



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

“SISTEMAS EXPERTOS Y SUS APLICACIONES”

M O N O G R A F Í A:

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO
EN COMPUTACIÓN**

P R E S E N T A:

TOMÁS LEÓN QUINTANAR

ASESOR: LIC. EN COMP. LUIS ISLAS HERNÁNDEZ

PACHUCA DE SOTO, HGO. 2007

ÍNDICE

Introducción.	I
Justificación.	III
Objetivo General.	IV
Objetivos Particulares.	V
Dedicatoria	VI

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BÁSICOS.

1.1 Introducción.	2
1.2 Concepto de Inteligencia Artificial.	2
1.3 Historia de la Inteligencia Artificial.	3
1.4 Campos de la Inteligencia Artificial.	5
1.5 Los Sistemas Expertos.	7
1.6 Tipos de Sistemas Expertos.	8
1.7 Desarrollo histórico de los Sistemas Expertos.	11

CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

2.1 Introducción.	15
2.2 Definición de Sistema Experto.	15
2.3 Los expertos humanos.	16
2.4 Diferencias entre un experto y un no experto humano.	17
2.5 Diferencias entre un Sistema Experto y un programa tradicional.	17
2.6 Diferencias entre un Sistema Experto y un experto humano.	18
2.7 Ventajas de los Sistemas Expertos.	18
2.8 Forma en que los usuarios interactúan con los Sistemas Expertos.	18
2.9 Sistema Experto vs sistema clásico.	19

CAPÍTULO 3: REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

3.1 Introducción.	21
3.2 Definición de conocimiento	21
3.3 Lógica Proposicional.	23
3.4 Lógica de predicados.	24
3.5 Reglas de producción.	25
3.6 Redes asociativas.	25
3.7 Estructuras frame.	26
3.8 Representación orientada a objetos.	28

CAPÍTULO 4: COMPONENTES DE UN SISTEMA EXPERTO.

4.1 Introducción.	31
4.2 Base de conocimiento.	31
4.3 Motor de inferencia.	32
4.4 Componentes detallados de un Sistema Experto.	32
4.5 Arquitectura de un Sistema Experto.	33
4.6. Requerimientos para un Sistema Experto.	36
4.7 Metodologías para la construcción de Sistemas Expertos.	38
4.8 Lenguajes utilizados para la construcción de Sistemas Expertos.	40
4.9 Herramientas y shells utilizados en la construcción de Sistemas Expertos.	44

CAPÍTULO 5: TAREAS QUE REALIZAN LOS SISTEMAS EXPERTOS.

5.1 Introducción.	48
5.2 Interpretación, diagnóstico y monitoreo.	48
5.3 Diseño y selección.	49
5.4 Planificación.	50
5.5 Control.	50
5.6 Reparación, corrección o terapia.	50
5.7 Simulación, pronóstico o predicción.	51
5.8 Instrucción.	51
5.9 Recuperación de Información.	51

CAPÍTULO 6: INTRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS EN LA EMPRESA.

6.1 Introducción.	55
6.2 Consideraciones.	56
6.3 Posibilidad de un Sistema Experto.	58
6.4 Justificación.	59
6.5 Costo-Beneficio.	60

CAPÍTULO 7: CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

7.1 Introducción.	64
7.2 Medicina.	64
7.3 Contabilidad.	64
7.4 Planificación financiera.	65
7.5 Auditoria.	66
7.6 Militar.	68
7.7 Industria.	69
7.8 Electrónica, Informática y Telecomunicaciones.	69
7.9 Robótica.	69
7.10 Aeronáutica.	70

CAPÍTULO 8: EJEMPLOS DE SISTEMAS EXPERTOS EN EMPRESAS.

8.1 Introducción.	72
8.2 Sistema Experto DENDRAL.	72
8.3 Sistema Experto MYCIN.	72
8.4 Sistema Experto XCON.	73
8.5 Sistema Experto DIAVAL.	73
8.6 Sistema Experto ACE.	74
8.7 Sistema Experto KIWI.	74
8.8 Sistema Experto AIDE.	74
8.9 Sistema Experto AFIN.	74
8.10 Sistema Experto ALFEX.	74

8.11 Sistema Experto ANALISYS.	75
--------------------------------	----

CAPÍTULO 9 FUTURO Y TENDENCIAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

