prácticas suelen estar incluidas.

e información, bajo la forma de estructura de control, sobre cómo y cuándo aplicar las reglas o procedimientos antes reseñados.

La función de cualquier esquema de representación es capturar los rasgos esenciales del ámbito correspondiente a un problema concreto y hacer accesible esta información a un procedimiento de resolución específico. Como es sabido, diferentes tipos de problemas requieren diferentes tipos de razonamiento. A su vez, cada modalidad de razonamiento precisa de una adecuada representación del conocimiento. Por lo general se pueden proponer, casi siempre, diversas alternativas de representación y formalización cada una de las cuales ofrece, en relación con el problema que se va a tratar, un potencial expresivo diferente y una eficacia y complejidad, en lo que a la notación que incorporan se refiere, que afecta de forma desigual a la operatividad del sistema. En otras palabras, la manera en la cual el conocimiento es representado dentro de la base de un programa afecta, de manera crucial, al potencial resolutivo de éste, además de a su facilidad de manejo y a la rapidez de procesamiento del mismo. A tenor de esto se pueden fijar unos parámetros fundamentales, a tener siempre presentes, en la evaluación del cualquier modalidad de representación del conocimiento. Los más importantes son: su adecuación lógica, su poder heurístico y, finalmente, el empleo de una notación no excesivamente complicada. Por desgracia, la especificación que hay que hacer de los criterios a emplear en la determinación de los diversos aspectos relacionados con todas estas cuestiones no suele resultar fácil en la mayoría de las ocasiones.

Como ya es sabido, dentro del ámbito de la ingeniería del conocimiento se han diseñado toda una gama de formas diferentes para representar el conocimiento las cuales, implementadas adecuadamente en un ordenador, permiten imitar ciertos comportamientos que, por lo general, son los que se asocian con el ser humano cuando éste se orienta hacia la resolución de problemas. Es importante tener presente en este momento que, para muchos de los problemas que ordinariamente se plantean, el encontrar una solución satisfactoria depende, en gran parte, del tipo de representación que se haya adoptado para simbolizar la realidad. Centrando la atención sobre el caso particular de los sistemas expertos, si la concepción general que se realiza de éstos, su estructura interna, su composición o, incluso, los elementos de desarrollo utilizados no son algo ajeno a la naturaleza del conocimiento que el programa deba manejar, mucho menos lo será el tipo de representación que se seleccione para recoger el conocimiento en la base del programa. Del mismo modo, la modalidad de representación elegida condicionará, en última instancia y de forma importante, el diseño del sistema experto que se vaya a crear así como las estrategias de control de éste.

Suponiendo que el equipo de desarrollo ya ha seleccionado la/s modalidad/es de representación del conocimiento necesaria/s para el caso plantea-

do, esta nueva fase ahora descrita se iniciará con la realización de una clasificación y ordenación general de todos los conocimientos recabados del especialista mediante el empleo de las técnicas anteriormente citadas. Para aquellos casos en los que se deba trabajar dentro de un dominio de conocimiento amplio resultará útil, cuando sea posible, el establecimiento de algún sistema (jerarquías, árboles de decisión, etc.) que permita estructurar el saber de forma adecuada. Con posterioridad y como siguiente paso, el conocimiento será segmentado progresivamente en bloques que irán adoptando la forma de reglas, de redes semánticas o de cualquier otra modalidad de representación que se haya podido seleccionar. Este suele ser un proceso donde se desarrolla una interacción entre ingeniero y especialista bastante intensa. Así el segundo revisa las diferentes reglas, cuando se trate de un sistema que tiene como base dicho formalismo, y apunta las posibles modificaciones que se pueden realizar para mejorarlas. Una interacción de este tipo y de forma continuada ofrece grandes posibilidades y buenas expectativas para alcanzar un nivel de representación muy aceptable.

Igualmente, el ingeniero deberá realizar en este momento una taxonomía de los razonamientos efectuados por el experto (conocimiento heurístico o de control) poniendo de manifiesto cómo utiliza éstas nociones básicas, cómo infiere determinados hechos, cómo formula hipótesis y las verifica, de qué manera articula los razonamientos en condiciones de incertidumbre o disponiendo de información incompleta, imprecisa o inconsistente. En definitiva, el ingeniero deberá concretar con exactitud el modo en el que el especialista plantea la resolución inteligente de los casos cuando, y es lo normal, no existe una única vía de solución y, por ello, está obligado a tener que decidir y elegir entre alternativas diversas. No se debe pasar por alto ahora el hecho de que el sistema experto se encontrará también, en su momento, con esa misma obligación de tener que elegir, de forma conveniente, entre diversas alternativas que se le presenten y, para ello, deberá estar dotado, al igual que el experto, de un método consistente, definido por la estructura de control (motor de inferencia), que le permita determinar siempre cuál es el camino o la ruta idónea para seguir adelante con el proceso general de análisis y razonamiento.

También, en el transcurso de algunas de las operaciones y actividades varias a ejecutar dentro de esta fase, pueden surgir determinados problemas relacionados con:

- La determinación de aquel conocimiento que resulta ser verdaderamente necesario para hacer operativo el sistema en un momento dado.
- La manera en que se estructuran los distintos formalismos de representación del conocimiento.
- El estudio y representación de cuestiones que son irresolubles en la actualidad dado el nivel de conocimiento alcanzado hasta ahora en tales ámbitos.

- La representación de determinadas unidades de conocimiento en el orden natural en el que han sido encontradas y no en uno ya previamente establecido. Hay ocasiones en las que se puede desvirtuar la naturaleza misma de un problema si se intenta alterar, de forma discrecional, la estructura con la que determinados acontecimientos se suelen presentar o el orden de sucesión de los hechos que integran aquellos.

Con las consideraciones hechas en los comentarios previos y las recogidas en algunos otros, no referidos aquí<sup>32</sup>, se ha intentado poner de manifiesto cómo es posible que un programa de ordenador incorpore, de forma simbólica, los conocimientos y modos de razonamiento articulados por el experto, los cuales le habrán sido extraídos con anterioridad para que, una vez representados convenientemente, el sistema los pueda entender y aplicar en la resolución de problemas propios del dominio donde trabaja.

#### 4.4.7 Etapa 7: Desarrollo de un prototipo. Testeo y validación<sup>33</sup>.

Es deseable, en un principio, el poder trabajar con una versión reducida del programa y a un nivel elemental, teniendo que manejar unidades simples de conocimiento que, con posterioridad si se contrasta su validez, llegarán a formar parte de otras unidades cognitivas más complejas. La primera versión, en su presentación más simple, podrá estar constituida por el motor de inferencia y un pequeño subconjunto de la base de conocimiento. La expe-

<sup>32</sup> Para completar y profundizar el conocimiento sobre esta temática se pueden consultar los siguientes textos y artículos:

A. B. Baskin y R. S. Michalski, *An Integrated Approach to the Construction of Knowledge-Based Systems: Experience with ADVISE and Related Programs*, en G. Guida y C. Tasso (eds.), *Topics in ...*, op. cit., pp. 111-144.

R. J. Brachman y H. J. Levesque (eds.), (1985), *Readings in Knowledge Representation*, Los Altos (California), Morgan Kaufman, p. 120.

E. A. Charniak, *Representation for Problem-Solving and Language Comprehension Information*, *Artificial Intelligence*, vol. 16, nº 3, pp. 225-255.

M. S. Fox, *Knowledge Representation for Decision Support*, en B. L. Methlie y R. H. Sprague Jr. (eds.), (1985), *Knowledge Representation for Decision Support Systems*, Amsterdam, North Holland, pp. 3-26.

P. C. Humphreys y D. Berkeley, *Problem structuring calculi and levels of knowledge representation in decision making*, en R. W. Scholz (ed.), (1983), *Decision Making under Uncertainty*, Amsterdam, North Holland.

P. C. Humphreys, (1984), *Levels of representation of decision problems*, *Journal of Applied Systems Analysis*, vol. 11, pp. 3-22.

B. L. Methlie y R. H. Sprague Jr. (eds.), (1984), *Knowledge Representation for Decision Support Systems*, *Proceedings of the IFIP Working Group 8.3 Conference*, Durham (U. K.), North Holland, 24/26 July.

<sup>33</sup> Maté y Pazos distinguen entre lo que se ha dado en llamar el prototipado vertical y el horizontal. Con el primero, se implementan en profundidad sólo algunas funciones del sistema. Con el segundo, se desarrollan casi todas pero de forma parcial y en menos extensión. Más detalles acerca de esta cuestión en: J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...*, op. cit., p. 529.

riencia acumulada por bastantes equipos en el desarrollo de sistemas expertos apunta hacia que cuanto antes se tenga algún tipo de maqueta en funcionamiento. Las razones para esto son varias y seguidamente se exponen.

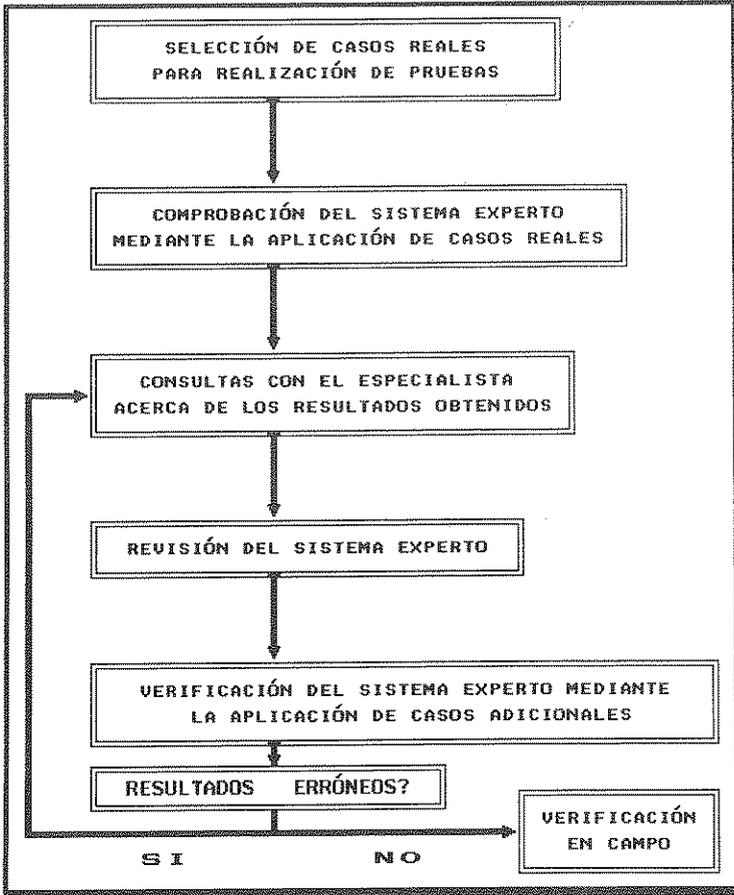
A) A pesar de que las evaluaciones teóricas que se pueden realizar con el prototipo son casi siempre limitadas, las diferentes pruebas a las que éste sea sometido en esta etapa pondrán de manifiesto si el diseño realizado del mismo es adecuado y también si el nivel de tratamiento y representación del conocimiento que se ha elegido es suficiente para las condiciones inicialmente establecidas en el tratamiento del problema.

La creación de un primer prototipo posibilitará la realización de diversas pruebas que permitirán depurar y contrastar la terminología, los conceptos empleados y las estrategias de resolución implementadas. Además, se podrán detectar los errores existentes, se identificarán las excepciones en el cumplimiento de las reglas disparadas inicialmente, se descubrirán las incompatibilidades entre conjuntos de datos y algunas reglas o entre aquellos y determinadas estructuras de control. Tras este periodo y si se considera que aún no se ha alcanzado el nivel de eficacia resolutoria deseado para el programa, se continuará con la propuesta de otros ensayos y nuevas simulaciones para la resolución de uno o más casos. Este será el momento en el que el experto pueda advertir sobre los posibles fallos que aún existen, apuntar cuáles son los pasos que todavía no se han dado o aquellos que se han ejecutado de forma equivocada. Incluso puede llegar a poner en claro si algunas de las formulaciones que en un principio parecieron aceptables resultan ser ahora verdaderamente incorrectas. Todo ello, es lógico, se circunscribe dentro de un proceso que se caracteriza por ser continuo e iterativo (figura 4.7).

En definitiva, a medida que el programa va resolviendo los casos más simples, se le irán suministrando progresivamente cuestiones de mayor dificultad para así proseguir con el periodo de búsqueda y detección de posibles disfunciones. Todos los que han trabajado en esta tarea manifiestan que de las primeras pruebas realizadas sobre un prototipo se suelen sacar algunas consecuencias interesantes y se aprende bastante para, poco a poco, ir logrando el refinamiento, la corrección y la puesta a punto del programa.

Destacar, por último, dos cuestiones de suma importancia en relación con el tema que se está tratando. Una, siempre que el ingeniero admita como válidas unidades de conocimiento suministradas por el experto o cualquier razonamiento efectuado por éste, ello se deberá a que él mismo haya podido comprobar, en la práctica, la validez de dichos elementos y no a la sustentación exclusiva de tal admisión sobre las opiniones favorables que al respecto, y en reiteradas ocasiones, haya podido manifestarle el especialista. Dos, resultaría muy interesante, si fuese posible, incorporar en este proceso de depuración y perfeccionamiento del prototipo a más de un experto para que supervise la ejecución de los ejemplos ejecutados con anterioridad o de otros

Figura 4.7 PRUEBA DEL PROTOTIPO DE SISTEMA EXPERTO.



Fuente: Elaboración propia.

nuevos. Con esto se facilitará la detección de posibles sesgos o vicios producidos por la intervención, en exclusiva durante el periodo de desarrollo, de aquellas personas (expertos) que colaboraron en el mismo.

B) La disposición rápida de una primera versión del programa, aunque sea a un nivel meramente experimental, permite mostrar a las personas dirigentes de la organización un adelanto de lo que el sistema podría ser capaz de hacer. Esto, indudablemente, les proporcionará razones y argumentos para que sigan apoyando el proyecto.

C) Mostrar a la/s persona/s (experto/s) que ha/n colaborado en el desarrollo del programa que de todo su esfuerzo y colaboración se obtiene finalmente un resultado concreto. Con ello se fomenta el que dichas personas se identifiquen aún más con el proyecto e intensifiquen así su cooperación.

Algunos investigadores, como es el caso de Maté y Pazos<sup>34</sup>, creen conveniente dividir esta etapa de construcción del prototipo en cinco fases interdependientes, éstas serían: la definición del problema, la conceptualización, la formalización, la implementación y la verificación.

Por último, indicar que dado que el programa es un elemento destinado a interactuar con las personas que finalmente vayan a utilizarlo, bueno será que en esta etapa se empiece ya a pensar en la forma que adoptará un elemento de gran importancia como es el interfaz de usuario que se va a habilitar para tal efecto. Igualmente sería interesante que, al nivel de realización actual, el usuario final hubiera tenido ya algún tipo de contacto con el prototipo creado.

#### 4.4.8 Etapa 8: Adquisición del conocimiento II.

Una vez que el prototipo ha sido depurado (detección de fallos, carencias, etc.) se procederá, de una forma incremental, a su enriquecimiento hasta alcanzar el nivel previsto con lo cual pasará a convertirse ya en un sistema completo y plenamente operativo. En este momento, y para algunos casos, podría ser necesario sustituir tanto el hardware como el software empleado hasta ahora por otro que se adapte mejor a las necesidades que se le plantean al usuario final.

Hay que hacer notar aquí que para algunas de las personas que han estudiado en profundidad toda esta problemática es recomendable, aunque no para todos los casos, que el primer prototipo elaborado se abandone una vez que haya sido empleado en la evaluación de las distintas modificaciones introducidas consecutivamente. Ello viene motivado, según dichas personas, por el hecho de que el propósito con el que se afronta la creación de una maqueta de este tipo no es en sí el que a partir de ella se obtenga la versión definitiva del programa. Por contra, lo único que se persigue con su creación es demostrar que la herramienta de desarrollo seleccionada, la modalidad de representación utilizada y la estrategia inferencial aplicada, son elementos válidos para plantear la resolución de un problema particular. Añaden, además, que el seguimiento de todas las reglas incorporadas no garantiza siempre que el programa funcione cuando se implementa por primera vez. Por ello, no se contempla la posibilidad de que la versión inicial pueda evolucionar hasta convertirse en el sistema operativo definitivo. La construcción de un prototipo debe ser considerada más como una parte preliminar al desarrollo del sistema final que una creación propia del mismo.

En este momento, no obstante, se admitirá tal posibilidad dado que es factible su consecución y se procederá, por tanto, a describir un caso en el que se produce una extensión y ampliación de la maqueta inicial (ver cuadro 4.4) hasta que ésta alcance el rango de sistema final.

---

<sup>34</sup> J. L. Maté Hernández y J. Pazos Sierra, *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y ...*, op. cit., pp. 536-546.

Cuadro 4.4 ETAPAS FINALES EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO

ETAPA	FUNCIÓN
Maqueta de demostración	Demostración de viabilidad
Prototipo de investigación	Primera versión operativa
Prototipo de trabajo	Una versión comprobada y fiable
Modelo para producción	Demostrador de prestaciones finales
Programa comercial	Versión para el usuario

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo de esta etapa las alternativas para acceder al saber necesario que permita alimentar en toda su extensión la base de conocimiento del sistema pueden ser varias. A pesar de tal circunstancia, una de ellas, la disposición directa de expertos, ha sido una de las más utilizadas hasta el momento. Para la obtención de unos resultados satisfactorios con tal práctica es conveniente siempre establecer un cuadro de actividades<sup>35</sup> a desarrollar por el ingeniero conjuntamente con dichas personas. Entre todas las que se podrían enumerar, seguidamente se analizarán las de mayor interés.

1) Entrevistas: Si están bien diseñadas y se desarrollan correctamente se podría obtener, a partir de ellas, gran parte de la información necesaria para

<sup>35</sup> Lógicamente, aquí no se puede establecer un modelo que abarque la totalidad de posibilidades que en la realidad se pueden dar. Para cada caso, y de forma específica, se elaborará un programa de actividades diversas cuyo diseño se realizará en función de las circunstancias que concurren en cada momento. Es por lo tanto éste un apartado que suele presentarse, por lo general, bastante abierto.

Para realizar una consulta más extensa sobre todas estas cuestiones tan interesantes es aconsejable revisar alguna de las siguientes obras:

A. Anjewierden, (1987), *Knowledge acquisition tools*, **AI Communicatios**, vol. 1, pp. 29-39.

L. Bainbridge, (1986), *Asking Questions and Accessing Knowledge*, **Future Computing Systems**, vol. 1, nº 2, pp. 143-149.

J. Debenham, *Knowledge Acquisition: A Systematic Approach*, en J. R. Quinlan, **Applications of Expert Systems**, vol. 2 ..., op. cit., pp. 334-365.

J. Diederich y M. Linster, *Knowledge-Based Knowledge Elicitation*, en G. Guida y C. Tasso (eds.), **Topics in ...**, op. cit., pp. 323-350.

M. Greenwell, **Knowledge Engineering for ...**, op. cit.

M. D. Grover, *A pragmatic Knowledge Acquisition Methodology*, **Proceedings of the Eighth International Joint ...**, op. cit., pp. 436-438.

T. Gruber y P. Cohen, (1986), *Design for acquisition: principles of knowledge system design to facilitate knowledge acquisition*, en **Proceedings of Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop**, Banff (Canadá), November 2/7.

A. Hart, **Knowledge Acquisition for ...**, op. cit.

A. L. Kidd (ed.), (1987), **Knowledge acquisition for expert systems: A practical handbook**, New York, Plenum, p. 194.

U. Noelke, *The Essence of Knowledge Engineering*, en S. Savory (ed.), **Artificial Intelligence and ...**, op. cit., pp. 116-132.

cumplimentar la base del programa. Se constituyen, en muchos casos, como unas de las fuentes principales de conocimiento.

2) Observaciones directas: Es posible realizar un seguimiento continuado y minucioso de las distintas tareas que el experto ejecuta dentro de lo que constituye su actividad cotidiana. La información así obtenida puede ser posteriormente completada con la celebración de una entrevista dirigida en la que el ingeniero interroga al especialista sobre cuestiones, mucho más concretas, que se relacionan con algunos apartados no suficientemente clarificados tras la observación.

3) Entrevistas estructuradas (dirigidas): Con este tipo de contacto entre especialista e ingeniero se pretende hacer aflorar determinados datos, procesos mentales, apreciaciones, patrones de comportamiento, juicios, hipótesis, relaciones operativas, heurísticos o cualquier otra información relevante que, tras un primer intento, no ha sido posible concretar en buena forma. Es un método especialmente indicado para etapas en las que se perfilan los últimos detalles de la composición cognitiva de la base dado que permite acceder a unidades específicas de conocimiento. Dada su especificidad, ésta es una práctica susceptible de ser automatizada.

4) Exámenes y pruebas: El objetivo, en este caso, se concreta en que el especialista los resuelva razonando siempre y argumentando convenientemente sus respuestas para poder así detectar en qué tipo de información ha basado sus juicios y qué métodos de resolución ha aplicado en cada momento.

Hay que resaltar el hecho de que esta alternativa, que ahora se describe, no siempre es bien recibida por aquellas personas a las que hay que interrogar dado que, a veces, una prueba de este tipo termina por convertirse para dichas personas en una prueba más evaluadora de sus conocimientos y capacidades. Es, por lo tanto, muy importante el que este aspecto quede, para los implicados en la cuestión, suficientemente claro desde un principio. Hay que concretarles, desde primera hora, qué es lo que se pretende conseguir con este tipo de actuación.

5) Informes del experto: Se pueden suministrar bien por escrito o de forma oral. Con la información y los datos en ellos incluidos se pueden cumplimentar determinados apartados de la base de conocimiento. Exigen cierta dedicación por parte de los expertos.

6) Análisis inductivos: A partir de un conjunto de ejemplos o casos resueltos por el especialista, el ingeniero extrae de los mismos el conocimiento empleado por aquel. Suele ser una modalidad muy indicada para aquellos casos en los que no se pueda contar de forma continuada con la presencia de dicha persona.

A pesar de que resulte ser éste uno de los modos más comunes, no siempre se puede adquirir el conocimiento con la simple realización de pre-

guntas al experto. Especialmente, al principio, los ingenieros no conocen suficientemente el tema como para plantear cuestiones acertadas. Por tal motivo es conveniente disponer de alternativas que permitan cubrir determinadas contingencias al respecto. Algunas de las más comunes suelen ser:

- a) Literatura. Con este término se apunta hacia cualquier fuente de documentación escrita (libros, revistas especializadas, informes, manuales para operar equipos, etc.) que se pueda utilizar para suministrar la información necesaria hasta completar la base de conocimiento del programa. Una vez que se haya reunido todo el material se irá consultando según se haga necesario, no siendo obligatorio siempre realizar una revisión completa y exhaustiva del mismo. Lo que no se debe hacer nunca es confiar en la literatura como fuente principal o exclusiva para suministrar el conocimiento necesario dado que, por lo general, los métodos de resolución de problemas que los especialistas emplean no coinciden siempre de forma exacta con los descritos en los textos. Por eso, los mejores conocimientos se suelen obtener, en la mayoría de los casos, de la experiencia personal.
- b) Bases de datos de cualquier tipo a las que se pueda acceder.
- c) Memorias de resultados empíricos que corresponden a casos previos relacionados, de alguna forma, con el que actualmente se trata.