9.1 Introducción.	77
9.2 Inteligencia Artificial Distribuida.	77
9.3 Sistemas Expertos más grandes.	77
9.4 Reconocimiento del lenguaje natural.	77
9.5 Sistemas Expertos con redes neuronales.	78
9.6 Interfaces Inteligentes.	79
9.7 Visión Artificial.	79
9.8 Sistemas Expertos Evolutivos.	80
9.9 Consecuencias.	82
9.10 Visión crítica.	83

CONCLUSIONES.	85
----------------------	----

BIBLIOGRAFIA.	86
----------------------	----

INTRODUCCIÓN

Antes de la aparición de la computadora, el hombre ya se preguntaba si se le arrebataría el privilegio de razonar y pensar. En la actualidad existe un campo dentro de la inteligencia artificial al que se le atribuye esa facultad: el de los Sistemas Expertos. Estos sistemas permiten la creación de máquinas que razonan como el hombre, restringiéndose a un espacio de conocimientos limitado. En teoría pueden razonar siguiendo los pasos que seguiría un experto humano (médico, analista, empresario, etc.) para resolver un problema concreto. Este tipo de modelos de conocimiento por ordenador ofrece un extenso campo de posibilidades en resolución de problemas y en aprendizaje. Su uso se extenderá ampliamente en el futuro, debido a su importante impacto sobre los negocios y la industria.

A partir de la aparición de las computadoras hasta nuestros días, la gente ha invertido grandes esfuerzos por tratar de dar una cierta capacidad de decisión a estas máquinas, incluso un cierto grado de inteligencia.

Estos esfuerzos se han visto reflejados en los Sistemas Expertos, los cuales, en sí no tienen verdadera Inteligencia Artificial; más bien, es un sistema basado en el conocimiento que, mediante el buen diseño de su base de información y un adecuado motor de inferencias para manipular dichos datos proporciona una manera de determinar resoluciones finales dados ciertos criterios.

Los Sistemas Expertos son una herramienta poderosa en el apoyo o guía de los usuarios en los procesos que tienen una secuencia de pasos definida, pero que puede ser configurable.

El presente trabajo aborda el tema de Sistemas Expertos, debido a que son una herramienta cuya utilidad ya está comprobada, y que sin embargo, muchas personas desconocen y otras más no las aceptan todavía. Se desean presentar los aspectos generales de un Sistema Experto (en adelante SE), sus orígenes, componentes, construcción y utilización primordialmente, con el fin de crear conciencia en las empresas de que los SE representan una oportunidad innegable de modernización y mejoramiento de sus procesos.

A continuación se presenta de manera general el contenido de la presente monografía.

En el Capítulo 1, *Antecedentes y Conceptos Básicos*, se detallan los conceptos básicos de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Asimismo, se presenta con detalle la historia de la Inteligencia Artificial, desde la propuesta inicial de Turing sobre la inteligencia de las máquinas y la propuesta del modelo de la neurona del cerebro humano por Mc Culloch y Pitts hasta los primeros Sistemas Expertos, que fueron los primeros resultados de la Inteligencia Artificial con aplicación en problemas más cotidianos.

En el Capítulo 2, *Generalidades de los Sistemas Expertos*, se presenta una descripción de los Sistemas Expertos, así como también se presentan comparaciones entre diferentes tipos de expertos. El capítulo concluye con la mención de las ventajas y desventajas de estos tipos de expertos.

En el Capítulo 3, *Representación del Conocimiento*, se trata de dar una visión de las diferentes maneras en las que se puede adquirir el conocimiento, y su representación, como lo son la lógica proposicional, lógica de predicados, reglas de producción, redes asociativas, estructuras frame, representación orientada a objetos, así como sus ventajas y desventajas.

En el Capítulo 4, *Componentes de un Sistema Experto*, se da una idea de los componentes que integran un Sistema Experto, así como una descripción de cada uno de estos componentes.

El Capítulo 5, *Tareas que realizan los Sistemas Expertos*, es una descripción de los procesos en los cuales se utilizan los SE, tales como la interpretación, el diagnóstico, el diseño, la planificación, el control, la corrección y la simulación entre otros.

En el Capítulo 6, *Introducción de los Sistemas Expertos en la Empresa*, se abordarán las consideraciones que deben tomarse en cuenta antes de intentar arrancar un proyecto de implementación de un Sistema Expertos en el negocio. Muestra un bosquejo general de las preguntas que los profesionales de Tecnologías de Información (TI) deben hacerse para evaluar la situación del negocio respecto a este paradigma de solución de problemas.