A lo largo de todo este periodo, desde su inicio hasta que se hace intensiva la búsqueda y captación del saber hacer, está casi asegurado el que le surjan al ingeniero algunos problemas relacionados con la misma que, en ocasiones, pueden ser de difícil resolución y exigir hasta lograrlo un esfuerzo adicional importante. En cada caso aparecen dificultades de naturaleza muy diversa. Todo dependerá, fundamentalmente, del tipo de aplicación que se pretenda desarrollar y de las fuentes informativas de las que se pueda disponer. No obstante, suelen darse determinadas situaciones conflictivas a las que casi se las podría catalogar como típicas de desarrollos similares a los que aquí se están describiendo. Algunas de ellas se describen a continuación.

- La primera y más grave resulta ser la falta de colaboración de la/s persona/s designada/s para suministrar al equipo de desarrollo el conocimiento necesario para crear la base del programa. Si dicha/s persona/s se muestra/n reacia/s, insegura/s en sus apreciaciones o incluso adopta/n una actitud defensiva y de evasión ante las diversas cuestiones que se le planteen, desgraciadamente aparecerá una adversidad que conducirá ineludiblemente a la búsqueda de otro especialista o, si no se dispone de éste y la hubiese, otra fuente alternativa de información.

- El experto, cuando es interrogado sobre el modo en que procedería ante una problemática concreta, apunta un comportamiento determinado que luego no se corresponde, en todo o en parte, con la conducta que verdadera-

mente mostraría ante la situación que se le propuso. En definitiva, y en algunas ocasiones, una cosa es lo que se dice y otra bien distinta lo que de hecho se hace.

- Determinado tipo de pautas de comportamiento, e incluso algunas decisiones importantes, tienen su fundamento en razonamientos y juicios de valor cuya estructura y control no son algo que la persona que los desarrolla pueda poner de manifiesto con claridad y precisión. Un experto suele emplear para la resolución de problemas grandes dosis de intuición (emplea patrones de comportamiento ya elaborados) que le conducen, de forma rápida y directa, hacia las partes más relevantes a emplear de todo el conocimiento disponible en un momento dado. En estos casos se enfrentan con unidades cognoscitivas que presentan gran dificultad a la hora de plantear, en primer lugar, su determinación y, con posterioridad, su representación formal para ser procesadas.

- El experto expone la forma en que alcanza sus conclusiones y el modo en el que aplica sus mecanismos de razonamiento en unos términos demasiado amplios como para poder realizar un análisis efectivo de los mismos.

- La narración inicial del especialista sobre el desempeño de una determinada tarea revela y describe cómo, según él, se debe desarrollar ésta. Con posterioridad, el ingeniero comprueba que la tarea objeto de estudio resulta estar, en realidad, compuesta por varias.

- Resulta evidente la capacidad, más o menos limitada, que muchas veces tienen las personas para expresar de forma precisa, completa y consistente sus conocimientos acerca de una materia. Incluso algunos individuos, cuanto más saben sobre alguna cuestión más inaccesibles resultan ser (paradoja de la experiencia). Ello puede deberse, en parte, a la no disponibilidad de un canal adecuado para realizar tal labor. La expresión oral no siempre es la vía más adecuada, además de que plantea serios problemas de carácter técnico para su implementación en el ordenador. Es por esto que determinado tipo de conocimientos, transmisibles únicamente a través de dicho canal, pueden no ser de fácil utilización en la construcción de sistemas cognoscitivos. No obstante, en tal situación el ingeniero puede desempeñar una labor fundamental dado que se le supone conocedor de todo lo relacionado con el tema de la representación del conocimiento en el ordenador. El será el encargado de intentar superar tales adversidades y deberá desarrollar esquemas precisos del saber poseído por el experto para que luego éstos pasen a convertirse en expresiones útiles y computables.

- A veces, en circunstancias concretas, el conocimiento necesario para plantear la resolución de un caso puede estar incompleto, mal definido, incorporar grandes dosis de intuición o, simplemente, ser contradictorio.

- El ingeniero puede hacer una interpretación un tanto subjetiva de la información que el especialista le está suministrando.

- Pueden presentarse dificultades en las relaciones experto-ingeniero cuando ni el primero se ha familiarizado e identificado lo suficiente con el proyecto en desarrollo, ni el segundo ha alcanzado el nivel mínimo de conocimientos exigidos para afrontar con garantías una labor de extracción bajo control del saber en posesión de otra/s persona/s.

Esta relación podrá verse incrementada, sin duda alguna, con todos esos otros problemas que de forma particularizada se le presentan a cada ingeniero en los distintos proyectos en los que se ve involucrado a lo largo de su vida profesional. La superación de todas estas dificultades depende de factores tan diversos y variables que no resulta posible en este trabajo hacer recomendaciones de cuáles serían las soluciones más adecuadas para cada caso.

El objetivo final de todo el proceso reseñado hasta ahora es que, tras las pruebas realizadas con las correspondientes modificaciones e incorporaciones de nuevo conocimiento, se llegue a obtener un sistema que, de forma consistente, proporcione respuestas, consejos y diagnósticos acertados en una amplia variedad de casos tipo que el especialista humano está en condiciones de resolver.

#### **4.4.9 Etapa 9: Mantenimiento y actualización.**

Esta es una fase cuyo contenido y ejecución dependerán, en gran manera, de las circunstancias en las que cada organización se vea involucrada a lo largo del tiempo. No obstante, es vital para poder disponer de forma continuada de un programa competente y fiable el que éste sea actualizado del mismo modo que un especialista en un campo determinado se pone al día con cierta periodicidad.

Se considerará que el desarrollo del sistema está ya concluido cuando éste opere y actúe como si de una persona especializada en un dominio particular se tratase. Ahora bien, las personas especializadas en algún ámbito concreto del saber nunca dejan de acumular e incorporar nuevos conocimientos y experiencia dentro del mismo, al igual que se adaptan a las modificaciones y transformaciones del entorno cambiante que les rodea. Por tal motivo el término definitivo o final, con el que se cataloga a la última versión desarrollada de estos sistemas, tiene que ser interpretado con ciertas precauciones dado que, precisamente, una de las grandes ventajas que presentan los sistemas expertos, si están bien diseñados, es que su base de conocimiento puede ser modificada y enriquecida de forma continua. Los sistemas expertos, si de verdad pretenden serlo, también deberán emular a los especialistas en esta faceta. En función de las necesidades la arquitectura modular que presenta este tipo de programas debe permitir siempre la incorporación de nuevo conocimiento a la base o la reforma de ésta cuando fuese necesario.

Un sistema al que se le aplique un programa de mantenimiento y actualización adecuado debe estar cada vez en mejor disposición para realizar la

tarea que se le haya encomendado en un principio. Influye de forma notable en la consecución o no de este objetivo el que una vez que el ingeniero abandona el proyecto, dado que no siempre forma parte del equipo de explotación, las personas que integran el mismo, que son las destinadas definitivamente a su manejo, lo conozcan y entiendan a la perfección.

#### 4.5 PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS ACTUALES.

Del recorrido que hasta el momento se ha efectuado por el entorno de la Inteligencia Artificial se podrían entresacar algunas ideas y conclusiones que permitirían adjudicar el calificativo de trascendentes y destacados a bastantes de los aspectos que sobre la misma han sido tratados. Este hecho se haría incluso más patente en el caso concreto de los sistemas expertos si se tiene presente la argumentación recogida en este estudio hasta el presente apartado. Ahora bien, en la actualidad y a pesar de que la aplicación de estos programas sobre casos reales es cada vez más frecuente, no se puede pasar por alto que queda todavía bastante camino por recorrer hasta que se alcance un nivel suficiente de madurez en algunas de las técnicas aplicadas. Llevando el análisis de esta cuestión incluso a un nivel mucho más genérico<sup>36</sup>, no resulta del todo claro si hay que considerar a este tipo de programas, tal y como hoy se presentan, más bien como un eslabón dentro del proceso evolutivo de los sistemas informáticos o realmente representan el inicio de una nueva era dentro del ámbito de aquellos.

En casi la práctica totalidad de investigaciones que en la actualidad se realizan y cuyo objetivo son diferentes hechos y fenómenos observables de la realidad, es posible adoptar diversas alternativas de análisis sobre los mismos. Ahora bien, cualquier aproximación al tratamiento de una determinada cuestión suele presentar, por lo general, algún tipo de limitación. Los sistemas expertos, como una opción más, no van a ser una excepción a esta evidencia. Hoy en día es incuestionable que esta modalidad de programas presenta serias limitaciones en cuanto a sus posibles aplicaciones o en cuanto al grado de integración que puede alcanzar dentro de una organización ya establecida. Por todo ello, resulta muy necesario evitar, una vez más, la adopción de posturas excesivamente triunfalistas y optimistas tendentes a considerar que los sistemas expertos se han constituido ya o se constituirán, en un futuro próximo, como la panacea informática con la que afrontar la resolución de la mayoría de los problemas que se plantean a cualquier entidad. Hasta tal punto esto no es

---

<sup>36</sup> A este nivel Blas Lara realiza un extenso comentario en el que incluye algunas consideraciones acerca de cuáles son las fronteras lógicas y epistemológicas de la informática en el momento actual. Las mismas resultan ser de sumo interés. Para más detalles consultar la obra: B. Lara, *Fronteras Lógicas y Epistemológicas de la Informática*, en R. Portaencasa y otros, *Programación Informática ...*, op. cit., pp. 131-149.

así que aún existen algunas áreas del saber donde se plantea la duda sobre si alguna vez un programa de tales características podrá llegar a incorporar todo el conocimiento y la experiencia que un experto humano en dicho campo es capaz de atesorar a lo largo del tiempo. Aunque lo conseguido desde que esta disciplina inició su andadura como materia independiente es mucho, resulta incuestionable que existen profundas limitaciones en el potencial operativo de los sistemas expertos actuales. En palabras bastante expresivas de Bowerman y Glover: los sistemas expertos se encuentran todavía en su infancia<sup>37</sup>.

Como es lógico, estas fronteras de acción a las que se está haciendo referencia vienen impuestas, en su mayor parte, por el desarrollo actual que presenta la propia disciplina y por las posibilidades que ofrecen algunas otras técnicas adyacentes a ella. Esto, además, se entremezcla en bastantes casos con las peculiaridades que presentan las diversas áreas donde se proyecta aplicar tales sistemas.

Parece por lo tanto del todo necesario el que, desde un primer momento, se reflexione suficientemente sobre los límites y la problemática que estos programas presentan en la actualidad, consiguiéndose con ello un doble objetivo. En primer lugar, un reconocimiento y asunción de los mismos en el momento preciso. En segundo término, realizar una llamada de atención dirigida a los gestores de las organizaciones y, de forma general, a todas aquellas personas involucradas en esta cuestión, para que procedan con prudencia a la hora de realizar sus planteamientos y fijar sus objetivos si desean aplicar esta técnica.

Dos van a ser por tanto los apartados, con interrelaciones claras entre ellos, que se considerarán aquí para describir toda la problemática que en la actualidad se presenta a la hora de establecer el uso que de los sistemas expertos se debe hacer. Así se tiene, por un lado, aquellos límites que vienen impuestos, como ya se indicó, por el propio dominio donde estos programas deben actuar. Por otro, estarán las limitaciones derivadas del grado de desarrollo que ha alcanzado hasta el momento presente esta disciplina. A continuación se van a desarrollar cada uno de estos apartados por separado.

#### **4.5.1 Problemas y límites impuestos por el contexto donde el programa va a ser aplicado.**

Una buena manera de concretar las limitaciones que exhiben los sistemas expertos en la actualidad puede ser mediante la delimitación de aquellas áreas donde su aplicación no resulta efectiva o satisfactoria dado lo insuficientes que se muestran algunas de las técnicas de Inteligencia Artificial, desarrolladas hasta el momento, para posibilitar un adecuado tratamiento de determinadas particularidades que presentan algunos dominios. Como ya se

<sup>37</sup> R. G. Bowerman y D. E. Glover, *Putting Expert Systems ...*, op. cit., p. 17.

indicó previamente, resulta de suma importancia realizar una selección cuidadosa del ámbito o contexto en el que el sistema experto se va a tener que desenvolver para, de este modo, asegurar una aplicación conveniente de dicha técnica. En los casos donde esto no ocurra así, es decir, en aquellas áreas donde no resulte conveniente utilizar esta tipología de programas, la aplicación forzada de los mismos supondrá, de antemano, un uso ineficiente de recursos (personal, tiempo, dinero, etc.) que se verá corroborado, con posterioridad, mediante la obtención de unos resultados totalmente insatisfactorios. A continuación se hace una descripción de algunas de las circunstancias más importantes a considerar para estos casos.

- Para simplificar el diseño y la construcción de bastantes de los sistemas expertos hasta ahora creados, se ha empleado en cada uno de ellos una sola modalidad de representación del conocimiento y se ha aplicado también un único esquema de control para guiar la actividad de los mismos. Sin embargo, es relativamente frecuente el que a la hora de afrontar la resolución de problemas diferentes o de aspectos diversos de una misma cuestión, éstos no sean susceptibles de ser tratados utilizando siempre un mismo esquema de representación o un único mecanismo de control para las diferentes etapas que integran el proceso de resolución. Incluso, en algunas ocasiones, se hace necesaria la incorporación de algún tipo de representación explícita con el objetivo de poder recoger información estratégica que no es susceptible de ser manejada con los mismos esquemas empleados para la representación de la información más convencional. Rara es la ocasión en la se suelen presentar casos, correspondientes a dominios complejos, que presenten una estructura uniforme para todos sus componentes y donde, por tanto, se pueda optar por la adopción de paradigmas de representación y control únicos. Por tanto, en la situación actual, no resultará factible para estos sistemas el poder abordar, en determinados contextos, aquellas cuestiones en las que sea necesario tratar de forma simultánea con varios dominios de conocimiento. Por ello, los problemas ante los que deban ser considerados requerimientos de naturaleza diversa, difícilmente se adecuarán a un modelo resolutivo incorporado al ordenador y que obvie tal particularidad.

- Dados los contextos específicos donde los sistemas expertos se suelen desenvolver, éstos no se adecuan aún demasiado bien al manejo y procesamiento de datos procedentes de sensores muy sofisticados o al control y seguimiento de tareas que impliquen la realización de cualquier tipo de operación mecánica o manual. Afortunadamente, en los últimos años, la aparición en el mercado de interfaces especialmente diseñadas para estos menesteres viene a paliar un tanto la carencia de este tipo de prestaciones que presentan los equipos actuales.

- Se pueden contemplar determinados ámbitos para los cuales, dado lo novedoso que resultan ser algunos de los problemas que en su seno se plantean, no se cuenta todavía con la experiencia necesaria, proveniente de la re-

solución de un número suficiente de casos y de la acumulación de asociaciones empíricas dictadas por la experiencia, como para haber acumulado un cuerpo de conocimiento del que poder disponer discrecionalmente en ocasiones posteriores. En tales circunstancias, no se debe pensar nunca en los sistemas expertos como una técnica de resolución válida dado que para este tipo de programas es justamente la disposición de gran cantidad de conocimiento el hecho fundamental que posibilita, aunque no en exclusiva, el lograr unos óptimos resultados a la hora de encontrar soluciones. Otra situación que puede guardar cierta relación con la anterior es aquella en la que se planteen como objetivos primordiales, dentro de un proyecto, la innovación en un determinado campo o en el descubrimiento y la formalización de nuevos principios en el mismo.

#### 4.5.2 Problemas y límites derivados del estado actual del arte.

Se debe considerar que, por lo general, todas aquellas limitaciones que sufre esta técnica en la actualidad y que no se corresponden directamente con los requerimientos específicos de un dominio en particular no suelen impedir, de una forma definitiva, el funcionamiento del programa aunque sí pueden causar, en ciertos momentos o en determinadas circunstancias, un comportamiento inadecuado de éste. A continuación se especifican algunos ejemplos de las disfunciones y carencias más comunes que suelen presentarse bajo estas condiciones, destacando aquellas que se refieren a ciertos valores internos de la conciencia humana que a continuación se describen.

En el momento presente sólo es posible crear sistemas expertos con capacidad para actuar eficazmente en ámbitos de conocimiento reducidos y con una clara delimitación de sus contornos. Ni siquiera este conocimiento que se incorpora a la máquina es todo el que se encuentra a disposición del experto cuando éste resuelve los problemas. Sólo una parte de dicho conocimiento es susceptible de ser representado en ordenador mediante alguna modalidad de esquema. Dicho en palabras de Hayes-Roth y otros<sup>38</sup>.

Los sistemas expertos de hoy en día están lejos de alcanzar las dimensiones requeridas en general por la conducta inteligente. Estos se asemejarían más a lo que sería un "idiota culto" que a un verdadero experto humano.

En función de esto es de esperar que los sistemas expertos no respondan de forma satisfactoria en situaciones en las que se les haga trabajar fuera del dominio específico para el que fueron concebidos. La pérdida de precisión y fiabilidad en la ejecución de su tarea será casi inmediata y definitiva en tales circunstancias.

También, para representaciones que exijan la inclusión de determinados tipos de conocimiento como el temporal, el espacial, el inconsistente o el erróneo, existen actualmente serios problemas en su tratamiento.

<sup>38</sup> F. Hayes-Roth y otros (eds.), *Building Expert ...*, op. cit., p 55.

Dado el gran esfuerzo que exige el desarrollo de un programa de esta naturaleza, siempre se presupone como uno de los propósitos fundamentales lograr el que su vida útil se prolongue durante un periodo de tiempo considerable. Sin embargo, ocurre que en el momento de su creación se intenta dotarles del conocimiento necesario para afrontar la resolución del problema presentado con ciertas garantías y según los últimos progresos realizados, hasta ese momento, en el tratamiento del conocimiento y la comprensión de los hechos y fenómenos que caracterizan a dicho campo. Igualmente, muchos sistemas expertos se conciben bajo la máxima, no siempre manifestada de forma expresa, de que el diseño de la base de conocimiento responde a unas directrices que vienen marcadas, en la mayoría de los casos, por el tipo de herramienta de desarrollo que se va a emplear en la creación del programa. Con ello, y de forma implícita, se está particularizando el enfoque que sobre la realidad tratada se está haciendo. La adopción de una determinada perspectiva sobre un caso concreto supone el que se tengan que asumir toda una serie de hechos acerca de la naturaleza de los datos a manejar, de la naturaleza del conocimiento a representar, de la mejor aproximación para realizar dicha representación y, finalmente, de la estrategia a emplear en la resolución dentro del ámbito particular de que se trate.

Señalar, por último, que una perspectiva del momento sobre la cuestión a resolver podría resultar válida para un periodo de tiempo más o menos amplio, pero no quizás cara a un futuro donde pueden plantearse modificaciones en los fundamentos del conocimiento sobre las que ésta se sustenta. Si la base ha sido construida correctamente será factible su actualización, pero a pesar de ello el modelo incorporado inicialmente se mantendrá dentro del sistema.

Resulta difícil integrar, en un mismo programa, opiniones y métodos diversos que han sido empleados por diferentes especialistas para afrontar la resolución de un problema o el tratamiento de una cuestión en particular. Normalmente se recurre a una de las personas, citadas con anterioridad, para que suministre la información necesaria a la hora de nutrir la base de conocimiento del sistema. Es precisamente mediante la utilización de la experiencia aportada por el especialista como se llega a modelar el conjunto de unidades de conocimiento que integran el contenido de dicha base. Ahora bien, no existe la menor garantía de que si se llegase a designar otro equipo de expertos, distinto al seleccionado en primer lugar, el diseño de aquella base coincida con el obtenido en este segundo caso. Se quiere poner de manifiesto con esto que cuando se toma una determinación, en relación a cuáles serán las personas que aporten información sobre una parcela concreta del saber para que ésta sea incorporada al programa, se está asumiendo en algún modo, y con los riesgos que ello comporta, el que el resto de especialistas en esa materia coinciden en las apreciaciones expuestas por aquellos y también

con los juicios que hayan podido emitir sobre la temática que se esté analizando. En otras palabras, se adjudican las mismas ideas a todos los especialistas. Bryant<sup>39</sup> admite que, en tales circunstancias, existe una posibilidad real de poder establecer un amplio consenso entre expertos pero nunca se podrá aspirar a lograr un acuerdo total y pleno entre ellos.

Esta cuestión de integrar en un ordenador diferentes opiniones o puntos de vista sobre una misma temática plantea todavía problemas bastante serios. La misma ya ha sido objeto de estudio por parte de diversos investigadores que han intentado arbitrar técnicas con las que poder combinar, en una misma base, experiencia y conocimiento procedentes de más de un experto. Un ejemplo de esta práctica es la aplicación del método denominado "blackboarding".

Del tratamiento superficial que en muchos casos se le da a las diversas cuestiones relacionadas con el mundo de los sistemas expertos parece asumirse, casi siempre, el hecho de que el programa, una vez concluido el procesamiento de los datos y la información necesaria, acabará por suministrar al usuario una solución satisfactoria para el problema que se le haya presentado. Sin embargo, raras veces se plantea la posibilidad de que, en ocasiones, el sistema no sea capaz de alcanzar una solución óptima, de que suministre una solución errónea o, simplemente, de que no sea capaz de aportar una. Ante tales circunstancias no se debe olvidar nunca que los sistemas expertos se diseñan para que actúen como los especialistas humanos, en numerosas ocasiones aportando soluciones validas pero, también, en algunas otras equivocándose.

Como continuación de la línea argumental iniciada en este subapartado, también deben ser contemplados aquellos otros casos, potencialmente factibles en la práctica, en los que la solución propuesta por el sistema es totalmente inviable o, si no resulta ser así, es totalmente inasumible por el usuario dada la falta de realismo achacable a la propuesta hecha por el programa. Con todo esto se pretende poner de manifiesto el que, entre todas las posibles respuestas que un sistema experto puede ofrecer, se encuentran también aquellas que resultan ser irrealizables dadas las circunstancias particulares en las que se encuentra la persona que efectuó la consulta o, simplemente, puede no obtenerse respuesta alguna. Ante el planteamiento teórico de un supuesto modelo ideal para la creación de estos programas, una norma que debería ser de obligado cumplimiento es aquella que apunta hacia la creación de programas responsables a la hora de proponer soluciones o suministrar consejos a los usuarios. En otros términos, el sistema debería estar diseñado de manera que cuando emita dictámenes o proponga líneas de actuación concretas tenga siempre en cuenta las circunstancias propias de la persona

<sup>39</sup> N. Bryant, *Managing Expert ...*, op. cit., p. 28.

que realiza la consulta, evitándose así, en lo posible, el producir resultados como los anteriormente descritos.