En el Capítulo 7, *Campos de Aplicación de los Sistemas Expertos*, se muestran una serie áreas en las que los Sistemas Expertos tienen presencia debido a las características y necesidades inherentes a ellas.

Por último en el Capítulo 8, *Ejemplos de Sistemas Expertos en empresas*, se hace una recopilación de ejemplos de sistemas expertos los cuales han sido desarrollados en las empresas para agilizar sus procesos y en general aumentar su productividad.

En el capítulo 9, *El futuro y la tendencia de los Sistemas Experto*, se muestra una visión general de los sistemas expertos en un futuro, así como las nuevas técnicas de Inteligencia Artificial que harán posible estos nuevos proyectos.

JUSTIFICACIÓN

En todo México, el uso de Sistemas Expertos en empresas es muy pobre. Las empresas siguen utilizando el viejo paradigma de atención a los usuarios de manera presencial (personal, telefónica) o semipresencial (listas de correo). Estos modos de operación restringen seriamente la labor analítica del profesional de Tecnologías de Información.

Es por ello, que éste proyecto de investigación recopila la información necesaria sobre estos sistemas y sus aplicaciones, para incrementar su grado de difusión y una mayor aceptación de dentro del sector empresarial.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un proyecto de investigación sobre Sistemas Expertos y sus aplicaciones, tal que permita apoyar la toma de decisiones en la empresa, al momento de evaluar la factibilidad para la implementación de un sistema.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Incrementar la difusión de los Sistemas Expertos en el sector empresarial.
- Proporcionar una herramienta de investigación sobre Sistemas Expertos y aplicaciones al personal de tecnología de información.

DEDICATORIA

A Dios.

Gracias Padre Dios por tu sublime fuerza que me ha mantenido firme ante las más hostiles adversidades, gracias por estar siempre cerca de mí, gracias por permitirme alcanzar mis metas, y esta, no fue la excepción, gracias Dios.

A mi Padre.

Gracias Papá por tu incondicional apoyo, gracias por todo lo que me has enseñado a lo largo de mi vida, gracias por el enorme esfuerzo que hiciste por darme una carrera, carrera que hoy se ve al fin coronada con este trabajo, el cual es por ti y para ti. Gracias por convertirme en un hombre de bien, porque lo que ahora soy, te lo debo a ti. Gracias Papá.

A mi Madre.

Gracias Mamá por tu enorme cariño y apoyo, muchas veces tuve miedo de fallarte, pero tu enorme confianza depositada siempre en mí, me dio la fortaleza y la tenacidad para lograr lo que me propuse, y aquí está lo que aún faltaba. Gracias Mamá.

A mi esposa.

Gracias nena, por tanto amor, por tanto apoyo, por tu inquebrantable confianza en mí, gracias por llegar en el momento más crucial de mi vida, gracias por tu enorme ayuda en la realización de éste trabajo, y más aún por hacer legibles mis pensamientos, gracias por convertirte en coautora de este proyecto. Gracias nena por todo.

A mi hijo.

Como soslayar un momento tan importante, para expresar tanta gratitud, en este momento aún eres muy pequeño hijo, pero se que después de unos años podrás tomar este trabajo y leer estas palabras: “Gracias enano porque al mirar tus ojos, al contemplar tu sonrisa y ver como creces día con día, entiendo que no puedo ni debo fallarte, gracias por inspirarme para realizar este trabajo, gracias por llegar a mi vida Alex”.

A mi asesor.

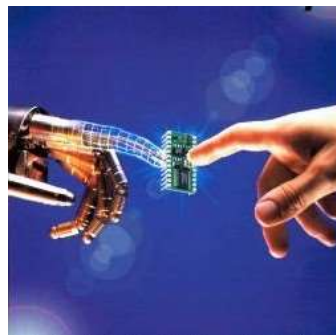
No hay palabras, gesto u expresión para darte mi enorme gratitud amigo, penosamente escribo esto: “más vale tarde que nunca”, créeme que sin tu apoyo, sin tu confianza y sobre todo, sin tu paciencia, este trabajo no habría sido posible, gracias por tantos consejos, gracias por compartir tu conocimiento conmigo y con muchos estudiantes. Gracias por tu comprensión en cada situación y más aún, gracias por tu incondicional amistad.