Una seria limitación que hasta el momento se ha presentado dentro del campo de la Inteligencia Artificial y que ha supuesto un reto importante en la evolución de las distintas técnicas aplicadas, es aquella que viene impuesta por la modelización de esa tipología de conocimiento a la que comúnmente se la suele denominar como "sentido común". La flexibilidad y versatilidad que el ser humano muestra, por lo general, cuando se enfrenta a la resolución de un problema tiene su fundamento, en un alto grado, en ese "algo" no muy bien definido llamado sentido común. Éste se muestra como muy importante cuando se llevan a cabo operaciones que implican el empleo de conocimiento tanto en ámbitos conocidos para la persona como en aquellos otros que le resultan extraños. Hay que destacar el papel fundamental que puede jugar en los entornos citados en primer lugar.

Conocido es ya lo difícil que resulta la codificación e incorporación efectiva de esta modalidad de conocimiento al ordenador. Debido a esta imposibilidad, el mismo no es susceptible de ser manejado aún con plenitud y sencillez por la mayoría de los sistemas expertos actuales. Sin embargo, y de ahí lo trascendente de esta carencia, el entorno social, cultural y mental que se encierra tras él está muy ligado a lo que es la conformación de la conciencia humana. Es el sentido común el que sirve en numerosas ocasiones como soporte principal que sustenta el pensamiento inteligente y las acciones consecuentes del ser humano.

Muy relacionado con el sentido común y con la toma de decisiones que tiene como base dicha modalidad de conocimiento, está el tratamiento del denominado razonamiento cualitativo. Son frecuentes los procesos cognoscitivos desencadenados por el ser humano en los que subyace el problema de la vaguedad del lenguaje. De forma obligada hay que manejar conceptos con significados poco precisos o vagos. La Semántica Situacional es la disciplina que se encarga del estudio y resolución de estas cuestiones. Por ejemplo, la significación que alcanzarían algunas expresiones donde se incluyesen términos y expresiones como grande, lejos, alguno, casi, a la derecha, más o menos, cálido, bueno, etc., son una muestra válida para reflejar ese grado de inexactitud e imprecisión en la interpretación al que se está haciendo referencia. Aunque dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial se han realizado algunos intentos tendentes a solventar esta cuestión (lógica difusa dentro del modelo posibilístico), la verdad es que los sistemas expertos se encuentran todavía bastante limitados para tratar los mismos y su capacidad para gestionarlos dista mucho de la que exhiben los seres humanos cuando razonan o toman decisiones. Finalmente indicar, todavía dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial, que un nivel de dificultad mayor que el afrontado para el tratamiento de problemas que incorporan razonamiento cualitativo hay que

contemplantarlo en el caso de aquellos otros temas donde aparezcan implicadas cuestiones emocionales.

La intuición es otro de los elementos que caracterizan a los modelos de resolución genéricos aplicados por los seres humanos y que condiciona a menudo, y de una forma notable, las decisiones que éstos toman a lo largo del tiempo. Las personas, de una forma espontánea, extraen de su subconsciente ciertas dosis de creatividad y conocimiento que inmediatamente convierten en pilares donde fundamentar su comportamiento. En determinadas ocasiones ocurre que los individuos que tienen que tomar estas decisiones se guían más bien por propias intuiciones o presunciones, reconocidas vulgarmente como "corazonadas", que por los hechos que hayan podido ser contrastados o las argumentaciones lógicas que hayan podido ser esgrimidas a la hora de tomar una determinación sobre algún aspecto en concreto. Como resultado de todo esto se puede añadir, a las evidencias ya contrastadas previamente en cuanto a las limitaciones que estos programas presentan en la actualidad, otra que apunta hacia que no resulta factible, por el momento, incorporar a la base de conocimiento una cualidad de la naturaleza tan particular como la de la que ahora se está describiendo. Ésta, por ahora, se encuentra más allá del alcance de los sistemas expertos corrientes.

Exceptuando el caso de algunos sistemas expertos que incorporan mecanismos un tanto rudimentarios para modificar su conducta mediante un procedimiento que podría asemejarse, de algún modo, a lo que se reconoce como un proceso de aprendizaje, en el resto de programas esta cualidad depende, en gran medida, de la actuación que realice en este sentido el usuario final o el ingeniero del conocimiento. No se trata pues, en este segundo caso, de un fenómeno que espontáneamente se desencadena dentro del propio programa.

Una de las capacidades intelectuales de mayor valía con las que cuenta el ser humano es aquella que le permite realizar un autoanálisis de sí mismo para estudiar el comportamiento propio en su conjunto. Cualquier persona, a través de esta reflexión sobre su propio comportamiento, estará en disposición siempre de poder modificarlo y corregirlo cuando sea necesario, adaptándolo además a las posibles modificaciones que sufra el entorno donde habitualmente desarrolla su actividad. Es evidente que la mayoría de los sistemas expertos de hoy en día todavía no pueden hacer esto.

Los lenguajes de comunicación e interacción, tanto para las entradas como para las salidas de información, están aún poco evolucionados. Este problema es de suponer que no será solventado hasta que no se consiga en el ámbito informático un tratamiento adecuado del lenguaje natural<sup>40</sup>.

<sup>40</sup> Para aquellas personas interesadas, Querañt, Minsky, y Denhière y Poitrenaud hacen una descripción bastante acertada del estado actual en el que se encuentra el tratamiento de esta cuestión. Dichas aportaciones aparecen en las obras:

Antes de finalizar este segundo punto es necesario incluir un último comentario referido al hecho de que, en algunos casos, los sistemas expertos pueden haber visto limitadas sus prestaciones debido precisamente a que el tipo de hardware o de software que se ha utilizado como soporte para su desarrollo y ejecución no eran los más adecuados. Buchanan<sup>41</sup> enumera algunos defectos y limitaciones importantes que se pueden derivar de tal circunstancia.

Es de esperar que algunas de las restricciones en uso aquí referidas se vean pronto aminoradas o lleguen, incluso, a ser superadas a medida que se vayan mejorando y perfeccionando las distintas técnicas implicadas en este fascinante mundo.

Como conclusión a este apartado, dedicado a la descripción de las limitaciones y problemas más importantes que los sistemas expertos presentan hoy en día, se debe admitir el que éstos, por el momento, exhiben un comportamiento que simula sólo aspectos bastante concretos y determinados del funcionamiento de la inteligencia humana. Esto, sin embargo, no se asemeja en modo alguno a lo que sería el pleno desarrollo del potencial intelectual del hombre. Estos sistemas emplean unidades de conocimiento finito que siempre están limitadas. Por tanto, deben quedar disipadas de pleno todas las expectativas que se hayan podido crear entorno a todos aquellos que aspiran, en un futuro cercano, a que una gran parte de las capacidades intelectuales de la persona puedan ser incorporadas a un programa de la tipología de los que aquí se están describiendo. Prerau<sup>42</sup> y Bowerman & Glover<sup>43</sup> exponen varios argumentos en este mismo sentido.

---

(continuación de nota 40)

G. Denhière y S. Poitrenaud, *Las Aportaciones de la Inteligencia Artificial a la Psicología del Lenguaje: Algunos Ejemplos*, en C. Bonnet y otros, **La Inteligencia Artificial y ...**, op. cit., pp. 169-179.

M. Minsky, **La Sociedad de ...**, op. cit., pp. 269-281.

M. Queralt, *Control del Lenguaje Natural*, en R. Portaencasa y otros, **Programación Informática ...**, op. cit., pp. 103-129.

<sup>41</sup> B. G. Buchanan, *New research on expert systems*, en D. Michie y Y. H. Pao (eds.), (1982), **Machine Intelligence**, vol. 10, Edinburgh, Edinburgh University Press, pp. 269-299.

<sup>42</sup> D. S. Prerau, **Developing and Managing ...**, op. cit., p. 9.

<sup>43</sup> R. G. Bowerman y D. E. Glover, **Putting Expert Systems ...**, op. cit., p. 17.

## TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS

### 5.1 INTRODUCCIÓN.

### 5.2 SEGÚN LA CONFIGURACIÓN QUE PUEDEN PRESENTAR.

5.2.1 Sistemas expertos independientes.

5.2.2 Sistemas expertos híbridos.

5.2.3 Sistemas expertos dedicados.

5.2.4 Sistemas expertos que presentan una arquitectura integrada.

5.2.5 Sistemas expertos embebidos.

### 5.3 SEGÚN LA TAREA QUE EJECUTAN.

5.3.1 Sistemas expertos de control.

5.3.2 Sistemas expertos de formación.

5.3.3 Sistemas expertos para diagnóstico, depuración y reparación.

5.3.4 Sistemas expertos de supervisión.

5.3.5 Sistemas expertos de planificación.

5.3.6 Sistemas expertos de diseño.

5.3.7 Sistemas expertos para pronóstico y predicción.

5.3.8 Sistemas expertos de interpretación.

### 5.4 SEGÚN EL ÁMBITO DE APLICACIÓN.

5.4.1 Gestión y administración (Cuadro 5.1).

- 5.4.2 Ciencia e ingeniería (Cuadro 5.2).
- 5.4.3 Industria (Cuadro 5.3).
- 5.4.4 Finanzas y legislación (Cuadro 5.4).
- 5.4.5 Aplicaciones militares y espaciales (Cuadro 5.5).
- 5.4.6 Sistemas de diagnósticos (Cuadro 5.6).
- 5.4.7 Aplicaciones en medicina (Cuadro 5.7).
- 5.4.8 Aplicaciones en la empresa agrícola.
  - 5.4.8.1 Producción animal.
  - 5.4.8.2 Producción vegetal.
  - 5.4.8.3 Ingeniería e industrias agrícolas.
  - 5.4.8.4 Economía agraria.

## **5.1 INTRODUCCIÓN.**

A pesar de que en apartados anteriores del estudio ya se hizo referencia expresa a algunas de las tipologías de sistemas expertos que progresivamente han ido apareciendo, resultará conveniente, sin embargo, dedicar en exclusivo un capítulo para establecer en él una catalogación precisa de los mismos. Antes de llevar a efecto dicha acción conviene tener en consideración una cuestión de bastante importancia. Al igual que si se tratase de otro tipo de programas en los que sería factible establecer diversas clasificaciones, también en este caso, donde se plantea la elaboración de una para las diversas variedades aparecidas hasta el momento, resalta la existencia de multiplicidad de criterios que podrían ser utilizados en su elaboración. En razón a esto último, se ha considerado oportuno que sean sólo tres, de entre todos los criterios disponibles, los que aquí se tengan en cuenta para alcanzar dicho propósito. Por tanto, en primer lugar, se efectuará una taxonomía de estos programas empleando como criterio fundamental de clasificación la configuración que se le puede dar a cada uno de ellos. Seguidamente, y por el indudable interés que encierra, se aplicará como segundo criterio en la elaboración de dicha clasificación el tipo de tarea o función que estos programas son capaces de ejecutar. Finalmente, se considerará el ámbito de aplicación de los mismos como último criterio de clasificación.

## **5.2 SEGÚN LA CONFIGURACION QUE PUEDEN PRESENTAR.**

Como se puede derivar del simple análisis de los programas de esta naturaleza que han ido apareciendo consecutivamente hasta el momento presente, la forma en que un sistema experto puede ser configurado no es única. A continuación se establece una relación, que no pretende ser en modo alguno exhaustiva, de las arquitecturas más comunes a las que se han sido incorporados de forma operativa los sistemas expertos. Serán cinco, en con-

creto, las categorías genéricas tenidas en cuenta para este caso. Estas son: los denominados sistemas expertos independientes, los sistemas expertos híbridos, los sistemas expertos dedicados, los sistemas expertos integrados y, por último, los sistemas expertos embebidos.

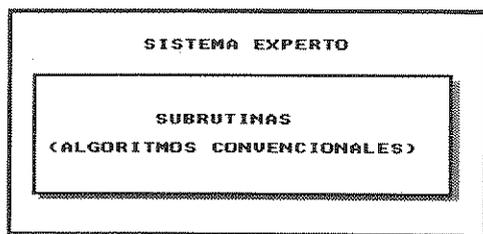
### 5.2.1 Sistemas expertos independientes.

La gran mayoría de sistemas expertos existentes en la actualidad pertenecen a esta categoría. Se consideran independientes todos aquellos programas que funcionan de forma totalmente autónoma y que no comparten recursos informáticos con ningún otro sistema completo o componente de éstos. El sistema, por sí mismo, interacciona directamente con el entorno y no se encuentra intermediado por ningún otro programa o componente informático ya sea convencional o desarrollado dentro del ámbito de la Inteligencia Artificial.

### 5.2.2 Sistemas expertos híbridos.

Dentro de esta categoría pueden ser diversas las configuraciones de los sistemas expertos que reciban tal denominación. En primer lugar, se encuentran aquellos sistemas expertos a los que se les añaden algunos componentes, a modo de subrutinas, que incorporan la ejecución de determinados algoritmos convencionales. Un esquema de esta modalidad aparece en la figura 5.1.

Figura 5.1 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO HÍBRIDO (I).



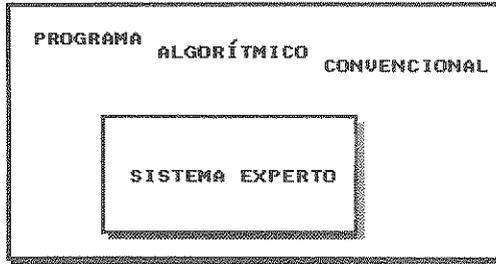
Fuente: Elaboración propia.

En este caso es posible que a la hora de resolver un problema concreto el sistema experto, como programa que ejecuta y controla el grueso del procesamiento, necesite realizar algunos cálculos o cualquier otra operación de segundo orden. La elaboración de éstas correrá siempre a cargo de las referidas subrutinas convencionales que muy posiblemente las efectuarán con más efectividad que si correspondiese su realización al propio sistema experto. Un ejemplo real de este tipo de arquitectura lo podrían constituir algunos programas aplicados al ámbito de las finanzas.

Como segunda disposición (figura 5.2), y de forma que puede ser identificado dentro de lo que es la estructura del conjunto, se encuentra el sistema

experto incorporado a un programa algorítmico convencional. Este último será el encargado de marcar la pauta de ejecución en las operaciones de procesamiento principales, siendo entonces el sistema experto el que se encontrará a expensas de que aquél requiera su intervención, en un momento dado, para realizar la/s tarea/s específica/s para la/s que fue creado.

Figura 5.2 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO HÍBRIDO (II).



Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3 Sistemas expertos dedicados.

En este caso, al igual que ocurría con los sistemas expertos independientes, también se emplea como soporte físico un único ordenador. El conjunto de hardware y software aparece como un entorno cerrado, sin interacción alguna con otros sistemas externos, sean éstos de la tipología que sean. En áreas de aplicación como son la militar (control de equipos) o la industrial (control de determinados procesos) resulta bastante frecuente el que se utilicen programas de este tipo.

### 5.2.4 Sistemas expertos que presentan una arquitectura integrada.

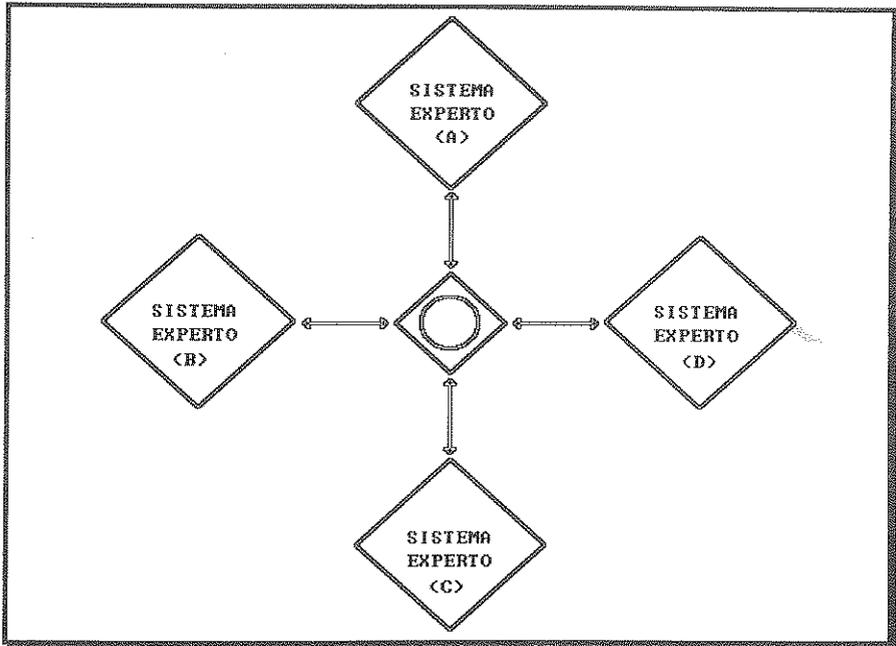
Aunque las combinaciones posibles de constitución recogidas bajo esta denominación podrían ser muchas, serán sólo dos las composiciones básicas a contemplar aquí. El conjunto de configuraciones al que se alude en este apartado suele ser reconocido también, por parte de algunas personas, bajo la denominación de "software encadenado".

En un primer bloque se considerarán, por un lado, todos aquellos sistemas expertos cuya actividad se integra con la de otros sistemas expertos (figura 5.3) formando así lo que se denomina como sistema encadenado.

Los diferentes sistemas expertos que integran el bloque, mediante la realización de las subtarefas que le son propias a cada uno de ellos, pueden intercambiar todo tipo de información y datos entre sí y colaborar, de esta forma, a la resolución de un determinado problema que se le ha presentado a lo que es el conjunto de programas.

Una variante en esta modalidad de configuración (figura 5.4) es aquella que está constituida por un bloque de sistemas expertos en el que uno de

Figura 5.3 SISTEMAS EXPERTOS CON UNA ARQUITECTURA INTEGRADA (I).



Fuente: Elaboración propia

ellos, incorporado a un gran ordenador, actúa como programa central que coordina la actividad del conjunto. El resto de sistemas expertos tienen como soporte físico PC's o pequeñas estaciones de trabajo donde realizan labores específicas y toman decisiones de carácter local.

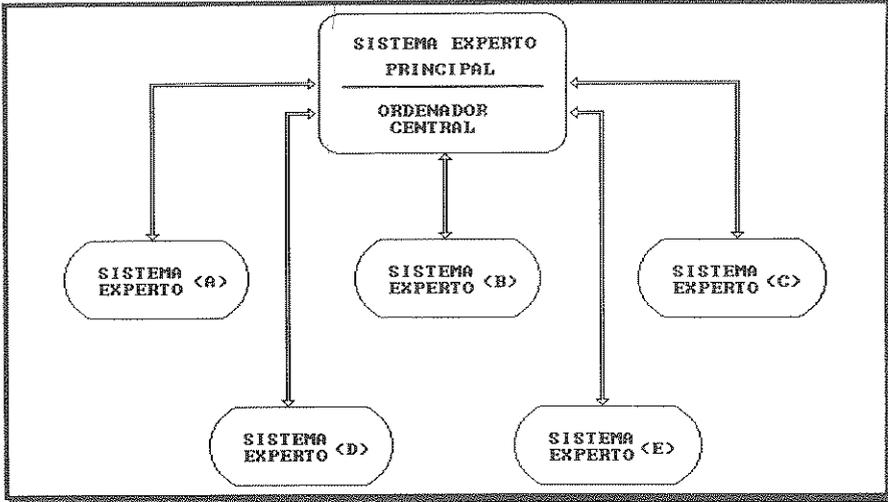
Como ya se indicó, el conjunto de éstos/as se encuentra conectado al programa que ejerce la labor de control del bloque y que está sustentado por el ordenador central. Para una correcta y eficaz aplicación de este tipo de arquitecturas deberían tenerse muy en cuenta todas aquellas cuestiones que tienen que ver con un tema de gran actualidad como es el referido a la resolución cooperativa de problemas distribuidos<sup>1</sup>.

Como segunda posibilidad a contemplar dentro de este apartado, se encuentran aquellos sistemas expertos que se integran en un único bloque de procesamiento donde aparecen junto con otra tipología de software (figura 5.5).

Este es el caso de determinados paquetes de ordenador donde el sistema experto o el conjunto de éstos, si son más de uno, interacciona con otros

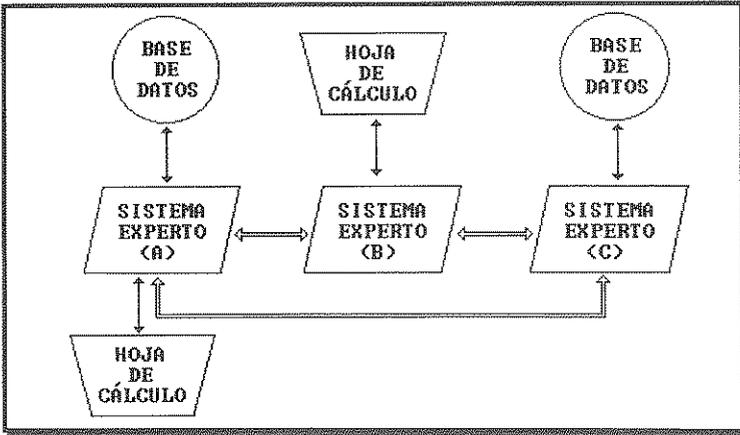
<sup>1</sup> Una descripción actualizada del momento en el que se encuentra el desarrollo de dicha temática aparece en:  
V. R. Lesser (1991), *Trends in Cooperative Distributed Problem-Solving*, Fourth Advanced Course on Artificial Intelligence (ACAI 91), Bilbao, 1/12 Julio.

Figura 5.4 SISTEMAS EXPERTOS CON UNA ARQUITECTURA INTEGRADA (II).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5 SISTEMAS EXPERTOS CON UNA ARQUITECTURA INTEGRADA (III).



Fuente: Elaboración propia.

programas convencionales como pueden ser bases de datos, hojas de cálculo, etc. Así, los sistemas expertos pueden utilizar toda la información recogida o generada por estos últimos programas y que les resulta muy necesaria a la hora de plantear una eficaz ejecución de la tarea que les ha sido encomendada.

### 5.2.5 Sistemas expertos embebidos.

El sistema experto en este caso se encuentra incrustado y difuminado dentro de una aplicación más general y no resulta posible distinguirlo, como elemento independiente, de entre el resto de componentes que integran el programa principal. Su labor, por lo general, se suele concretar en la ejecución de una actividad más de las que conforman el grueso del procesamiento global que efectúa el programa central.

## 5.3 SEGÚN LA TAREA QUE EJECUTAN.

En lo que se refiere a las posibles tareas que estos programas pueden realizar, es algo bastante evidente el que son susceptibles de ser desplegados en una amplia variedad de actividades. A medida que esta disciplina ha ido evolucionando, desde su aparición en la década de los cincuenta hasta ahora, son numerosos los ejemplos que se pueden citar de programas surgidos como propuestas de aplicación en las que éstos ejecutaban labores de muy diversa índole.

Prácticamente la totalidad de sistemas expertos citados en capítulos anteriores y el resto de programas que no fueron entonces reseñados, podrían ser en este momento incorporados a alguno de los apartados que serán especificados en la continuación de este capítulo. No obstante, habrá que tener siempre presente el hecho de que aunque aquí se va a hacer una descripción por separado de cada una de ellas, en numerosas ocasiones se encontrará que el desarrollo de una determinada actividad implica, en un momento dado, el tener que efectuar alguna/s otra/s.

La tipología de tareas que se considerarán en este punto son las siguientes<sup>2</sup>: control; instrucción; supervisión; planificación; pronóstico y predicción; diagnosis, depuración y reparación; diseño; interpretación. Seguidamente se hará una breve descripción de los rasgos y características fundamentales que exhiben los sistemas expertos cuando ejecutan cada una de ellas.

### 5.3.1 Sistemas expertos de control.

Por lo general los ordenadores son una herramienta de trabajo que está siendo utilizada con bastante profusión en el sector industrial y en otros ámbitos. Si se centra la atención en el primer contexto, suelen constituirse como aplicaciones típicas de dicho sector todas aquellas que se desarrollan en instalaciones correspondientes a centrales eléctricas, centrales nucleares, plantas de producción diversas, plantas de ensamblaje de componentes para elementos varios, etc. En ellas las computadoras realizan tareas de muy diversa

---

<sup>2</sup> El esquema de clasificación recogido corresponde al ya clásico utilizado por un gran número de autores y que fue aplicado inicialmente por Hayes-Roth, Waterman y Lenat en su obra: F. Hayes-Roth y otros (eds.), *Building Expert ...*, op. cit., pp. 13-16.

índole destacando, entre todas, una orientada al control de procesos o sistemas. Para poder desarrollar adecuadamente este tipo de labor resulta casi siempre obligado el considerar, al mismo tiempo, un gran número de factores, indicaciones y datos. Haciendo una descripción somera del contenido de esta tarea se puede afirmar que, básicamente, consiste en la recepción de una serie de inputs (parámetros) provenientes de instrumentos como sensores, contadores y en ocasiones también de otros programas, que son cotejados por el programa principal (director) para detectar las posibles alteraciones no esperadas de los valores recibidos o de la disposición misma de éstos. Una vez que se detecta cualquier anomalía se pasa a una segunda fase en la que el programa de control, si está facultado para ello, intentará determinar las acciones pertinentes para corregir las posibles disfunciones o, si no resulta ser así, transmitirá la información recibida a otro núcleo del sistema el cual se encarga de procesarla y dictaminar las medidas correctoras oportunas. Citar, por último, algunas de las subtareas que envuelve la referida actividad de monitorización y control de procesos. Estas son: medición, planificación, análisis de modelos, interpretación y prospección.

Muchos sistemas de control que funcionan hoy en día utilizan programas que incorporan algoritmos para efectuar su labor. Por contra, los sistemas expertos se podrían utilizar en aquellos casos en los que no se dispusiese de una solución convencional para aplicar o, si se dispone de ella, ésta no se adapta bien al problema surgido. Los sistemas expertos pueden aportar inteligencia al desempeño de la labor de control de procesos y sistemas. En la base de conocimiento del programa se puede incluir la información requerida para concretar líneas de acción a desarrollar ante situaciones diversas que se asocian a los datos provenientes de los dispositivos de control.

Muy en relación con este tema del control de procesos se encuentra una cuestión de suma importancia. La misma tiene que ver con el tiempo que transcurre entre la recepción de los datos (inputs), por parte del programa, y la disponibilidad de los resultados o de las acciones a emprender (outputs) que el mismo elabora y aporta. Existen en la realidad determinados procesos donde se exigen respuestas inmediatas a circunstancias concretas que se presentan o bien se pueden admitir tiempos de respuesta relativamente cortos. Para estos casos son los denominados programas "en tiempo real" los idóneos para ser aplicados dado que permiten generar respuestas rápidas a las peticiones hechas, ejecutando además, las necesarias operaciones de resolución casi de forma inmediata. Mediante ellos se permite realizar un seguimiento constante de los procesos que posibilita la corrección inmediata de cualquier desviación producida en los mismos.

No ocurre igual con otros muchos programas de control que operan en el momento presente, donde es fácil comprobar como se producen retrasos estimables entre la admisión de los inputs y la determinación de las pautas de

comportamiento que los sistemas deberán exhibir tras ello. Se trata, en este caso, de los denominados programas en tiempo diferido. No está aconsejada su utilización en aquellos entornos en los que se producen cambios rápidos y continuos en el estado de éstos.

Para finalizar con este punto, citar un ejemplo de esta modalidad de programas de control. El caso de PICON (Process Intelligent Control), el cual fue diseñado para trabajar en una importante empresa petrolífera.

En los últimos años se ha empezado a investigar ya sobre programas que deberán predecir el futuro y anticiparse al surgimiento de determinados problemas mediante un análisis exhaustivo del estado actual en el que el sistema se encuentre en un momento dado. Este esquema de actuación se ajusta al contenido de una máxima en la que se encierra una idea clara y precisa: la mejor forma de superar un problema es evitar que éste aparezca.

### **5.3.2 Sistemas expertos de formación.**

Aunque en la actualidad hay muchos de sistemas de formación asistida por ordenador (computer-based training) que apoyan el desarrollo de multitud de cursos de capacitación, no es frecuente que en el diseño de aquellos se tome como base operativa el contenido de un sistema experto.

Una característica, común a muchos de los programas convencionales que hasta el momento han sido creados para tales propósitos, es lo rígido que ha resultado ser tanto su contenido como la secuencia en la que se desarrollan las sesiones de entrenamiento que los integran. Hace algunos años que se inició el desarrollo de este tipo de programas para apoyar el aprendizaje de las personas en el desempeño de tareas muy específicas. Dichos programas evaluaban las contestaciones del alumno ofreciendo siempre una misma respuesta ante el mismo error cometido por éste. Sin embargo, y si se toma como base la propia realidad, ésto no siempre resulta ser correcto dado lo diferentes que pueden llegar a ser las causas que motivan un mismo comportamiento en una persona, organismo o proceso. Es por ello que el contenido de la base de conocimiento que incorpora un sistema experto puede ser una fuente de "how-know" a emplear en el adiestramiento de personas u otros entes, permitiendo así la consolidación de lo que hoy en día se ha empezado a denominar ya como enseñanza inteligente asistida por ordenador.

Un sistema experto que se ajuste a las características anteriormente indicadas procederá, en primer lugar y mediante el sometimiento del alumno a diversas pruebas, a una evaluación del nivel de conocimiento y la capacidad intelectual que este posee. Así estará en disposición de poder detectar tanto las posibles lagunas de conocimiento que el individuo padezca como los conceptos e ideas equivocados que éste haya asimilado con anterioridad. Con todo ello, se posibilitará un diseño conveniente del contenido de cada una de las sesiones de entrenamiento a las que el alumno en cuestión se verá sometido.

Se han construido diferentes programas, con aplicación en diversas áreas, alcanzando la mayoría de ellos sólo el nivel de prototipo. Casi todos incorporan en su estructura varios componentes como son el módulo de conocimiento del dominio, el módulo de conocimiento operativo, un modelo de comportamiento o de la conducta del alumno y, por último, lo que se podría denominar como sistema tutor. Se puede citar como ejemplo representativo de este tipo de programas el caso de SOPHIE. Este sistema experto fue creado por la compañía Bolt, Beranek & Newman y se diseñó para ejercitar a los alumnos en la detección y reparación de averías surgidas en circuitos eléctricos.

### 5.3.3 Sistemas expertos para diagnosis, depuración y reparación.

Este conglomerado de actividades también es otro caso donde resulta especialmente adecuado el uso de sistemas expertos. Se han desarrollado programas que incorporan la ejecución de ambas tareas y otros que sólo posibilitan el desarrollo de una de ellas.

La forma en que estos programas trabajan es relativamente simple. En un principio, el sistema recibe los datos correspondientes al estado en el que se encuentra un determinado equipo, mecanismo o individuo. Más tarde, será el componente inferencial el que recorra la base de conocimiento del programa para determinar si, en base a los síntomas recibidos y procesados, se está ante un caso de mal funcionamiento o, por contra, esto no sucede así. Suponiendo que el programa determina que se da la primera posibilidad, en una segunda fase y tras haber concretado ante qué tipo de disfunción nos encontramos, se deberán apuntar (prescribir) una serie de acciones a desarrollar para corregir los problemas o deficiencias que hayan sido detectados. Finalmente, como tercer paso, se elaborará y ejecutará un plan cuyo objetivo es poner remedio a las deficiencias detectadas previamente.

En realidad, en este tipo de sistemas aparecen conjugadas, en algunas ocasiones, toda una serie de capacidades ya reseñadas como son las de planificación, control, interpretación, etc.

Es fácil constatar cómo en actividades que tienen que ver con el diagnóstico y la reparación de grandes equipos electrónicos o informáticos, los sistemas expertos encuentran un campo de aplicación sumamente interesante y fructífero. A cualquier persona experta, mediante la utilización de técnicas convencionales, le costaría posiblemente mucho tiempo y esfuerzo el localizar una avería que se produjese en el cableado de una central telefónica digitalizada. Sin embargo, para el sistema ACE (Automated Cable Expertise), que fue creado en los laboratorios de la compañía Bell, ésto constituiría una tarea factible de realizar. El programa inicia su actuación analizando todos los datos correspondientes a informes de mantenimiento y reparaciones que se le suministran. Con posterioridad, y tras haber procesado toda la información,

determina cuáles serán las acciones de conservación o reparación que deberán aplicarse en la red para su puesta a punto.

Otro campo donde esta modalidad de programas ha alcanzado un nivel importante de aplicabilidad es la medicina. Programas como ABEL, AI/COAG, PUFF, MYCIN, CADUCEOUS, AI/RHEUM y otros tantos son una buena prueba de ello.

#### **5.3.4 Sistemas expertos para supervisión.**

El objetivo fundamental de este tipo de programas se concreta en la realización de un seguimiento y un estudio continuado del comportamiento de un determinado sistema, a lo largo del tiempo, para poner de manifiesto las posibles desviaciones que su funcionamiento interno puede experimentar y que provocan, a la vez, comportamientos externos inadecuados del mismo. Las disfunciones que un programa de estas características puede detectar tienen que ver, por un lado, con el no cumplimiento de determinadas condiciones de base, prefijadas de antemano, para el funcionamiento de un sistema, lo cual comportaría el que el mismo mostrase una conducta totalmente impropia e incoherente. Por otro, se encuentran aquellos conflictos surgidos en el seno interno del sistema como consecuencia de la no consideración de determinadas restricciones a la hora de plantear la ejecución de algunas de las fases que constituyen el plan de trabajo prefijado para éste.

La monitorización, término con el que también se suele denominar esta actividad, es una tarea que puede resultar muy apropiada para que sea ejecutada por un sistema experto. En la actualidad una mayoría de procesos industriales muestran cada vez un mayor grado de complejidad tanto en la estructuración que reciben como en el propio funcionamiento de cada uno. Esto, añadido a la dificultad intrínseca que incorporan la mayoría de actividades que son propias de tales procesos, hace que cada vez se exija más a las tecnologías que se aplican en razón de los tiempos de respuesta que se brindan a los problemas planteados y, también, en función de la cantidad de conocimiento que se debe manejar y procesar en ellos. Las ingentes cantidades de datos, parámetros e información de todo tipo que es necesario manejar para poder resolver cualquier problema dentro de este ámbito superan ya, con mucho, las posibilidades ofrecidas por el elemento operativo tradicional que hasta hace poco tiempo ha resultado ser el operador humano.

Una de las aplicaciones aparecidas en la realidad y que servirá aquí para ilustrar el tipo de actividad que estos programas pueden desarrollar es REACTOR. El mismo, monitoriza la lectura de los instrumentos de control de un reactor nuclear e intenta detectar, a través de ello, comportamientos inadecuados en algunos de sus componentes que comporten riesgo de accidente nuclear. Fue desarrollado por la compañía EG & G Idaho, alcanzando sólo el status de prototipo de investigación.

### 5.3.5 Sistemas expertos de planificación.

Por lo general, cuando de lo que se trata es de alcanzar una serie de objetivos que requieren para ello la ejecución de un conjunto de acciones, más o menos complejas, es aconsejable siempre disponer éstas de forma adecuada para poder cumplir con todos los que hayan sido fijados. Pues bien, a esta secuenciación racional de las distintas actividades que hay que desarrollar hasta poder alcanzar un determinado logro se le denomina planificación.

Cualquier persona, posiblemente, puede diseñar un plan de actuación tendente a alcanzar un objetivo concreto con cierto grado de accesibilidad. Para ello deberá tener en cuenta todos los hechos, datos, decisiones e información de todo tipo que se relacionan con aquél. Pero los problemas empiezan a surgir cuando el nivel de dificultad que entraña la consecución del objetivo crece cada vez más debido a que es necesario manejar, casi de forma simultánea, un número importante de personas, recursos, acciones, decisiones, etc. Resultará mucho más difícil para una persona, en estas otras circunstancias, decidir cuáles serán los pasos a dar y las decisiones a tomar en cada caso.

Surgen así los ordenadores, y más concretamente los sistemas expertos de planificación, como alternativa clara para superar de forma conveniente estas situaciones de mayor dificultad. Con ellos es posible diseñar planes de actuación correspondientes a proyectos de desarrollo de gran escala en los que se encuentran implicadas numerosas secuencias de acciones que incorporan distinto grado de complejidad.

Como último comentario que pone punto final a este apartado, indicar que existen diversas modalidades de sistemas expertos de planificación. Algunos de los que se pueden citar como ejemplos representativos son PTRANS (desarrolla planes para configurar complejos sistemas de ordenador), TATR (planea ataques aéreos contra instalaciones aeronáuticas del enemigo) o ISIS (elabora planes de producción en planta y planifica la ejecución de determinadas tareas).

### 5.3.6 Sistemas expertos de diseño.

Contando con los recursos necesarios, y a partir de la implantación de una serie de especificaciones, requisitos y objetivos claros, es posible concebir y desarrollar la composición de cualquier objeto, estructura o procedimiento existente en la realidad. Aunque resulta evidente que el diseño es un proceso esencialmente creativo, sin embargo gran parte de su ejecución se fundamenta en la aplicación de un conjunto de procedimientos y normas más o menos estandarizados. Por este motivo es por el que un sistema experto se puede presentar como una herramienta muy valiosa a la hora de desempeñar tal actividad.

Los sistemas orientados al diseño pueden componer descripciones variadas de objetos y procedimientos para, con posterioridad, verificar si tales configuraciones se ajustan al cumplimiento de todas las especificaciones y restricciones planteadas al inicio del proceso. Últimamente se han desarrollado nuevas técnicas, de carácter interactivo, que facilitan aún más esta labor creativa.

En el momento presente no son todavía muy numerosos los programas de diseño asistido por ordenador (CAD) que se están aplicando asiduamente. Algunos de ellos trabajan en áreas tan dispares como la biología molecular, la microelectrónica, la arquitectura, la hidrología, la informática y algunas otras. Precisamente un ejemplo de desarrollo en el último campo de aplicación citado es XCON (expert configurer for computer systems). Este programa presta apoyo en la configuración de los distintos modelos de sistemas informáticos que ofrece la compañía VAX. Partiendo del pedido inicial del cliente que ya ha sido evaluado por los técnicos, XCON determina cuáles serán los componentes que deberán ser incorporados o eliminados del sistema que éstos han configurado, efectuando, además, una distribución espacial de los mismos y estableciendo el tipo de relación que existirá entre todos ellos. Esta creación fue fruto de la colaboración en la investigación que efectuaron el grupo de Inteligencia Artificial de la Universidad Carnegie-Mellon y la compañía Digital Equipment Corporation (DEC), pudiéndose decir, sin miedo a errar, que se trata de uno de los sistemas expertos que mayor éxito ha tenido en su aplicación comercial.

### 5.3.7 Sistemas expertos de pronóstico y predicción.

En este tipo de sistemas se emplean, por lo general, modelos paramétricos de carácter dinámico. Centrando la atención en el caso de un sistema en particular, se puede observar como el punto de partida del proceso lo suele constituir una secuencia de datos e información que describen una determinada situación. Ésta conformaría el estado inicial en el que el modelo se encuentra. En una segunda fase se procedería a aplicar, sobre ese estado inicial, el conocimiento del que dispone el programa para poder así inferir comportamientos futuros que se contemplarían siempre en un conjunto variado de posibles escenarios<sup>3</sup>. En la referida base el programa suele tener almacenada información sobre cuáles pueden ser las tendencias evolutivas de las variables más significativas que condicionan el comportamiento del modelo, además de la evolución histórica del mismo y de sus patrones cíclicos más significativos.

Por el momento se encuentran muy limitadas las posibilidades para implantar este tipo de aplicaciones en la realidad. Sistemas para realizar pre-

---

<sup>3</sup> Téngase en cuenta que si se prescinde de alguna de las estimaciones probabilísticas que suelen acompañar a muchas de estas predicciones, el número de casos que se podrán contemplar como posibles aumentará de forma notable, aunque eso sí, con un nivel de confianza bajo en bastantes de ellos.

dicciones meteorológicas, de evolución demográfica, de daños producidos en las cosechas por determinadas plagas o enfermedades de las plantas (programas como el PLANT/cd o el PLANT/ds), de evolución de un flujo de vehículos o de evolución de determinados valores en bolsa, son una buena muestra, aunque también reducida, de todo ello.

Indicar, por último, que algunos de estos programas, aparte de predecir cuál puede ser la evolución seguida por un modelo, suelen llevar además incorporado lo que se denomina como módulo de planificación de actuaciones, el cual permite que se puedan proponer líneas de actuación futuras en base a la información que se ha derivado del análisis efectuado inicialmente para proyectar la evolución futura de aquél.

### **5.3.8 Sistemas expertos de interpretación.**

Los sistemas expertos están capacitados para realizar una interesante labor de interpretación a partir de la recepción de todo tipo de información primaria y de datos de naturaleza diversa (cuantitativos, cualitativos, visuales, etc.) que son obtenidos a través de múltiples canales. Una vez finalizada esta etapa, será otro componente del programa, el encargado de realizar las inferencias, el que intente completar dicha labor interpretativa para obtener así un significado más claro de los signos percibidos y poder alcanzar, además, unas conclusiones válidas que sirvan para justificar el estado en el que se encuentra el ente o sistema del cual procedía toda la información.

Ya quedó dicho en un apartado previo que los sistemas expertos son programas capaces de procesar y analizar un flujo importante de información y de datos. Estos programas, además, pueden efectuar un detallado análisis de ésta y posibilitar así la comprensión de la situación en la que se encuentra un sistema en un instante concreto. Por contra, y ocurre con bastante frecuencia, suelen plantearse problemas casi irresolubles en aquellos casos en los que una o varias personas son las encargadas de procesar gran cantidad de información y de parámetros que guardan una estrecha relación con la resolución de un problema concreto.

Un programa que realiza una labor de interpretación como la aquí descrita es SPE. El mismo fue creado por la Universidad de Rutgers con el objetivo de que ayudase a distinguir entre varias causas que provocan procesos inflamatorios en un paciente. Para ello, el programa realizaba un análisis interpretativo de los datos que bajo la forma de ondas genera un scanner cuya función principal es el cálculo de densidades (scanning densiometer). Otros ámbitos de aplicación de esta modalidad de programas suelen ser el análisis de imágenes, la comprensión del habla, la planificación financiera, etc.

## 5.4 SEGÚN EL ÁMBITO DE APLICACIÓN.

Como último esquema a considerar en la elaboración de una clasificación para las distintas variedades existentes de sistemas expertos, se ha elegido aquél que tiene en cuenta el área donde tales programas han sido utilizados hasta ahora. Desde un primer momento queda admitida la posibilidad de que se puedan establecer otras categorías, distintas a las aquí consideradas, así como la enumeración de otras aplicaciones diferentes a las que en este trabajo se van a relacionar. Esto último no debe resultar en absoluto extraño si se considera el número de sistemas expertos que en los últimos años han aparecido, bien bajo la fórmula de simples prototipos de investigación o bien como versiones comerciales definitivas. Ha sido bastante amplia la variedad de desarrollos surgidos bajo esta denominación y todo parece indicar que, por muy diversas razones, la Inteligencia Artificial en general y los sistemas expertos en particular tendrán una importancia decisiva en actividades que se relacionan con el comercio, la industria o la ciencia. No obstante, no parece posible que se pueda continuar con el ritmo actual en el desarrollo de nuevas aplicaciones. Más bien es de esperar en un futuro próximo que los equipos de trabajo orienten su labor hacia el perfeccionamiento y la actualización de programas aparecidos previamente.

La idea para este último apartado es presentar diversos cuadros donde aparezcan recogidas las distintas categorías genéricas en las que los diferentes programas pueden ser incluidos, así como los empleos que de una forma efectiva se han hecho de cada uno de ellos. A pesar de no aparecer en la literatura que analiza esta cuestión un modelo homogéneo para establecer tal catalogación, aquí se ha considerado oportuno asignarle la máxima relevancia a los siguientes apartados<sup>4</sup>: Gestión y Administración (cuadro 5.1), Ciencia e Ingeniería (cuadro 5.2), Industria (cuadro 5.3.), Finanzas y Legislación (cuadro 5.4), Aplicaciones Militares y Espaciales (cuadro 5.5), Sistema de Diagnóstico (cuadro 5.6), Aplicaciones en Medicina (cuadro 5.7) y Aplicaciones en la Empresa Agrícola.

---

<sup>4</sup> Las expresiones que aparecen entre paréntesis en algunas de las modalidades de aplicación corresponden a los nombres de sistemas expertos incluidos como ejemplo de las ejecuciones realizadas en cada apartado.

## 5.4.1 Gestión y administración.

Cuadro 5.1

GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN	
*	Diseño de configuración de equipos.
*	Documentación y gestión de archivos.
*	Asignación de claves de seguridad a documentos (CLASS).
*	Gestión y preparación de documentos (SYSAN).
*	Estimación del valor de los datos recibidos en un proceso (DATA CLASSIFIER).
*	Planes de seguridad de planta.
*	Técnicas para automatización de oficinas.
*	Ayuda en el diseño de proyectos para adquisición de equipo capital (CAPITAL EXPERT SYSTEMS).
*	Asignación y gestión de personal (PERSONNEL MANAGEMENT) (MYRIAM) (ULISIS).
*	Apoyo a la gestión comercial de la empresa (XSEL).
*	Apoyo a la distribución óptima de productos (ILOG).
*	Asesoramiento en cuestiones legales.
*	Gestión de pedidos.
*	Análisis de mercados.
*	Propuesta y elaboración de ofertas.
*	Prestación de servicio a clientes.
*	Configuración de grandes pedidos en el ámbito de la informática (CONAC) (XCON) (IMACS).
*	Ayuda a la optimización en el almacenamiento de productos.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.4.2 Ciencia e ingeniería.

Cuadro 5.2

CIENCIA E INGENIERÍA
* Diseño óptico.
* Diseño de chips y circuitos a muy alta escala (VLSI) (DAA) (PALLADIO) (DFT).
* Diseño de puentes (AASHTO) (BDES).
* Diseño de pavimentos (FLODER).
* Ayuda en ingeniería de estructuras físicas (SACON).
* Análisis e interpretación de imágenes (GEOX).
* Ayuda a la enseñanza de materias diversas (SOPHIE) (DEBUGGY) (CADHELP) (WUMPUS) (GUIDON).
* Ayuda al diseño de plantas y estaciones para generación de energía.
* Análisis y asignación de reservas de hotel (MAN-RPM).
* Análisis de contaminación del agua (QUALZE ADVISOR) (SEPIC).
* Planificación del tráfico aéreo (AIRPLAN).
* Apoyo para la planificación y el control de tráfico en ciudad (HERCULES) (PETRUS).
* Ayuda a la configuración de cargamentos en aeronaves (AALPS).
* Ayuda a la configuración de cargamentos en barcos (CONTAINER SHIP PLANNING) (POL).
* Resolución de problemas de recursos hidráulicos (HIDRO) (EXSRM).
* Planificación de riegos en plantaciones de cacahuets (PEANUT/PEST).
* Identificación de equipos para plantación (PLANTING).
* Selección de materiales (METALS ANALYST).
* Diagnósis de enfermedades de piedras (UPIERROT).
* Diseño de estaciones espaciales.

Cuadro 5.2 (Continuación).

CIENCIA E INGENIERÍA
* Ayuda a la planificación de misiones espaciales.
* Ayuda al diseño de elementos mecánicos, metálicos y plásticos (GARI).
* Ayuda al control de procesos químicos (FALCON).
* Ayuda a la programación y control de robots.
* Selección de robots para procesos industriales (ROBOTEX).
* Síntesis de componentes químicos (LHASA) (SECS) (SYCHEM).
* Estudio cristalográfico de proteínas (CRYSSALIS).
* Análisis de estructuras moleculares (DENDRAL) (CONGEN).
* Apoyo al diseño de carreteras y autopistas (FOREST ROAD DESIGN).
* Control y gestión de vías de comunicación.
* Ayuda en el diseño de interfaces para instrumentos científicos.
* Explotación de bases de datos (FRED) (MINET).
* Análisis de datos sismográficos (WAVES).
* Evaluación de prospecciones geológicas (PROSPECTOR).
* Resolución de problemas matemáticos (MACSYMA) (SMP).
* Creador de sistemas experto (AGE).
* Realización de análisis estadísticos (REX).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

### 5.4.3 Industria.

Cuadro 5.3

INDUSTRIA
* Automatización de fábricas (IMS).
* Ayuda al diseño, la planificación y el control de la producción (IMACS) (ISIS) (ISA) (IMPACT) (OPGEN) (FMS).
* Gestión de proyectos (IPMS) (CALLISTO).
* Planificación a largo plazo (ILRPS).
* Preparación y gestión de instalaciones (XSITE).
* Detección de errores en procesos (SPEAR) (PICON).
* Diseño de herramientas e instrumentos.
* Ayuda a la gestión de la innovación.
* Diseño de nuevos productos (CRITTER).
* Sistemas de producción asistida por ordenador.
* Ayuda a la planificación de actuaciones en situaciones emergencia.
* Análisis y control de calidad (EXPERT PROBE) (CONTRACTOR QUALITY CONTROL).
* Diseño, planificación y evaluación de instalaciones industriales (LOW-RISE).
* Inspección de instalaciones (DRILLING ADVISOR).
* Manejo de materiales y compuestos peligrosos (SOURCE ROCK ADVISOR) (PROSPECTOR).
* Mantenimiento de equipos productivos.
* Asistencia en la configuración del cableado en ordenadores (CABLING CONFIGURATION).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

## 5.4.4 Finanzas y legislación.

Cuadro 5.4

FINANZAS Y LEGISLACIÓN
* Ayuda a la gestión de créditos (LENDING ADVISOR) (AUTHORIZER'S ASSISTANT) (LOAN APPROVAL ADVISER).
* Gestión de hipotecas y deudas (CORPTAX).
* Ayuda a la planificación financiera (CORPORATE FINANCIAL ADVISOR) (INGOT).
* Ayuda a la planificación financiera a largo plazo (ROME).
* Gestión de cartera (K:BASE).
* Planificación de la compra y venta de valores en bolsa (K:BASE).
* Ayuda a la realización de auditorías en corporaciones.
* Diseño de estrategias fiscales (TAXADVISOR) (EXPERTAX).
* Planificación y periodificación de impagados (AUDITOR).
* Análisis de riesgos y tasación de seguros (UNDERWRITING ADVISOR) (RISK ASSESSMENT).
* Análisis de letras de crédito (LETTER OF CREDIT ADVISOR).
* Estimaciones sobre evolución de tipos de interés.
* Determinación de la política de suscripción de seguros (MORTGAGE ADVICE).
* Asistencia a la planificación de inversiones (PLANPOWER).
* Regulación de convenios internacionales.
* Concesión de tarjetas de crédito.
* Apoyo en cuestiones legales relacionadas con comercio internacional (CAN AM TREATY).
* Previsión de las fluctuaciones del mercado de divisas (PANISSE).
* Revisión de licencias gubernamentales.
* Asistencia en la evaluación de daños.
* Análisis de regulaciones legales.
* Apoyo a la toma de decisiones en cuestiones legales que tienen que ver con el uso de productos industriales (LDS).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

### 5.4.5 Aplicaciones militares y espaciales.

Cuadro 5.5

APLICACIONES MILITARES Y ESPACIALES
* Análisis de imágenes.
* Control de la seguridad sobre el acceso a documentos.
* Identificación de señales de radar, infrarrojos o sonar (ASTA) (HASP/SIAP) (SUX).
* Identificación de tipos de barcos mediante el análisis de señales de radar (RTC).
* Análisis de señales de radio (HANNIBAL).
* Guerra electrónica.
* Planificación de misiones de combate.
* Planificación de objetivos tácticos aéreos (TATR) (KNOBS).
* Planificación estratégica (FRESH).
* Diseño y estudio de mapas (CHART AND MAP EXPERT SYSTEM).
* Identificación de misiones.
* Localización de armamento.
* Análisis inteligente de datos (ADEPT).
* Control de carga de combustibles.
* Respuesta a emergencias.
* Simulación de combates.
* Control de posicionamiento de satélites.
* Simulación de hábitat de estaciones espaciales.
* Estrategias en conversaciones de desarme (POLITICS).
* Control de vuelos aeroespaciales (NAVEX).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

### 5.4.6 Sistemas de diagnósticos.

Cuadro 5.6

SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO
* Análisis y diagnóstico de corrosiones (CORPS) (SCCES).
* Análisis y diagnóstico de vibraciones (ROTATING EQUIPMENT DIAGNOSTIC) (TURBOMAT).
* Diagnóstico de averías en conducciones de combustible (oleoductos, canales, etc.).
* Diagnóstico de averías de cables y equipos telefónicos (ACE) (IDEA) (EXSYS).
* Mantenimiento de locomotoras eléctricas de General Electric (DELTA) (CATS-1).
* Diagnóstico de averías en equipos informáticos (DART) (IDT) (FAULTFINDER) (COMPASS).
* Procesamiento de materiales.
* Diagnóstico de averías en vehículos de motor.
* Diagnóstico para detección de defectos en soldaduras.
* Diagnóstico de averías en plantas de generación de energía (REACTOR).
* Diagnóstico de averías en sistemas de aire acondicionado (MENTOR).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

### 5.4.7 Aplicaciones en medicina.

Cuadro 5.7

APLICACIONES EN MEDICINA
* Instrucción y entrenamiento de personal (GUIDON) (NEOMYCIN) (JULIE).
* Diagnóstico y tratamiento de glaucomas (CASNET).
* Medicina interna (INTERNIST) (CADUCEUS).
* Supervisión de unidades de cuidados intensivos (VM).
* Selección de antibióticos y psicofármacos (HEADMED).
* Administración y supervisión de tratamientos a pacientes (ONCOCIN).
* Análisis y tratamiento psicológico/psiquiátrico (DIAGNOSTICS).
* Diagnóstico del vértigo (KMS.HT).
* Interfaces para información médica.
* Realización de análisis de sangre.
* Análisis del DNA y RNA (MOLGEN) (GENESIS) (MICRO) (GENIE).
* Análisis de las contraindicaciones en medicamentos.
* Prescripción de antibióticos (ANTICIPATOR).
* Ayuda a la determinación de problemas pulmonares, neurológicos, de sangre y de corazón.
* Tratamientos quimioterápicos.
* Diagnóstico de enfermedades diversas (MYCIN) (MEDIKS).
* Diagnóstico en neurología (GAITSPERT).
* Control de un riñón artificial (REINANT).
* Diagnosis de la hemostasis (HEMOCAD).

Fuente: Elaboración propia a partir de publicaciones diversas.

#### 5.4.8 Aplicaciones en la empresa agrícola.

La revisión de los trabajos desarrollados en este contexto no va a ser exhaustiva<sup>5</sup>. El objeto de la misma se centra sólo en el interés que tiene el disponer, en este momento, de un marco de referencia sobre las aplicaciones que han sido desarrolladas en las diversas áreas de trabajo. Así, se pueden reseñar en primer lugar algunas investigaciones genéricas como las efectuadas por Webster<sup>6</sup>, Gaultney<sup>7</sup>, Jones<sup>8</sup>, Colomb<sup>9</sup>, Doluschitz<sup>10</sup>, Holt<sup>11</sup> y Whittaker<sup>12</sup> donde se analiza la potencialidad de aplicación de este tipo de técnicas en el ámbito de la agricultura y la empresa agraria. Además de esto, existen al menos cuatro campos específicos donde se han realizado intentos de aplicación de los sistemas expertos. Estos son los de producción animal, producción vegetal, ingeniería e industrias agrícolas y economía agraria.

##### 5.4.8.1 Producción Animal.

En este apartado, algunos de los trabajos e investigaciones más relevantes a destacar son los siguientes: Vranken<sup>13</sup> con un programa aplicado al control de la ventilación de granjas de porcino, Garnerin & Tuffery<sup>14</sup> con su sistema para apoyar la gestión de granjas piscícolas, Lebret<sup>15</sup> en sanidad

<sup>5</sup> Para realizar una consulta más detallada acerca de las investigaciones que se han efectuado en este campo se puede disponer de la obra:

Junta de Andalucía, *Perspectivas de los Sistemas Expertos en la Agricultura*, en J. Berbel Vecino (Coord.) (1993), *Informaciones Técnicas 16/92*, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.

<sup>6</sup> J. P. G. Webster y J. J. Amos (1987), *Expert Systems for agricultural management*, *Farm Management*, vol. 6, nº 7, pp. 335-346.

<sup>7</sup> L. D. Gaultney (1985), *The potencial for expert systems in agricultural systems management*, *American Society of Agricultural Engineers*, paper nº 85-5033.

<sup>8</sup> J. W. Jones (1985), *Using Expert Systems in Agricultural Models*, *Agricultural Engineering*, vol. 66, nº 7, pp. 3-21.

<sup>9</sup> D. J. Pannell (1988), *The Place of Expert Systems in Agricultural Economics: A comment*, *Review of Marketing and Agricultural Economics*, vol. 56, nº 2, pp. 206-209.

<sup>10</sup> R. Doluschitz y W. E. Schmisser (1988), *Expert Systems: applications to agriculture and farm management*, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 2, nº 3, pp. 173-182.

<sup>11</sup> D. A. Holt, *The growing potential of expert systems in agriculture*, en J. R. Barrett y D. D. Jones (eds.) (1989), *Knowledge engineering in agriculture*, *American society of Agricultural Engineers*, pp. 1-11.

<sup>12</sup> A. D. Whittaker y R. H. Thieme (1989), *Integration of Expert Systems and Conventional Problem Solving Techniques in Agriculture*, *AI applications in natural resource management*, vol. 3, nº 1, pp. 49-52.

<sup>13</sup> E. Vranken y otros (1988), *Decision-making in pig keeping*. Knowledge based systems in Agriculture. Prospects for application, en *Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology*, Frankfurt (GFR), June.

<sup>14</sup> P. Garnerin y G. Tuffery (1988), *Schubert 3000: A interactive system to aid production and health management of fish farms*, en *Proceedings of the first International Workshop "Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries"*, Caen (France), 29-30 September.

<sup>15</sup> P. Lebret y otros (1988), *Mammitron: an expert system for the diagnosis of udder diseases*, en

animal, Pomar & Reixach<sup>16</sup> cuya aplicación se centra en el análisis y diagnóstico técnico de explotaciones intensivas de porcino, Wauters<sup>17</sup> y su aplicación para controlar el clima en establos y, por último, el sistema desarrollado por Wain<sup>18</sup> que asesora sobre la conveniencia de mantener o vender los corderos de una explotación ganadera.

#### 5.4.8.2 Producción Vegetal.

Son diversos los trabajos que han aparecido en este subcampo. Se pueden mencionar los de Arrivo<sup>19</sup> sobre mecanización de la agricultura, Plant<sup>20</sup> con un sistema modular para analizar el comportamiento agronómico del algodón y el diagnóstico y tratamiento de determinadas plagas, Fynn<sup>21</sup> con una aplicación que gestiona el riego por goteo de una explotación, Hearn<sup>22</sup> y su simulador del cultivo del algodón y del comportamiento de la plaga *Heliothis*, Beck<sup>23</sup> con un programa para protección de la soja contra plagas, D'Amore<sup>24</sup> que diseñó un programa para diagnóstico de enfermedades de plantas hortícolas, Evans<sup>25</sup> que desarrolla un sistema para recomendación del abonado en una explotación, Halterman<sup>26</sup> que creó un sistema para gestión de un

---

(continuación de nota 15)

Proceedings of the first International Workshop "Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries", Caen (France), 29-30 September.

- <sup>16</sup> J. Pomar Goma y J. Reixach Sadurni (1991), Sistema experto aplicado al diagnóstico de problemas técnicos en explotaciones porcinas en base a los resultados de la gestión técnica, en **Proceedings of the 1st International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 Abril, pp. 87-94.
- <sup>17</sup> S. Wauters (1989), *The use of expert systems as a different approach to the control of the climate in animal houses*, en **Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering**, Dublin (Ireland), 4-8 September, pp. 1429-1432.
- <sup>18</sup> N. Wain y otros (1988), *A rule-based inference system for animal production management*, **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 2, pp. 277-300.
- <sup>19</sup> A. Arrivo y otros (1989), *Preliminary study of an expert system for optimizing farm machinery*, en **Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering**, Dublin (Ireland), 4-8 September, pp. 2587-2595.
- <sup>20</sup> R. E. Plant (1989), *An Integrated Expert Decision Support System for Agricultural Management*, **Agricultural Systems**, vol. 29, nº 11, pp. 49-66.
- <sup>21</sup> R. P. Fynn y otros (1989), *A decision model for nutrition management in controlled environment agriculture*, **Agricultural systems**, vol. 35, pp. 35-53.
- <sup>22</sup> A. B. Hearn (1987), *SIRATAC: A Decision Support System for Cotton Management*, **Review of Marketing and Agricultural Economics**, vol. 55, nº 2, pp. 170-173.
- <sup>23</sup> H. W. Beck y otros (1989), *SOYBUG: An Expert System for Soybean Insect Pest Management*, **Agricultural Systems**, vol. 30, nº 3, pp. 269-286.
- <sup>24</sup> A. D'Amore (1991), *HORTIDOC: Sistema Experto de Diagnóstico*, en **Proceedings of the 1st International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 Abril, pp. 131-133.
- <sup>25</sup> M. Evans y otros (1990), *Using Expert Systems to Generate Fertilizers Recommendations*, **AI Applications in Natural Research Management**, vol. 4, nº 2, pp. 3-10.
- <sup>26</sup> S. T. Halterman y otros (1988), *Double cropping expert system*, **Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers**, vol. 31, n. 1, pp. 234-239.

cultivo doble (trigo-soja), Batchelor<sup>27</sup> que diseñó un programa para el tratamiento de plagas en la soja y, finalmente, la empresa Prointec<sup>28</sup> que está diseñando el sistema modular "Agriexpertos" para asesoramiento del agricultor en relación con medios de producción como: herbicidas, fertilizantes, semillas, maquinaria agrícola, riego, etc.

#### 5.4.8.3 Ingeniería e Industrias Agrícolas.

En este apartado citar las investigaciones llevadas a cabo por Morrison<sup>29</sup> para la selección de maquinaria agrícola en función de las necesidades concretas de una explotación, Race<sup>30</sup> con un sistema para el procesamiento térmico de alimentos, Grenier<sup>31</sup> con un programa de control de la fermentación del vino, Malaureille<sup>32</sup> con un diseño que permite el control y diagnóstico de irregularidades en la elaboración de quesos, y Xicluna<sup>33</sup> que elaboró un programa para el control de equipos de embalajes plásticos.

#### 5.4.8.4 Economía Agraria.

Es quizá una de las áreas de aplicaciones que cuenta con un menor número de sistemas desarrollados hasta el momento. Así, se pueden mencionar los trabajos desarrollados por Bender<sup>34</sup> para apoyar la interpretación de modelos de programación lineal aplicados a la empresa agrícola, la de Ortigosa<sup>35</sup>

<sup>27</sup> W. D. Batchelor y R. W. McClendon (1989), *Evaluation of SMARTSOY: An Expert Simulation System for Insect Pest Management*, **Agricultural Systems**, vol. 31, nº 1, pp. 67-81.

<sup>28</sup> PROINTEC (1991), AGRIEXPERTOS: Sistemas Expertos de Inteligencia Artificial Aplicados a la agricultura, PROINTEC S.A., Madrid.

<sup>29</sup> J. E. Morrison (1988), *Computerized selection of planters and drills: an example of the use of "AI" in agriculture*, **Proceedings of the 11th International Conference of the International Soil and Tillage Research Organization**, Edinburgh (Escotland), July.

<sup>30</sup> P. R. Race y M. J. Povey (1989), *Cooksim: a knowledge-based system for the thermal processing of food*, en **Programme of the 2nd International Workshop on Artificial Intelligence Applications to the food Processing, Biotechnological, Chemical and Farmaceutical Industries**, Paris (France), October.

<sup>31</sup> P. Grenier y otros (1988), *Système expert d'aide à la vinification en blanc*, en **Programme of the 2nd International Workshop on Artificial Intelligence Applications to the food Processing, Biotechnological, Chemical and Farmaceutical Industries**, Paris (France), October.

<sup>32</sup> P. Malaureille y otros (1988), *Gruyex: an expert system to aid in the manufacturing process of Emmental cheese*, en **Proceedings of the first International Workshop "Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries"**, Caen (France), 29-30 September.

<sup>33</sup> M. Xicluna (1988), *Adjusting operating conditions of plastic packing machinery using expert systems*, en **Proceedings of the first International Workshop "Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries"**, Caen (France), 29-30 September

<sup>34</sup> D. A. Bender y otros (1985), *Expert System Interpreter for a Farm Management Linear Program*, **American society of Agricultural Engineers**, fiche nº 85-5518.

<sup>35</sup> C. Ortigosa Barea y otros (1991), *Sistema Experto de tramitación de subvenciones agrícolas*, en **Proceedings of the 1 International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 April.

con un sistema experto para tramitación de subvenciones agrarias comunitarias; Novoa<sup>36</sup> y su aplicación para el análisis de la eficiencia económica de explotaciones agrícolas, Bogges<sup>37</sup> y su programa para evaluación del estado financiero de una explotación agrícola, Taylor<sup>38</sup> que desarrolló un sistema para realizar evaluaciones económico-financieras de cooperativas agrarias, Uhring<sup>39</sup> para diseñar estrategias de comercialización de granos y Levallois<sup>40</sup> con un programa para realizar un análisis económico de empresas agrarias.

Indicar finalmente que fuera de estos cuatro apartados se han desarrollado también algunas aplicaciones que tienen relación con la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales. Ejemplos ilustrativos de las aplicaciones creadas en este área son los trabajos de Roquero<sup>41</sup> para la evaluación de las características físicas de los suelos en relación a las necesidades de riego, Heatwole<sup>42</sup> que desarrolló un sistema de apoyo a la planificación agroforestal de una zona con el objetivo de preservar el suelo, el sistema de Oliveira<sup>43</sup> para evaluación de recursos medioambientales y, por último, Meyer<sup>44</sup> que creó un prototipo para la evaluación de la erosión que produce el agua en el suelo de una determinada zona.

De la revisión bibliográfica presentada se desprende que, hasta ahora, las aplicaciones de los sistemas expertos en el contexto de la empresa agrícola se pueden resumir en dos grupos:

A) Como interfaz que facilita la interpretación de los resultados obtenidos con otro tipo de modelos, programación matemática por ejemplo.

---

<sup>36</sup> V. Novoa y B. Öhlmer (1988), *Analysis of Economic Efficiency for Farms*, en **Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology**, Frankfurt (GFR), June, pp. 166-175.

<sup>37</sup> W. G. Bogges y otros (1989), *FinARS: A financial analysis review expert system*, **Agricultural Systems**, vol. 31, pp. 19-34.

<sup>38</sup> H. Taylor y C. Rossignoli (1988), *Expert Systems for the evaluation of agricultural cooperatives*, en **Proceedings of the first International Workshop "Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries"**, Caen (France), 29-30 September.

<sup>39</sup> W. Uhring y otros (1988), *The selection of marketing alternatives for grain*, en **Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology**, Frankfurt (GFR), June.

<sup>40</sup> R. Levallois y P. Pellerin (1989), *Analyse des résultats technico-économiques d'une entreprise laitière par un système expert*, **Revue Canadienne d'Économie Rurale**, vol 37, pp. 681-694.

<sup>41</sup> A. Roquero García-Casal (1991), *Sistema Experto para evaluación de suelos*, en **Proceedings of the 1 International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 April, pp. 63-69.c

<sup>42</sup> C. D. Heatwole (1987), *Conservation planning using expert systems and geographic information systems*, **American society of Agricultural Engineers**, paper nº 87-5011.

<sup>43</sup> E. Oliveira (1982), *ORBI: An expert systems as a logic database*, en **Proceedings of the British Computer Society Expert Systems Group Technical Conference of the Theory and Practice of Knowledge Based Systems**, Brunel University, September, pp. 7-11.

<sup>44</sup> C. L. Meyer (1990), *Integrating expert systems with modern soil erosion prediction simulation*, **AI applications in natural resource management**, vol. 4, nº 2, pp. 126-132.

B) Aplicaciones muy específicas que requieren el manejo de relativamente poca información y con predominio de conocimiento técnico. Por ejemplo, la conveniencia o no de realizar un determinado tratamiento a un cultivo para controlar una plaga.

A priori, estas aplicaciones parecen ser una muestra excesivamente estrecha del potencial de aprovechamiento que los sistemas expertos pueden tener. Es por eso que futuros trabajos deberían centrarse en explorar dicho potencial en situaciones más genéricas y, en consecuencia, más útiles.



## BIBLIOGRAFÍA

---



- ADDIS, T.R. (1982), *Expert Systems an evolution in information retrieval*, **Information Technology: Research and Development**, No. 1.
- ADELSON, B. (1981), *Problem Solving and the Development of Abstract Categories in Programming Languages*, **Memory and Cognition**, vol. 9.
- ALTY, J. L. (1989), *Expert System Buildings Tools* en **Topics in Expert Systems Design**, G. GUIDA y C. TASSO (eds.), North Holland, Amsterdam.
- ALTY, J. L. y COOMBS, M. J. (1986), **Sistemas Expertos. Conceptos y Ejemplos**, Ed. Díaz de Santos S. A., Madrid.
- ANGULO, J. M. y DEL MORAL, A. (1986), **Inteligencia Artificial**, Ed. Paraninfo, Madrid.
- ANJEWIERDEN, A. (1987), *Knowledge acquisition tools*, **AI Communicatios**, vol. 1.
- ARRIVO, A. y otros (1989), *Preliminary study of an expert system for optimizing farm machinery*, en **Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering**, Dublin (Ireland), 4-8 September.
- AUBERT, J. P. y SCHOMBERG, R. (1986), **Inteligencia Artificial**, Ed. Paraninfo, Madrid.
- BAINBRIDGE, L. (1986), *Asking Questions and Accessing Knowledge*, **Future Computing Systems**, vol. 1, No. 2.
- BALZER, R. M. (1973), *A global view of automatic programming* en **Advanced Papers, Third International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Stanford (Ca.), 20/23 Agosto.
- BALZER, R. M. y GOLDMAN, N. (1979), *Principles of good software especification and their implications for specification lenguajes* en **Proceedings of the IEEE Specification of Reliable Software Conference**, Cambridge (Mass.).

- BANNETT, J. S. y ENGELMORE, R. S. (1984), *Experience using EMYCIN*, en **Rule-Based Expert Systems**, B. G. BUCHANAN, y E. H. SHORTLIFFE, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- BARR, A. y FEIGENBAUM, E. A. (eds.), (1981), **The Handbook of Artificial Intelligence**, vol. 1, William Kaufman, Los Altos (California).
- (1982), **The Handbook of Artificial Intelligence**, vol. 2, Addison, Wesley Los Altos (Ca.).
- BARRETT, M. L. y BEEREL, A. C. (1988), **Expert Systems in Business. A practical approach**, Ellis Horwood Limited, Chichester (W. S.).
- BARRETT, R. y otros (1985), **POP-11: A Practical Language for AI**, Ellis Horwood and Wiley, Chichester (W. S.).
- BARROW, H. G. y TENENBAUM, J. M. (1981), *Computational Vision en Proceedings of the IEEE*, Mayo, vol. 69, nº 5.
- BARSTOW, D. R. y otros, (1983), *Languages and Tools for Knowledge Engineering en Building Expert Systems*, F. HAYES-ROTH y otros (eds.), Addison Wesley, Reading (Mass.).
- BARTON, A. (1987), *Experiences in Expert Systems*, **Journal of the Operational Research Society**, vol. 38, nº 10.
- BASKIN, A.B. y MICHALSKI, R.S. (1989), *An Integrated Approach to the Construction of Knowledge-Based Systems: Experience with ADVISE and Related Programs en Topics in Expert Systems Design*, G. GUIDA y C. TASSO (eds.), North Holland, Amsterdam.
- BATALI, J. y HARTHEIMER, A. (1980), **The design procedure language manual**, Report AIM-598, Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).
- BATCHELOR, W. D. y McCLENDON, R. W. (1989), *Evaluation of SMART-SOY: An Expert Simulation System for Insect Pest Management*, **Agricultural Systems**, vol. 31, nº 1.
- BAUER, K. y otros (1988), **Sistemas Expertos. Introducción a la técnica y aplicación**, Ed. Marcombo, Barcelona.
- BECK, H. W. y otros (1989), *SOYBUG: An Expert System for Soybean Insect Pest Management*, **Agricultural Systems**, vol. 30, nº 3.
- BENCHIMOL, G. y otros (1988), **Los Sistemas Expertos en la Empresa**, Ed. Ra-ma, Madrid.
- BENDEL HERTZ, D. (1990), **El directivo Experto**, Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- BENDER, D. A. y otros (1985), *Expert System Interpreter for a Farm Management Linear Program*, **American society of Agricultural Engineers**, fiche nº 85-5518.

- BIERMAN, A. W. (1976), *Approaches to automatic programming en Advanced in computers*, vol. 15, M. RUBINOFF y M. C. YOVITS (eds.), Academic Press, New York.
- BOBROW, D. G. (1968), *Natural Language input for a Computer Problem-Solving System*, en *Semantic information processing*, M. L. MINSKY (ed.), MIT Press, Cambridge (Mass.).
- BOBROW, D. G. y COLLINS, A. (eds.), (1975), *Representation and understanding: Studies in cognitive science*, Academic Press, New York.
- BOBROW, D. G. y HAYES, P. J. (1985), *Artificial Intelligence Where are We?, Artificial Intelligence*, vol. 25, Marzo.
- BOBROW, D. G. y STEFIK, M. (1983), *The LOOPS Manual*, Xerox Corporation, Diciembre.
- BOBROW, D. G. y WINOGRAD, T. (1977), *An overview of KRL, a knowledge representation language*, *Cognitive Science*, vol. 1, nº. 1, Enero.
- BODEN, M. A. (1984), *Inteligencia Artificial y hombre natural*, Ed. Tecnos, Madrid.
- BOGGES, W. G. y otros (1989), *FinARS: A finalcial analysis review expert system*, *Agricultural Systems*, vol. 31.
- BOLEY, H. (1983), *FIT-PROLOG: a functional/relational lenguaje comparison*, Report SEKI-83-14, Fachbereich Informatik, Universitat Kaiserslautern, Diciembre.
- BONNET, C. y otros (1989), *La Inteligencia Artificial y la Automática*, Ed. Herder, Barcelona.
- BOTELLA, P. (1987), *Entornos de Programación de aplicación general, en Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, J. MOMPIN (Coor.), Ed. Marcombo, Barcelona.
- BOWERMAN, R. G. y GLOVER, D. E. (1988), *Putting Expert Systems into Practice*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- BRACHMAN, R.J. y LEVESQUE, H.J. (eds.) (1985), *Readings in Knowledge Representation*, Morgan Kaufman, Los Altos (Ca.).
- BRYANT, N. (1988), *Managing Expert Systems*, John Wiley & Sons Inc., Chichester (West Sussex).
- BUCHANAN, B. G. y FEIGENBAUM, E. A. (1978), *DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their applications dimension*, *Artificial Intelligence*, vol. 11, nº 1 y 2.
- BUCHANAN, B. G. y otros (1969), *Heuristic DENDRAL: A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry en Machine Intelligence*, vol. 4, B. MELTZER y D. MICHIE (eds.), Edinburgh University Press, Edinburgh.

- BUCHANAN, B. G. y otros (1976), *Applications of Artificial Intelligence for chemical inference. XXII Automatic rule information in mass spectrometry by means of the Meta-DENDRAL program*, **Journal of the American Chemical Society**, nº 98.
- BUCHANAN, B. G. y SHORTLIFFE, E. H. (1984), **Rule-Based Expert Systems**, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- BUCHANAN, B.G. (1982), *New research on expert systems en Machine Intelligence*, vol. 10, D. MICHIE y Y.H. PAO (eds.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- BUCHANANAN, B. G. y MITCHELL, T. M. (1978), *Model-directed learning of production rules en Pattern-directed inference systems*, D. A. WATERMAN y F. HAYES-ROTH (eds.), Academic Press, New York.
- BYLANDER, T. y otros (1983), *CSRL: a lenguaje for expert systems for diagnosis en Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 8/12 Agosto, Karlsruhe.
- CARBONELL, J. y otros (1983), *The Xcalibur Project: A Natural Lenguaje Interface to Expert Systems en Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 8/12 Agosto, Karlsruhe.
- CARD, S.K. y otros. (1983), **The psychology of human computer interactions**, Lawrence Erlbaum, Hillsdale (N.J.).
- CARRETERO DIAZ, L. E. (1989), *Consideraciones en torno a las posibilidades de implantación de los Sistemas Expertos en las decisiones organizativas*, **ESIC Market**, nº 65, Julio/Septiembre.
- CASTILLO RON, E. y ALVAREZ SAINZ, E. (1989), **Sistemas Expertos. Aprendizaje e incertidumbre**, Ed. Paraninfo, Madrid.
- CHAN, Y. Y. y otros (1989), *Port-Man. An Expert System of Portfolio Management in Banks en Expert Systems in Economics, Banking and Management*, L. F. PAU y otros (eds.), Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- CHARNIAK, E. *A frame painting: The representations of a common sense knowledge fragment*, **Journal of Cognitive Science**, vol. 1, nº 4.
- CHARNIAK, E.A. (1981), *Representation for Problem-Solving and Lenguaje Comprehension Information*, **Artificial Intelligence**, vol. 16, No. 3.
- CHASE, W.G. y SIMON, H. (1973), *Perception in Chess*, **Cognitive Psychology**, vol. 4.
- CHESTER, D. (1980), *HCPRVR: an interpreter for logic programs en Proceedings of American Association for Artificial Intelligence-80*.
- CHORAFAS, D. N. (1987), **Applying Expert Systems in Business**, McGraw-Hill Book Company, New York.

- CLAYTON, B. D. (1984), **ART programming primer**, Report, Inference Corporation, Los Angeles (Ca.).
- CLEAL, D. M. y HEATON, N. O. (1988), **Knowledge-Based Systems. Implications for human-computer interfaces**, Ellis Horwood Limited, Chichester (W. S.).
- CLOWES, M. B. (1971), *On Seeing Things, Artificial Intelligence*, vol. 2.
- COHEN, P. R. y FEIGENBAUM, E. A. (eds.) (1986), **The Handbook of Artificial Intelligence**, vol. 3, Addison Wesley Publishing Company, Reading (Mass.).
- COLBY, J. M. y GILBERT, J. P. (1964), *Programming a Computer Model of Neurosis*, **Journal of Mathematical Psychology**, nº 1.
- COLBY, K. M. (1963), *Computer Simulation of a Neurotic Process en Computer Simulation of Personality: Frontier of Psychological Research*, S. S. TOMKINS y S. MESSICKS (eds.), Wiley, New York.
- (1975), **Artificial Paranoia**, Pergamon, New York.
- COLEMAN, T. (1989), **Expert Systems for the Data Processing Professional**, NCC Publications, Manchester.
- COLMERAUER, A. (1984), *Prolog, lenguaje de Inteligencia Artificial*, **Mundo Científico**, Noviembre.
- CORTES, U. y otros (1986), **Inteligencia Artificial: Fundamentos de los Sistemas Basados en Conocimientos**, Ediciones y Distribuciones Universitarias S. A. (EDUNSA), Barcelona.
- CROSS, T. B. (1988), **Knowledge Engineering. The uses of Artificial Intelligence in Business**, Brady Books, New York.
- CUENA, J. y otros (1985), **Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos**, Alianza Editorial, Madrid.
- CURTIS, C. A. (1984), *A comparison of LISP and MUMPS as implementation lenguajes for knowledge-based systems en Proceedings of the Seventeenth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.
- D'AMORE, A. (1991), *HORTIDOC: Sistema Experto de Diagnóstico*, en **Proceedings of the I International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 April.
- DAVIS, R. (1983), *TEIRESIAS: experiments in communicating with a knowledge-based system en Designing for Human-Computer Communication*, M. E. SIME y M. J. COOMBS (eds.), Academic Press, London.
- DAVIS, R. Davis y KING, J. (1977), *An overview of production systems*, en **Machine Intelligence**, vol. 8, E. ELCOCK y D. MICHIE (eds.), Ellis Horwood, Chichester (W. S.).

- DAVIS, R. y otros (1977), *Production rules as a representation for knowledge-based consultation system*, **Artificial Intelligence**, vol. 8, nº 1.
- DEBENHAM, J. (1989), *Knowledge Acquisition: A Systematic Approach* en **Applications of Expert Systems**, vol. 2, J. R. QUINLAN (ed.), Turing Institute Press/Addison-Wesley, Sydney.
- DENHIÈRE, G. y POITREAUD, S. (1989), *Las Aportaciones de la Inteligencia Artificial a la Psicología del Lenguaje: Algunos Ejemplos en La Inteligencia Artificial y la Automática*, C. BONNET y otros, Ed. Herder, Barcelona.
- DIEDERICH, J. y LINSTER, M. (1989), *Knowledge-Based Knowledge Elicitation* en **Topics in Expert Systems Design**, G. GUIDA y C. TASSO (eds.), North Holland, Amsterdam.
- DIETTERICH, T. G. y MICHALSKI, R. S. (1981), *Inductive learning of structural descriptions: Evaluation criteria and comparative review of selected methods*, **Artificial Intelligence**, vol. 16.
- (1983), *A comparative review of selected methods for learning from examples* en **Machine Learning, an Artificial Intelligence Approach**, R. S. MICHALSKI y otros (eds.), Tioga Publications Co., Palo Alto (Ca.).
- DOLUSCHITZ, R. y SCHMISSEUR, W. E. (1988), *Expert Systems: applications to agriculture and farm management*, **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 2, nº 3.
- DUCK *Artificial Intelligence Publications, The Personal Consultant, The AI Report*, vol. 1, nº 12, 1984.
- *Builds intelligent systems*, **Applied Artificial Intelligence Reporter**, vol. 2, nº. 2, Noviembre 1984.
- DUDA, R. O. y otros (1978), *Semantic network representations in rule-based inference systems* en **Pattern-directed inference systems**, D. A. WATERTMAN y F. HAYES-ROTH (eds.), Academic Press, New York.
- DUDA, R. y otros (1978), **Development of the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration**, SRI Report, Stanford Research Institute, Menlo Park (Cal.), Octubre.
- DUDA, R. O. y otros (1979), **State of the Technology in Artificial Intelligence, Research Directions in Software Technology**, The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- DUDA, R. O. y REBOH, R. (1984), *AI and decision making: the PROSPECTOR experience* en **Artificial Intelligence Applications for Business**, W. REITMAN (ed.), Ablex Publishing Corp, Norwood (N. Y.).
- DUSSAUCHOY, A. y CHATAIN, J.N. (1988), **Sistemas Expertos. Métodos y Herramientas**, Ed. Paraninfo, Madrid.

- EDMUNDS, R. A. (1988), **The Prentice Hall Guide to Expert Systems**, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- EDWARDS, A. y CONNELL, N. A. D. (1989), **Expert Systems in Accounting**, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- ENGELMAN, C. (1971), *The legacy of Mathlab 68* en **Proceedings of the Second Symposium on Symbolic and Algebraic Manipulation**, Los Angeles (Ca.).
- ERMAN, L. D. y otros (1980), *The HEARSAY-II speech-understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty*, **Computing Surveys**, vol. 12, nº 2.
- ERMAN, L. D. y otros (1981), *The design and an example use of HEARSAY-III* en **Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 24/28 Agosto, Vancouver.
- ERNST, N. y NEWMAN, J. R. (1958), **Godel's Proof**, New York University Press, New York.
- EVANS, M. y otros (1990), *Using Expert Systems to Generate Fertilizers Recommendations*, **AI Applications in Natural Research Management**, vol. 4, nº 2.
- FAHLMAN, S. E. (1974), *A Planning System for Robot Construction Task*, **Artificial Intelligence**, vol. 5, nº 1.
- FAHLMAN, S. E. (1979), **NETL: a system for representing and using real world knowledge**, MIT Press, Cambridge (Mass.).
- FAIN, J. y otros (1981), **The ROSIE lenguaje reference manual**, N-1647-ARPA, The Rand Corporation.
- FALK, G. (1972), *Interpretation of imperfect line data as a three-dimensional scene*, **Artificial Intelligence**, vol. 3.
- FARIÑAS DEL CERRO, L. y VERDEJO, M. F. (1987), *Representación del Conocimiento en Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, J. MOMPIN (Coor.), Ed. Marcombo, Barcelona.
- FARRENY, H. (1988), *Expert Systems and Knowledge Representation Lenguajes en Management Expert Systems*, C. J. ERNST (ed.), Addison-Wesley, Reading (Mass.).
- FEIGENBAUM, E.A. (1982), **Knowledge Engineering for the 1980s**, Department of Computer Science, Stanford University, Stanford.
- FEIGENBAUN, E. A. y FELDMAN, J. (eds.), (1963), **Computers and Thought**, McGraw-Hill, New York.
- FERNANDEZ, G. (1985), *Panorama de los Sistemas Expertos en Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos*, J. CUENA, y otros, Alianza Editorial, Madrid.

- FETZER, J. H. (1988), **Aspects of Artificial Intelligence**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- FIKES, R. E. y KEHLER, T. (1985), *The role of frame-based representation in reasoning*, **Communications of the ACM**, vol. 28, nº 9, Septiembre.
- FIKES, R. E. y NILSSON, N. J. (1971), *STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving*, **Artificial Intelligence**, vol. 2, nº 3 y 4.
- FIKES, R. E. y otros (1972), *Learning and executing generalized robot plans*, **Artificial Intelligence**, vol. 3, nº 4.
- FINDLER, N. V. Findler (ed.) (1979), **Associative networks: The representation and use of knowledge by computers**, Academic Press, New York.
- FINLAYSON, R. y HIBBERT, D. B. (1989), *AI in Analytical Chemistry: An Expert System for the Diagnosis of Problems in Hydroponic Agriculture en Applications of Expert Systems*, vol. 2, J. R. QUINLAN (ed.), Turing Institute Press/Addison-Wesley, Sydney.
- FOLEY, J.D. y VAN DAM, A. (1982), **Fundamentals of interactive computer graphics**, Addison Wesley. Reading (Mass.).
- FORGY, C. L. (1981), **OPS5 user's manual**, Report CMU-CS-81-135, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Julio, Pittsburgh (Pa.).
- FORGY, C. L. (1983), **Overview of OPS/83**, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Junio, Pittsburgh (Pa.).
- FORGY, C. y McDERMOTT, J. (1977), *OPS: A domain-independent production system language en Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, MIT, Cambridge (Mass.), 22/25 Agosto.
- FORSYTH, R. (ed.) (1989), **Expert Systems. Principles and case studies**, 2ª edición, Chapman and Hall Computing, London.
- FOX, M.S. (1985), *Knowledge Representacion for Decision Support en Knowledge Representacion for Decision Support Systems*, B.L. METHLIE y R.H. SPRAGUE Jr. (eds.), North-Holland, Amsterdam.
- FREKSA, C. y otros (1984), *Cognition and Representation*, **TUM, ATP-34-X-84**.
- FRENZEL, L. E. Jr. (1989), **A Fondo: Sistemas Expertos**, Ed. Anaya-Multimedia, Madrid.
- FRIEDLAND, P. E. (1979), **Knowledge-based experiment design in molecular genetics**, Report 79-771, Computer Science Department, Stanford University, Stanford (Ca.).

- FROST, R. (1989), **Bases de Datos y Sistemas Expertos**, Ed. Díaz de Santos S. A.
- FYNN, R. P. y otros (1989), *A decision model for nutrition management in controlled environment agriculture*, **Agricultural systems**, vol. 35.
- GAINES, B.R. (1981), *The technology of interaction-dialogue programming rules*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 14, No. 1.
- (1986), *From timesharing to the sixth generation: the development of human-computer interaction part I*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 24, No. 1, Enero.
- *Foundations of dialog engineering: the development of human-computer interaction part II*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 24, No. 2, Febrero.
- (1988), *Intelligent User Interfaces en Expert Systems and Avanced Data Processing*, M. L. EMRICH y otros (eds.) North Holland, New York.
- GALLAGHER, J. P. (1988), **Knowledge Systems for Business, Integrating Expert Systems & MIS**, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- GALLIER, J. H. (1986), **Logic for Computer Science: Foundations of Automatic Theorem Proving**, Harper & Row, New York.
- GARIJO NAZARIO, F. (1984), *Entorno de Programación para la Inteligencia Artificial en Inteligencia Artificial. Introducción y Situación en España*, R. VALLE SANCHEZ y otros (eds.), FUNDESCO, Madrid.
- GARNERIN, P. y TUFFERY, G. (1988), *Schubert 3000: A interactive system to aid production and health management of fish farms*, en **Proceedings of the first International Workshop «Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries»**, Caen (France), 29-30 September.
- GAULTNEY, L. D. (1985), *The potencial for expert systems in agricultural systems managment*, **American Society of Agricultural Engineers**, paper nº 85-5033.
- GELERNTER, H. L. (1963), *Realization of a Geometry-Theorem Proving Machine en Computers and Thought*, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- GELERNTER, H. y otros (1977), *Empirical exploration of SYNCHEM*, **Science**, vol. 197, nº 4308.
- GEVARTER, W. M. (1987), **Máquinas Inteligentes**, Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- GIARRATANO, J. y RILEY, G. (1989), **Expert Systems, Principles and Programming**, PWS-KENT Publishing Company, Boston (Mass.).

- GOLDBERG, A. y KAY, A. (1976), **Smalltalk-72 user's manual**, Report nº SSL 76-6, Learning Research Group, Xerox PARC, Palo Alto (Cal.).
- GOLDBERG, A. y otros (1982), **Smalltalk-80: the language and its implementation**, Addison Wesley, Menlo Park (Cal.).
- GOLDBERG, A. y ROBSON, D. (1983), **Smalltalk-80: The Language and Its Implementation**, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- GOLDSTEIN, I. P. y ROBERTS, R. B. (1977), *NUDGE, a knowledge-based scheduling program* en **Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (2 vol.)**, MIT, 22/25 Agosto, Cambridge (Mass.).
- GOODALL, A. (1985), **The Guide to Expert Systems**, Learned Information, Oxford.
- GRAPE, G. R. (1969), **Computer Vision Through Sequential Abstractions**, Stanford University, Stanford.
- GRAUBARD, S. R. (1988), **The Artificial Intelligence Debate. False stars, real foundations**, The MIT Press, Cambridge (Massachusetts).
- GREEN, B. F. y otros (1963), *BASEBALL: An Automatic Question-Answerer* en **Computers and Thought**, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- GREEN, C. C. (1969), *The application of theorem-proving to question-answering systems* en **Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence**, D. E. WALKER y L. M. NORTON (eds.), 7/9 Mayo, Washington D. C.
- (1976), *The design of the PSI program synthesis system*, **Proceedings of the Second International Conference on Software Engineering**.
- (1977), *A summary of the PSI program synthesis system* en **Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (2 vol.)**, MIT, 22/25 Agosto, Cambridge (Mass.).
- GREEN, C. y otros (1981), **Research on knowledge-based programming and algorithm design**, Memo KES.U.81.2, Kestrel Institute, Palo Alto (Ca.).
- GREENWELL, M. (1988), **Knowledge Engineering for Expert Systems**, Ellis Horwood Ltd, Chichester (W. S.).
- GREINER, R. y LENAT, D. B. (1980), **Details of RLL-1**, Report HPP-80-23. Stanford University, Octubre, Stanford (Ca.).
- GRENIER, P. y otros (1988), *Système expert d'aide à la vinification en blanc*, en **Programme of the 2nd International Workshop on Artificial Intelligence Applications to the food Processing, Biotechnological, Chemical and Farmaceutical Industries**, París (France), October.

- GRIESMER, J. H. y otros (1984), *YES/MVS: A continuous real time expert system* en **Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-84)**, 6/10 Agosto, University of Texas, Texas.
- GRISS, M. L. y otros (1982), *PSL: a portable LISP system*, **Proceedings of the ACM Symposium on LISP and Functional Programming**, Pittsburgh (Pa.).
- GROSZ, B. (1982), *TEAM: A transportable natural language interface system*, **SRI Technical Note 263R**.
- GROSZ, B. y otros (1982), **DIALOGIC: A core natural language processing system**, SRI Technical Note 270.
- GROVER, M.D. (1983), *A pragmatic Knowledge Acquisition Methodology* en **Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 8/12 Agosto, Karlsruhe.
- GRUBER, T. y COHEN, P. (1986), *Design for acquisition: principles of knowledge system design to facilitate knowledge acquisition* en **Proceedings of Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop**, 2/7 Noviembre, Banff.
- GUINET, A. (1990), *Knowledge acquisition and assessment about production management systems*, **European Journal of Operational Research**, vol. 45, nº 2-3, Abril.
- GUPTA, M.M. y otros (eds.) (1985), **Aproximate Reasoning in Expert Systems**, North-Holland, Amsterdam.
- GUZMAN, A. (1968), **Computer Recognition of Three-Dimensional Objects in a Visual Scene**, AI-TR-228, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge (Mass.).
- (1969), *Descomposition of a Visual Field into Three-Dimensional Bodies* en **Automatic Interpretation and Classification of Images**, A. GRASELLI (ed.), Academic Press, New York.
- HALTERMAN, S. T. y otros (1988), *Double cropping expert system*, **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural Engineers, vol. 31, n. 1.
- HAMMER, M. y RUTH, G. (1979), *Automating the software development process* en **Research directions in software technology**, P. WEGNER (ed.), MIT Press, Cambridge (Mass.).
- HAMMOND, P. y SERGOT, M. (1985), **The Apes User Manual**, Logic Based Systems Ltd, Richmond.
- HARMON, P. y KING, P. (1988), **Sistemas Expertos. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la actividad empresarial**, Ed. Díaz de Santos, Madrid.

- HART, A. (1986), **Knowledge acquisition for expert systems**, Kogan Page Ltd, London.
- HARTNELL, T. (1986), **Inteligencia Artificial: Conceptos y Programas**, Anaya Multimedia, Madrid.
- HASEMER, T. (1984), **Looking at Lisp**, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- HAWKINSON, L. (1975), *The representation of concepts in OWL* en **Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 3/8 Septiembre, Tbilisi.
- HAYES, P. J. (1973), *Some comments on Sir James Lighthill's Report on Artificial Intelligence*, **AISB (Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour) Study Group European Newsletter**, nº 14, Julio.
- HAYES-ROTH, F. (1981), **Artificial Intelligence: The New Wave-A technical tutorial for R & D Management**, Rand Corporation (AIAA-81-0827), Santa Mónica (Ca.).
- HEARN, A. B. (1987), *SIRATAC: A Decision Support System for Cotton Management*, **Review of Marketing and Agricultural Economics**, vol. 55, nº 2.
- HEATWOLE, C. D. (1987), *Conservation planning using expert systems and geographic information systems*, **American society of Agricultural Engineers**, paper nº 87-5011.
- HEIDORN, G. E. (1976), *Automatic Programming through natural language dialogue: A survey*, **IBM Journal Research and Development**, vol. 4.
- HENDLER, J.A. (ed.) (1988), **Expert Systems: The User Interface**, Ablex Publishing Corp. Norwood (N.J.).
- HENDRIX, G. G. (1975), *Expanding the Utility of Semantic Networks through Partitioning* en **Advance Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Septiembre 3/8, Tbilisi.
- HEWITT, C. (1972), **Description and Theoretical Analysis (Using Schemata) of PLANNER: A Language for Proving Theorems and Manipulating Models in a Robot**, AI-TR-258, MIT AI Laboratory, Cambridge (Mass.).
- HOFSTADTER, D. R. (1983), *La mil delicias del Lisp*, **Investigación y Ciencia**, nº 79, 80 y 81.
- (1987), **Gödel, Escher, Bach: Un eterno y grácil bucle**, Ed. Tusquets. Barcelona.
- HOLLNAGEL, E. (1989), **The Reliability of Expert Systems**, Ellis Horwood Ltd., Chichester (W. S.).
- HOLSAPLE, C. W. y WINSTON, A. B. (1987), **Business Expert Systems**, Irwin, Homewood (Illinois).

- HOLT, D. A., *The growing potential of expert systems in agriculture*, en J. R. Barrett y D. D. Jones (eds.) (1989), **Knowledge engineering in agriculture**, American society of Agricultural Engineers.
- HOLZMAN, S. (1989), **Intelligent Decision Systems**, Addison Wesley, Readings (Mass.).
- HPP staff (1980), *The Stanford heuristic programming project: goals and activities*, **AI Magazine**, vol. 1, nº 1.
- HUFFMAN, D. A. (1971), *Impossible objects as nonsense sentences*, en **Machine Intelligence**, vol. 6, B. MELTZER y D. MICHIE (eds.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- HUMPHREYS, P.C. (1984), *Levels of representation of decision problems*, **Journal of Applied Systems Analysis**, vol. 11.
- HUMPHREYS, P.C. y BERKELEY, D. (1983), *Problem structuring calculi and levels of knowledge representation in decision making* en R.W. SCHOLZ (ed.), **Decision Making under Uncertainty**, North-Holland. Amsterdam.
- HUNT, V. D. (1986), **Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook**, Chapman & Hall, New York.
- ISABELLE, P. y BOURBEAU, L. (1985), *TAUM-AVIATION: Its technical features and some experimental results*, **Computational Linguistics**, vol. 11, nº 1.
- JACKSON, P. (1990), **Introduction to Expert Systems**, 2ª edición, Addison Wesley Publishing Company, Workingham.
- JACKSON, P. y LEFRERE, P. (1990), *On the application of rule-based techniques to the design of advice giving systems*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 20.
- JOHNSON, R. y otros (1985), *EUROTRA: A multilingual system under development*, **Computational Linguistics**, vol. 11, nº. 2-3.
- JONES, J. W. (1985), *Using Expert Systems in Agricultural models*, **Agricultural Engineering**, vol. 66, nº 7.
- JUNTA DE ANDALUCIA, *Perspectivas de los Sistemas Expertos en la Agricultura*, en J. Berbel Vecino (Coord.) (1993), **Informaciones Técnicas 16/92**, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.
- KAEHLER, T. y PATTERSON, D. (1986), *A small taste of Smalltalk*, Byte, Agosto.
- KAHN, G. S. y BAUER, M. (1989), *Prototyping: Tools and Motivations* en **Topics in Expert Systems Design**, G. GUIDA y C. TASSO (eds.), North Holland, Amsterdam.
- KANADE, T. (1980), *A Theory of Origami World*, **Artificial Intelligence**, vol. 13.

- KANT, E. (1979), **Efficiency considerations in program synthesis: A knowledge-based approach** (Doctoral Dissertation), Computer Science Department, Stanford University, Stanford (Ca.).
- KAYSER, D. (1984), *Examen de diverses methodes utilises en representation des connaissances en* **Fourth Afcet Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, París.
- KEHLER, T. P. y CLEMENSON, G. D. (1984), *An aplication development system for expert systems*, **Systems and Software**, vol. 3, nº 1, Enero.
- KELLER, R. (1987), **Expert System Technology**. Development and Application, Yourdon Press, Englewood Cliffs (N. J.).
- KELLY, M. D. (1971), *Edge detection in pictures by Computer Using Planning*, en en **Machine Intelligence**, vol. 6, B. MELTZER y D. MICHIE (eds.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- KIDD, A.L. (ed.) (1982), **Knowledge acquisition for expert systems: A practical handbook**, Plenum, New York.
- KOLODNER, J. L. (1985), *Towards an Understanding of the Role of Experience in the Evolution from Novice to Expert* en **Developments in Expert Systems**, M.J. COOMBS (ed.), Academic Press, London.
- KOWALSKI, R. A. (1979), *Algorithm = Logic + Control*, **Communications of the Association for Computing Machinery (ACM)**, 22 Julio.
- (1986), **Lógica, programación e inteligencia artificial**, Ed. Díaz de Santos S. A., Madrid.
- KUIPERS, B. (1975), *A frame for frames: Representing knowledge for recognition*, en **Representation and understanding: Studies in cognitive science**, D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), Academic Press, New York.
- LAFFEY, T. J. y otros (1984), *Reasoning about fault diagnosis with LES* en **Proceedings of the First Conference on Artificial Intelligence Applications**, IEEE Computer Society, Diciembre.
- LANGLEY, P. W. (1979), *Rediscovering physics with BACON 3* en **Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 20/23 Agosto, Tokyo.
- LARA, B. (1986), *Fronteras Lógicas y Epistemológicas de la Informática en Programación Informática. Sistemas Expertos*, R. PORTAENCASA y otros, Instituto de Ciencias del Hombre (Banco de Bilbao), Madrid.
- LAURIERE, J. L. (1978) *A lenguaje and a program for stating and solving combinational problems*, **Artificial Intelligence**, vol. 10.
- LEBRET, P. y otros (1988), *Mammitron: an expert system for the diagnosis of udder diseases*, en **Proceedings of the first International Workshop «Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries»**, Caen (France), 29-30 September.

- LENAT, D. B. (1980), *AM: An Artificial Intelligence approach to discovery in mathematics and heuristic search* en **Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence**, R. DAVIS y D. B. LENAT, McGraw-Hill, New York.
- (1980), **The nature of heuristics**, Report No. HPP-80-26, Heuristic Programming Project, Computer Science Department, Stanford University, Stanford (Ca.).
- LENAT, D. B. y otros (1979), **Cognitive Economy in Artificial Intelligence. Report Nº HPP-79-15, Heuristic Programming Project**, Computer Science Department, Stanford University, Stanford (California).
- LENAT, D. B. y otros (1982), *Heuristic search for new microcircuit structures: An application of artificial intelligence*, **AI Magazine**, vol. 3, verano.
- LESSER, V. R. (1991), *Trends in Cooperative Distributed Problem-Solving* en **4th Avanced Course on Artificial Intelligence (ACAI 91)**, 1/12 Julio, Bilbao.
- LEVALLOIS, R. y PELLERIN, P. (1989), *Analyse des résultats technico-economiques d'une entreprise laitière par un système expert*, **Revue Canadienne d'Économie Rurale**, vol 37.
- LEWIS, J. W. y otros (1983), **GEN-X: Generic Expert System**, Information Science Laboratory Report, General Electric Co, Schenectady (N. Y.).
- LIEBOWITZ, J. (1990), **Expert Systems for Business & Management**, Yourdon Press, Englewood Cliffs (N. J.).
- LINDSAY, P. H. y NORMAN, D. A. (1977), **Human information processing**, Academic Press, New York.
- LINDSAY, R. K. (1963), *Inferencial Memory as the Basis of Machines Which Understand Natural Language* en **Computers and Thought**, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- LINDSAY, R. K. y otros (1980), **Applications of Artificial Intelligence for organic chemistry: The DENDRAL project**, McGraw-Hill, New York.
- LINDSAY, S. (1988), **Practical applications of Expert Systems**, QED Information Sciences Inc., Wellesley (Mass.).
- LISELEWICH, S. (1983), **TIMM- the intelligent machine model**, General Research Corporation Report, Septiembre, Santa Barbara (Ca.).
- LOGGIA, C. y SCHULTZ, A. C. (1989), *Knowledge Representation Methodologies for Expert Systems Development* en J. LIEBOWITZ y D. A. DE SALVO (eds.), **Structuring Expert Systems**, Yourdon Press, Englewood Cliffs (N. J.).
- LOPEZ DE MANTARAS, R. (1984), *Concepto y Perspectivas de las Técnicas de Representación y Adquisición del Conocimiento en Inteligencia Artificial. Introducción y Situación en España*, R. VALLE SANCHEZ y otros (eds.), FUNDESCO, Madrid.

- (1986), *La Inteligencia Artificial: Situación y Perspectivas en Programación Informática. Sistemas Expertos*, R. PORTAENCASA y otros, Instituto de Ciencias del Hombre (Banco de Bilbao), Madrid.
- LOWERRE, B. y REDDY, R. (1980), *The HARPY speech understanding system* en *Trends in speech recognition*, W. LEA (ed.), Englewood Cliffs (N. J.).
- LUCAS, J. R. (1961), *Minds, Machines and Gödel*, *Philosophy*, vol. 36.
- LUGER, G. F. y STUBBLEFIELD, W. A. (1989), *Artificial Intelligence and the design of Expert Systems*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, New York.
- *Lisp y Prolog. Los lenguajes de la Inteligencia Artificial*, *PC Magazine* (Ed. en castellano), nº 30, Octubre, 1987.
- MackWOTH, A. K. (1973), *Interpreting Pictures of Polyhedral Scenes*, *Artificial Intelligence*, vol 4.
- MALAUREILLE, P. y otros (1988), *Gruyex: an expert system to aid in the manufacturing process of Emmental cheese*, en *Proceedings of the first International Workshop «Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries»*, Caen (France), 29-30 September.
- MANNA, Z. y WALDINGER, R. (1978), *DEDALUS-The DEDuctive ALgorithm Ur-Synthesizer*, National Computer Conference, Anaheim (Cal.).
- MANNA, Z. y WALDINGER, R. (1985), *The Logical Basis for Computer Programming, Deductive Reasoning*, vol. 1, Addison-Wesley, Reading (Mass.).
- MARTIN, J. y OXMAN, S. (1988), *Building Expert Systems. A tutorial*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- MARTIN, W. A. y FATEMAN, R. J. (1971), *The MACSYMA System* en *Proceedings of the Second Symposium on Symbolic and Algebraic Manipulation*, Los Angeles (Ca.).
- MARTIN-CLOUARIE, R. y PRADE, H. (1985) , *On the problems of representation and propagation of uncertainty in expert systems*, *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 22.
- MATE HERNANDEZ, J. L. y PAZOS SIERRA, J. (1988), *Ingeniería del Conocimiento. Diseño y construcción de Sistemas Expertos*, Ed. SEPA S.A., Córdoba (Argentina).
- MATHLAB GROUP (1977), *MACSYMA Reference Manual*, Technical Report, Computer Science Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).
- McARTHUR, D. J. y KLAHR, P. (1982), *The ROSS Language Manual*. The Rand Corporation, N-1885-AF, Septiembre.

- McARTHUR, D. J. y otros (1986), *Ross: An Object-Oriented language for constructing simulations en Expert Systems. Techniques, Tools, and Applications*, P. KLAHR y D. A. WATERMAN (eds.), Addison Wesley Publishing Company, Workingham.
- McCALLA, G. y CERCONE, N. (eds.), (1983), *Computer*, vol. 16, nº 10, Octubre.
- McCORDUCK, P. (1979), *Machines Who Think*, W. H. Freeman and Company, New York.
- McCULLOCH, W. S. y PITTS, W. (1943), *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neuron Activity, The bulleting of Mathematics Biophysics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- McDERMOTT, J. (1980), *R1: an expert in the computer system domain en Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-80)*, 18/21 Agosto, Stanford University, Stanford.
- McKINION, J. M. y otros, (1989), *Application of the GOSSYM/COMAX System to Cotton Crop Management, Agricultural Systems*, vol. 31, nº 1.
- METHLIE, B. L. y SPRAGUE, R. H. Jr. (eds.) (1984), *Knowledge Representation for Decision Support Systems, Proceedings of the IFIP Working Group 8.3 Conference*, 24/26 Julio, North-Holland, Durham.
- MEYER, C. L. (1990), *Integrating expert systems with modern soil erosion prediction simulation, AI applications in natural resource management*, vol. 4, nº 2.
- MICHALSKI, R. S. (1983), *A Theory and Methodology of Inductive Learning en Machine Learning, an Artificial Intelligence Approach*, R. S. MICHALSKI y otros (eds.), Tioga Publications Co., Palo Alto (Ca.).
- MICHALSKI, R. S. y CHILASKY, R. L. (1981), *Knowledge acquisition by encoding expert rules versus computer induction from examples: a case study involving soybean pathology en Fuzzy Reasoning and its Applications*, E. H. MAMDANI y B. R. GAINES, Academic Press, London.
- MICHALSY, R. S. y otros (1982), *PLANTS/DS: an expert consulting systems for the diagnosis of soybean diseases en Proceedings of the Fifth European Conference on Artificial Intelligence*, Orsay, Julio.
- MICHIE, D. (1974), *On Machine Intelligence*, John Wiley & Sons, New York.
- MILLER, R. A. y otros (1982), *Internist-1. An Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine, The New England Journal of Medicine*, vol. 307, nº 8, Agosto.
- MINSKY, M. (1967), *Computation: Finite and Infinite Machines*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).

- MINSKY, M. L. (1963), *Steps Toward Artificial Intelligence en Computers and Thought*, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- (1975), *A framework for representing knowledge en en The psychology of computer vision*, P. H. WINSTON (ed.), McGraw-Hill, New York.
- *Frame System Theory en Readings in Cognitive Science*, P. N. JOHNSON-LAIRD y P. C. WATSON (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- (1986), *La Sociedad de la Mente*, Ed. Galápagos, Buenos Aires.
- MINSKY, M. y PAPER, S. (1969), *Perceptrons*, The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- MISHKOFF, H. C. (1988), *A Fondo: Inteligencia Artificial*, Ed. Anaya Multimedia, Madrid.
- MITCHELL, T. M. y otros, *Learning problem-solving heuristics through practice en Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 24/28 Agosto, Vancouver.
- MOCHON, J. y otros (1987), *Inteligencia Artificial: evolución histórica y perspectivas de futuro en Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, J. MOMPIN (Coor.), Ed. Marcombo, Barcelona.
- MOCKLER, R. J. (1989), *Knowledge-Based Systems for Management Decisions*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- MORALES LUNA, G. y GUARDATI DE CAIRO, S. (1988), *TRESLOG: Traslating from Spanish to Clausal form Propositions en Research and Development in Expert Systems IV, Proceedings of Expert Systems'87, the Seventh Annual Technical of the British Computer Society specialist Group on Expert Systems*, D. S. MORALEE (ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
- MORRIS, D. (1984), *LISP Shows first process-control expert system*, *Electronic Engineering Times*, 13 Agosto.
- MORRISON, J. E. (1988), *Computerized selection of planters and drills: an example of the use of "AI" in agriculture*, *Proceedings of the 11th International Conference of the International Soil and Tillage Research Organization*, Edinburgh (Escotland), July.
- MOSES, J. (1967), *Symbolic Integration*, MAC-TR-77, PROJECT MAC, MIT, Cambridge (Mass.).
- (1975), *A MACSYMA Primer*, Mathematics Laboratory Memory nº 2, Computer Science Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).

- MOSTOW, D. J. (1981), **Mechanical transformation of task heuristics into operational procedures** (Doctoral Dissertation), Report No. CS-81-113, Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh (Pa.).
- MUIR, R. (1988), *The integrated user*, en **Research and Development in Expert Systems IV, Proceedings of Expert Systems'87, the Seventh Annual Technical of the British Computer Society specialist Group on Expert Systems**, D. S. MORALEE (ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
- MURDOCH, H. (1990), *Choosing a problem-when is Artificial Intelligence appropriate for retail industry?*, **Expert Systems**, vol. 7, No. 1.
- MURPHY, T. (1984), *Artificial Intelligence topics at IBM*, **IBM Research Highlights**, nº 2, 1984.
- NEBENDAHL, D. (ed.) (1988), **Sistemas Expertos. Introducción a la técnica y aplicación**, Ed. Marcombo, Barcelona.
- NELSON, W. R. (1982), *REACTOR: an expert system for diagnosis and treatment of nuclear reactor accidents* en **Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-84)**, Carnegie-Mellon University/University of Pittsburgh, 18/20 Agosto.
- NEWELL, A. (1973), *Production Systems: models of control structures* en **Visual Information Processing**, W. G. CHASE (ed.), Academic Press, New York.
- NEWELL, A. y otros (1959), *Report on a General Problem Solving Program* en **Proceedings of the International Conference on Information Processing**, Unesco House, París.
- NEWELL, A. y otros (1963), *Empirical Explorations with the Logic Theory Machine: A case study in heuristics* en **Computers and Thought**, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- NEWELL, A. y SIMON, H. A. (1963), *GPS-A Program that simulates human thought* en **Computers and Thought**, E. A. FEIGENBAUM y J. FELDMAN (eds.), McGraw-Hill, New York.
- (1972), **Human Problem Solving**, Prentice Hall, Englewood Cliffs (New Jersey).
- NILSSON, N. J. (1971), **Problem-solving methods in AI**, McGraw-Hill, New York.
- (1981-82), *Artificial Intelligence: Engineering, Science or Slogan*, **AI Magazine**, nº 1, vol. 3, Invierno.
- (1987), **Principios de Inteligencia Artificial**, Ed. Díaz de Santos, Madrid.

- NOELKE, U. (1988), *The Essence of Knowledge Engineering en Artificial Intelligence and Expert Systems*, S. SAVORY (ed.), Ellis Horwood, Chichester (W. S.).
- NOVOA, V. y ÖHLMER, B. (1988), Analysis of Economic Efficiency for Farms, en **Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology**, Frankfurt (GFR), June.
- OHLSSON, S. (1977), *Production System reconstruction of theories for the solving of three-term series problems*, Umea Psychological, Reports nº 113, University of Umea, Umea.
- OLIVEIRA, E. (1982), *ORBI: An expert systems as a logic database*, en **Proceedings of the British Computer Society Expert Systems Group Technical Conference of the Theory and Practice of Knowledge Based Systems**, Brunel University, September.
- ORBAN, R. (1970), **Removing Shadows in a Scene**, AI Memo 192, AI Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).
- ORENGA Y ORTEGA, J. M. y SANCHEZ Y BELTRAN, J. P. (1987), **Prolog: Introducción a la programación de los Sistemas Expertos**, Ed. Rama, Madrid.
- ORTIGOSA BAREA, C. y otros (1991), *Sistema Experto de tramitación de subvenciones agrícolas*, en **Proceedings of the I International Workshop on Expert System in Agriculture**, Córdoba (Spain), 24-26 April.
- PANNELL, D. J. (1988), *The Place of Expert Systems in Agricultural Economics: A comment*, **Review of Marketing and Agricultural Economics**, vol. 56, nº 2.
- PAPERT, S. (1980), **Mindstorms**, Basic Books, New York.
- PARSAYE, K. y CHIGNELL, M. (1988), **Expert Systems for Experts**, John Wiley & Sons, New York.
- PATEL-SCHNEIDER, P. (1984), *Small can be beautiful in knowledge representation* en **Proceedings of the IEEE Workshop on Principles of Knowledge Based Systems**, IEEE Computer Society Press, Silver Spring (Md.).
- PATERSON, A. (1981), **AL/X user manual**, Intelligent Terminals Ltd., Oxford.
- PAU, L. F. (1987), **Artificial Intelligence in Economics and Management**, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- PAU, L. F. y otros (eds.) (1989), **Expert Systems in Economics, Banking and Management**, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- PAZOS SIERRA, J. (1984), *Concepto y Perspectivas de la Inteligencia Artificial en la Robótica en Inteligencia Artificial. Introducción y Situación en España*, R. VALLE SANCHEZ y otros (eds.), FUNDESCO, Madrid.

- PECORA, V. J. Jr. (1984), *EXPRS- a prototype expert system using Prolog for data fusion*, *The AI Magazine*, Verano.
- PLANT, R. E. (1989), *An Integrated Expert Decision Support System for Agricultural Management*, *Agricultural Systems*, vol. 29, nº 11.
- POLANYI, M. (1964), *Personal knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, Harper, New York.
- POLSON, M. C. y RICHARDSON, J. (1988), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale (N.J.).
- POMAR GOMA, J. y REIXACH SADURNI, J. (1991), *Sistema experto aplicado al diagnóstico de problemas técnicos en explotaciones porcinas en base a los resultados de la gestión técnica*, en *Proceedings of the I International Workshop on Expert System in Agriculture*, Córdoba (Spain), 24-26 April.
- POSPESEL, H. (1976), *Introduction to Logic: Predicate Logic*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- POST, E. (1943), *Formal reduction of the general combinatorial problem*, *American Journal of Mathematics*, nº 65.
- PRERAU, D.S. (1985), *Selection of an Appropriate Domain for an Expert System*, *AI Magazine*, vol. 6, No. 2.
- (1990), *Developing and Managing Expert Systems: Proven Techniques for Business and Industry*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- PRESTON, J. (1986), *Una nueva orientación del software para los ordenadores personales* en R. PORTAENCASA y otros, *Programación Informática. Sistemas Expertos*, Instituto de Ciencias del Hombre (Banco de Bilbao), Madrid.
- PROINTEC (1991), *AGRIEXPERTOS: Sistemas Expertos de Inteligencia Artificial Aplicados a la agricultura*, PROINTEC S.A. Madrid.
- QUERALT, M. (1986), *Control del Lenguaje Natural* en *Programación Informática. Sistemas Expertos*, R. PORTAENCASA y otros, Instituto de Ciencias del Hombre (Banco de Bilbao), Madrid.
- QUILLIAN, M. R. (1968), *Semantic memory*, en *Semantic information processing*, M. L. MINSKY (ed.), MIT Press, Cambridge (Mass.).
- QUINLAN, J. R. (1979), *Discovering Rules by Induction from Large Collections of Examples* en *Expert Systems in the Microelectronic Age*, E. MICHIE (ed.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- RACE, P. R. y POVEY, M. J. (1989), *Cooksim: a knowledge-based system for the thermal processing of food*, en *Programme of the 2nd International Workshop on Artificial Intelligence Applications to the food Processing, Biotechnological, Chemical and Farmaceutical Industries*, París (France), October.

- RAPHAEL, B. (1984), **El computador Pensante. Introducción a la Informática para Psicólogos y Humanistas**, Ediciones Cátedra S. A., Madrid.
- RATTNER, M. H. (1970), **Extending Guzman's SEE Program**, AI Memo 204, AI Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).
- RAUCH-HINDIN, W. B. (1989), **Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Actividad Empresarial, la Ciencia y la Industria**, Ed. Díaz de Santos S. A., Madrid.
- REDDY, D. R. (ed.) (1975), **Speech recognition: Invited papers of the IEEE symposium**, Academic Press, New York.
- REDDY, D. R. y otros, *The HEARSAY speech understanding system: An example of the recognition process* en **Advanced Papers, Third International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Agosto 20/23, Stanford (Ca.).
- REDDY, Y. V. y FOX, M. S. (1982), **KBS: an artificial intelligence approach to flexible simulation**, Report CMU-RI-TR-82-1, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh (Pa.).
- REGGIA, J. A. (1981), **Knowledge-based decision support system: development through KMS**, (PhD dissertation), Report TR-1121, Computer Science Department, University of Maryland, College Park (Md.).
- REISER, J. F. (1976), **Sail**, Report AIM-289, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Stanford University, Stanford (Ca.).
- REITER, J. (1980), **AL/X: an expert system using plausible inference**, Intelligent Terminals Ltd. Report, Machine Intelligence Research Unit, University of Edinburgh, Edinburgh.
- REITMAN, W. (ed.) (1984), **Artificial Intelligence Applications for Business**, Ablex Publishing Corp., Norwood (N. Y.).
- REMY, C. (1987), *La représentation des connaissances*, **Mycro-Sistemés**, Mayo.
- RICH, C. (1984), *The Programmer's Apprentice* en **The AI Business**, P. H. WINSTON y K. A. PRENDERGAST (eds.), The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- RICH, C. y SHROBE, H. E. (1978), *Initial report on a LISP programmer's apprentice*, **IEEE Transactions on Software Engineering**, vol. 4, nº 6, Noviembre.
- RICH, E. (1983), **Artificial Intelligence**, McGraw-Hill, New York.
- RISSLAND, E.L. (1984), *Ingredients of intelligent user interfaces*, **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 21, No. 3, Septiembre.

- ROBERTS, L. G. (1965), *Machine Perception of Three-Dimensional Solids en Optical and Electro-Optical Information Processing*, J. T. TIPPETT y otros (eds.), The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- ROBINSON, J. A. Robinson (1982), *Fundamentals of machine-oriented deductive logic en Introductory Readings in Expert Systems*, D. MICHIE (ed.), Gordon and Breach, New York Inc.
- ROQUERO GARCIA-CASAL, A. (1991), *Sistema Experto para evaluación de suelos*, en *Proceedings of the I International Workshop on Expert System in Agriculture*, Córdoba (Spain), 24-26 April.
- ROSENBERG, S. (1983), *HPRL: a lenguaje for building expert systems en Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 8/12 Agosto, Karlsruhe.
- ROSENBLATT, F. (1957), *The Perceptron: a perceiving and recognizing automation*, Cornell Aeronautical Laboratory, New York.
- (1962), *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Spartan Books, Washington.
- ROSSI, G. (1986), *Uses of Prolog in implementation of Expert Systems*, *New Generation Computing*, nº 4.
- ROTHENBERG, J. (1989), *Expert System Tool Evaluation en Topics in Expert Systems Design*, G. GUIDA y C. TASSO (eds.), North Holland, Amsterdam.
- SACERDOTI, E. D. (1974), *Planning in a hierarchy of abstraction spaces*, *Artificial Intelligence*, vol. 5, nº 2.
- (1975), *The non linear nature of plans en Advanced Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 3/8 Septiembre, Tbilisi.
- (1977), *A Structure for Plans and Behavior*, Elsevier Science Publishers B. V., New York.
- (1979), *Problem Solving Tactics*, Technical Note 189, SRI International, Inc., Menlo Park (Ca.)
- SAMUEL, A. L. (1970), *Some Studies in Machine Learning Using the Game Checkers. II-Recent progress en Human and Artificial Intelligence*, F. J. CROSSON (ed.), Appleton Century Crofts, New York.
- SANCHEZ Y BELTRAN, J. P. (1988), *Sistemas Expertos. Una metodología de programación*, Ed. Ra-ma, Madrid.
- SANFELIU, A. (1987), *Visión por Computador en Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, J. MOMPIN (Coor.), Ed. Marcombo, Barcelona.
- SAVORY, S. (ed.) (1988), *Artificial Intelligence and Expert Systems*, Ellis Horwood, Chichester (W. S.).

- SAVORY, S. E. (1988), *Tools for Building Expert Systems* en S. E. SAVORY (ed.), **Expert Systems in the Organization**, Ellis Horwood, Chichester (W. S.).
- SCHANK, R. C. y ABELSON, R. P. (1977), **Scripts, plans, goals, and understanding**, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale (N. J.).
- SCHANK, R. C. y otros, *MARGIE: Memory, analysis, response generation, and indifference on English*, en **Proceedings of the Third International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Agosto 20/23, Stanford (Ca.).
- SCHMOLZE, J. G. y BRACHMAN, R. J. (eds.) (1982), **Proceedings of the 1981 KL-ONE Workshop**, Fairchild Laboratory for Artificial Intelligence Research, Mayo, Palo Alto (Ca.).
- SCHOEN, S. y SYKES, W. G. (1987), **Putting Artificial Intelligence to Work**, John Wiley & Sons Inc., New York.
- SEUL: primer sistema experto español en el área de leasing*, **Computer-world**, nº 340/Año 8, 10 Marzo, 1989.
- SHANAHAN, M. P. y SHOHAM, Y. (1991), *Temporal Reasoning*, **Fourth Advanced Course On Artificial Intelligence (ACAI 91)**, Bilbao, 1/12 Julio.
- SHANK, R. C. y CHIDERS, P. G. (1984), **The Cognitive Computer**, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- SHIRAI, Y. (1973), *A Context Sensitive Line Finder for Recognition of Polyhedra*, **Artificial Intelligence**, vol. 4.
- SIGH, N. (1983), **MARS: A multiple abstraction rule-based simulator**, Report HPP-83-43, Stanford University, Diciembre, Stanford (Ca.).
- SIKLOSSY, L. y DREUSSI, J. (1973), *An efficient robot planner which generates its own procedures* en **Advanced Papers, Third International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 20/23 Agosto, Stanford (Ca.).
- SILVERMAN, B. G. (ed.) (1987), **Expert Systems for Business**, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- SIMMONS, R. F. (1973), *Semantic Networks: Their computation and use for understanding English sentences* en **Computer Models of Thought and Language**, R. C. SCHANK y K. M. COLBY (eds.), W. H. Freeman and Company, San Francisco (Ca.).
- SIMON, H. A. (1963), *Experiments with a heuristic compiler*, **Journal of the Association Computing Machinery**, vol. 10, nº 4.
- (1969), **The sciences of artificial**, The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- (1982), **La nueva ciencias de la decisión gerencial**, Buenos Aires, El Ateneo.
- SIMONS, G. L. (1985), **Los ordenadores de la quinta generación**, Ed. Díaz de Santos, Madrid.

- (1987), *Introducción a la Inteligencia Artificial*, Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- SLAGLE, J. R. (1963), *A heuristic program that solves symbolic integrations problems in freshman calculus*, *Journal of the Association Computing Machinery*, vol. 10.
- (1988), *Expert Systems Shells and Their Applications en Expert Systems and Avanced Data Processing*, M. L. EMRICH y otros (eds.), North Holland, New York.
- SMITH, R. G. (1983), *STROBE: support for structured object knowledge representation* en *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 8/12 Agosto, Karsruhe.
- SOL, H. G. y otros (eds.) (1985), *Expert Systems and Artificial Intelligence in Decision Support Systems* en *Proceedings of the 2nd Mini Euroconference*, 17/20 Noviembre, Lunteren.
- SOWIZRAL, H. A. y KIPPS, J. R. (1986), *ROSIE: A Programming Enviroment for Expert Systems* en *Expert Systems. Techniques, Tools, and Applications*, P. KLAHR y D. A. WATERMAN (eds.), Addison Wesley Publishing Company, Workingham.
- SRIDHARAN, N. S. (1978), *AIMDS user manual, version 2*, Technical Report CBM-TR-89, Computer Science Departement, Rugets University, New Brunswick (N. J.).
- SRINIVASAN, V. y RUPAREL, B. (1990), *CGX: An expert support system for credit granting*, *European Journal of Operational Research*, vol. 45, nº 2/3, 13 Abril.
- STEELS, L. (1984), *The Object-Oriented Knowledge Representation System KRS* en *Proceedings of ECAI-84*, T. O'SHEA (ed.), North Holland, Amsterdam.
- (1987), *Second Generation Expert Systems* en *Research and Development in Expert Systems III. Proceedings of Expert Systems'86, the Sixth Annual Technical Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems*, M. A. BRAMER (ed.), Cambridge University Press. Cambridge.
- STEFIK, M. (1979), *An examination of a frame-structured representation system* en *Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 20/23 Agosto, Tokyo.
- STEFIK, M. J. (1981), *Planning with Constraints (MOLGEN: Part 1)*, *Artificial Intelligence*, vol. 16.
- STEFIK, M. J. (1981), *Planning with Constraints (MOLGEN: Part 2)*, *Artificial Intelligence*, vol. 16.

- STEFIK, M. y otros (1983), *Knowledge programming in LOOPS: Report on an experimental course*, **The AI Magazine**, vol. 4, nº 3.
- STOWE, R. y otros. (1986), *How to Identify Bussines Applications of Expert Systems*, **Proceedings of the Second International Expert Systems Conference**, Learned Information, Oxford, 1986.
- SUPPES, P. (1957), **Introduction to Logic**, Van Nostrand Reinhold, New York.
- SUSSMAN, G. J. (1973), **A Computational Model of Skill Acquisition**, (Doctoral Dissertation), AI Technical Report 297. Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge (Mass.).
- SUSSMAN, G. J. (1975), **A computer model of skill acquisition**, Elsevier Science Publishers B. V., New York.
- SUSSMAN, G. J. y McDERMOTT, D. V. (1972), **The Conniver Reference Manual**, AI Memo 259, MIT AI Laboratory, Cambridge (Mass.).
- TATE, A. (1975), *Interacting goals and their use en Advanced Papers of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Septiembre 3/8, Tbilisi.
- (1976), **Project Planning Using Hierarchic Non-linear Planner**, Research Report nº 25, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, Edinburgh.
- (1977), *Generating project networks en Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (2 vol.)*, MIT, 22/25 Agosto, Cambridge (Mass.).
- TAYLOR, H. y ROSSIGNOLI, C. (1988), *Expert Systems for the evaluation of agricultural cooperatives*, en **Proceedings of the first International Workshop «Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries»**, Caen (France), 29-30 September.
- THOMPSON, F. B. (1966), *English for the computer en Conference Proceedings 29*, American Federation of Information Processing Societies (AFIPS), Fall Joint Computer Conference, Spartan Books, Washington.
- TORRAS, C. (1984), *Concepto y Perspectivas de la Visión por Computador en Inteligencia Artificial. Introducción y Situación en España*, R. VALLE SANCHEZ y otros (eds.), FUNDESCO, Madrid.
- (1987), *Planificación para la resolución de problemas en Inteligencia Artificial. Conceptos, técnicas y aplicaciones*, J. MOMPIN (Coor.), Ed. Marcombo, Barcelona.
- TURBAN, E. (1988), **Decision Support and Expert Systems. Managerial Perspectives**, McMillan Publishing Company, New York.

- TURING, A. M. (1964), **Minds and Machines**, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.).
- UHRING, W. y otros (1988), *The selection of marketing alternatives for grain*, en **Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology**, Frankfurt (GFR), June.
- VAN HORN, M. (1986), **Understanding Expert Systems**, Bantam Computers Books, New York.
- VAN MELLE, W. y otros, *EMYCIN: a knowledge engineer's tool for constructing rule-based expert system* en **Rule-Based Expert Systems**, B. G. BUCHANAN, y E. H. SHORTLIFFE, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- VRANKEN, E. y otros (1988), *Decision-making in pig keeping*. Knowledge based systems in Agriculture. Prospects for application, en **Proceedings of the 2nd International DLG. Congress for computer technology**, Frankfurt (GFR), June.
- WAIN, N. y otros (1988), *A rule-based inference system for animal production management*, **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 2.
- WALDINGER, R. J. (1977), *Achieving several goals simultaneously* en **Machine Intelligence**, vol. 8, E. ELCOCK y D. MICHIE (eds.), Ellis Horwood, Chichester (W. S.).
- WALDINGER, R. J. y LEE, R. C. T. (1969), *PROW: A step toward automatic program writing* en **Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence**, D. E. WALKER y L. M. NORTON (eds.), Mayo 7/9, Washington D. C.
- WALTZ, D. (1975), *Generating semantic descriptions from drawings of scenes with shadows* en **The psychology of computer vision**, P. H. WINSTON (ed.), McGraw-Hill, New York.
- WALTZ, D. (1978), *An English Language Questions Answering System for a large relational database*, **Communications of the Association for Computing Machinery**, vol. 21.
- WANG, H. (1960), *Toward mechanical mathematics*, **IBM Journal Research and Development**, vol. 4.
- WARNER HASLING, D. (1983), *Abstract Explanations of Strategy in a Diagnostic Consultation System* en **Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-83)**, 22/26 Agosto.
- WARREN, D. H. D. (1974), **WARPLAN: A system for generating plans**. Memo 76, Department of Computational Logic, School of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, Edinburgh.
- WATERMAN, D. A. (1968), **Machine learning of heuristics**. (Doctoral Dissertation), Report nº STAN-CS-68-118, Computer Science Department, Stanford University, Stanford (Ca.).

- (1970), *Generalization learning techniques for automating the learning of heuristics*, **Artificial Intelligence**, vol. 6.
- (1986), **A guide to Expert Systems**, Addison Wesley Publishing Company, Menlo Park (Ca.).
- WATERMAN, D. A. y HAYES-ROTH, F. (1983), *An Investigation of Tools for Building Expert Systems*, **Building Expert Systems**, F. HAYES-ROTH y otros (eds.), Addison Wesley, Reading (Mass.).
- WAUTERS, S. (1989), *The use of expert systems as a different approach to the control of the climate in animal houses*, en **Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering**, Dublin (Ireland), 4-8 September.
- WEBSTER, L. P. G. y AMOS, J. J. (1987), *Expert Systems for agricultural management*, **Farm Management**, vol. 6, nº 7.
- WEINREB, D. y MOON, D. (1981), *Objects, message passing and flavors*, **LISP machine manual**, Symbolics Inc. Julio.
- WEISS, S. M. y otros (1980), **A guide to the use of the EXPERT consultation system**, Technical Report CBM-TR-94, Computer Science Department, Rutgers University, New Brunswick (N. J.), Enero.
- WEIZENBAUM, J. (1966), *ELIZA-A Computer Program for the Study of Natural Language Communication Between Man and Machine*, **Communications of the Association for Computing Machinery**, vol. 9.
- WENSLEY, A. (1989), *Research Directions in Expert Systems* en **Knowledge-Based Management Support Systems**, G. I. DOUKIDIS y otros (eds.), Ellis Horwood Ltd., Chichester (W. S.).
- WHITTAKER, A. D. y THIEME, R. H. (1989), *Integration of Expert Systems and Conventional Problem Solving Techniques in Agriculture*, **AI applications in natural resource management**, vol. 3, nº 1.
- WILENSKY, R. (1984), *Talking to UNIX in English. An overview of an on-line Unix Consultants*, **Communications of the Association for Computing Machinery**, vol. 27, nº 6, Junio.
- WILSON, W. G. (1986), *Prolog for applications programming*, **IBM Journal**, vol. 25, nº 2.
- WINOGRAD, T. (1972), **Understanding Natural Language**, Academic Press, New York.
- (1973), *A Procedural Model of Language Understanding* en **Computer Models of Thought and Language**, R. C. SCHANK y K. M. COLBY (eds.), W. H. Freeman and Company, San Francisco (Ca.).
- (1975), *Frame Representation and the Declarative-procedural Controversy* en **Representation and understanding: Studies in cognitive science**, D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), Academic Press, New York.

- WINSTON, P. (1975), *Learning Structural Descriptions from Examples en The Psychology of Computer Vision*, P. WINSTON (ed.), McGraw-Hill, New York.
- WINSTON, P. H. (1972), *The MIT Robot en Machine Intelligence*, vol. 7, B. MELTZER y D. MICHIE (eds.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- (1977), *Artificial Intelligence*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- WINSTON, P. H. y PRENDERGAST, K. A. (eds.), (1984), *The AI Business*, The MIT Press, Cambridge (Mass.).
- WITKOWSKY, M. (1980), *Planning techniques find optimal routes*, **Practical Computing**, Junio.
- WOODS, W. A. (1975), *What's in a link: foundations of semantic networks*, en **Representation and understanding: Studies in cognitive science**, D. G. Bobrow y A. Collins (eds.), Academic Press, New York.
- (1983), *What's important about Knowledge Representation?*, **Computer**, vol. 15, nº 10.
- (1986), *Important issues in knowledge representation en Proceedings of IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers)*, Computer Society, Octubre.
- WOODS, W. A. y otros (1972), *The Lunar Sciences Natural Language Information System*, BBN REPORT 2378, Bolt, Beranek & Newman, Cambridge (Mass.).
- WRIGHT, J. M. y FOX, M. S. (1983), **SRL/1.5 user manual**, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Diciembre, Pittsburgh (Pa.).
- (1984) *Teknowledge/Framentec launch M1 and S1: shells systems from PCs to VAXs*, **Expert Systems**, vol. 1, nº 2.
- XICLUNA, M. (1988), *Adjusting operating conditions of plastic packing machinery using expert systems*, en **Proceedings of the first International Workshop «Applications of Artificial Intelligence to Agricultural, Agrochemical & Food Processing Industries»**, Caen (France), 29-30 September.
- YAZDANI, M. (1989), *Building an expert system en Expert Systems. Principles and case studies*, 2ª edición, R. FORSYTH (ed.), Chapman and Hall Computing, London.
- YOUNG, R. M. (1979), *Productions Systems for Modelling Human Cognition*, en **Expert Systems in the Microelectronic Age**, E. MICHIE (ed.), Edinburgh University Press, Edinburgh.
- ZAHED, L.A. (1979), *A theory of approximate reasoning*, **Machine Intelligence**, vol. 9.



*Se acabó de imprimir este libro  
"Inteligencia artificial y sistemas expertos"  
en el taller de Nanuk, Producciones, S.L.  
el viernes once de abril de MCMXCVII.*