A mis profesores.

En mi experiencia de vida me he percatado que hay muy pocas oportunidades en la vida de convertirse en inmortal, y una de esas pocas oportunidades que existen es, siendo profesor, es la forma en que los immortalizamos, yo aún recuerdo de forma lucida cada uno de mis profesores, y donde quiera que estén, reciban un testimonio de gratitud por tanta enseñanza, por tanto apoyo, por sus consejos de vida, gracias por contribuir en nuestra formación, en especial, gracias a usted **Lic. Laura Salazar Viveros**.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BÁSICOS.



En este capítulo se abordan los antecedentes y conceptos básicos sobre Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos, así mismo se presenta la historia de la Inteligencia Artificial desde Turing hasta la creación de sistemas Expertos.

El objetivo de este capítulo es mostrar un panorama general sobre la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos para abordar con mayor claridad los siguientes capítulos.

1.1 Introducción.

Se sabe que una de las características de los seres vivos es la inteligencia, que todos tienen una capacidad o grado distinto de inteligencia, que depende de factores biológicos, psicológicos y de desarrollo mental, pero; que se entiende realmente por **Inteligencia**.

A continuación se revisarán algunos conceptos generales sobre inteligencia:

- **Inteligencia es la aptitud de crear relaciones.** Esta creación puede darse de manera puramente sensorial, como en la inteligencia animal; también puede darse de manera intelectual, como en el ser humano, que pone en juego el lenguaje y los conceptos.
- **Inteligencia**, también se la puede concebir como la habilidad para *adquirir, comprender y aplicar conocimiento; o como la aptitud para recordar, pensar y razonar*.
- **Inteligencia**, podemos también decir que es la capacidad para solucionar problemas lo cual requiere de conocimiento y relaciones.

Como se puede observar, los conceptos de inteligencia son relativos y variables pero en general están relacionados a la capacidad de crear relaciones y generar conocimiento para aplicarlos en la solución de problemas; está tácitamente demostrado que inteligencia y conocimiento son conceptos íntimamente ligados.

Finalmente se puede decir que el concepto de inteligencia es variable dependiendo del tipo de investigador; es decir los conceptos de inteligencia de un psicólogo, un antropólogo, un abogado u otro profesional pueden ser distintos y válidos para sus respectivas áreas.

1.2 Concepto de Inteligencia Artificial.

No existe una definición concreta de Inteligencia Artificial, pero la mayoría de los autores coinciden en que es, en esencia, lograr que una máquina tenga inteligencia propia, es decir: “La inteligencia artificial es una de las áreas más fascinantes y con más retos de las ciencias de la Computación ya que ha tomado a la inteligencia como la característica universalmente aceptada para diferenciar a los humanos de otras criaturas ya sean vivas o inanimadas, para construir programas o computadoras inteligentes.”¹

Esta es una definición es muy completa e interesante, pero no es la única, para algunos otros autores, la Inteligencia Artificial es el estudio de cómo hacer que las computadoras hagan cosas que, en estos momentos, hace mejor el hombre². Para otros, la Inteligencia Artificial (IA) es una ciencia que intenta la creación de programas para máquinas que imiten el comportamiento y la comprensión humana, que sea capaz de aprender, reconocer y pensar³.

¹ DE ÁVILA Ramos, Jorge. **Sistemas Expertos**.

URL(http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/sist_expe/)

² CRIADO Briz, José Mario. **Introducción a los Sistemas Expertos**.

URL(www.ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/index.php)

³ HURTADO Vega, José de Jesús. **Inteligencia Artificial**.

URL(<http://www.itlp.edu.mx/publica/boletines/actual/inteligencia.html>)

De Ávila Ramos, Jorge. **Sistemas Expertos**.

Pero sea cual sea el concepto, la inteligencia artificial está orientada a conseguir que las máquinas realicen trabajos donde se aplique la inteligencia, el razonamiento y el conocimiento de un ser humano.

1.3 Historia de la Inteligencia Artificial.

Desde tiempos muy remotos en la historia el hombre ha soñado con crear máquinas con inteligencia propia, muestra de esto pueden ser: el mito del coloso de Rodas entre los griegos, las estatuas "parlantes" del medioevo, el androide de Von Kempel en que jugó al ajedrez con Napoleón, y el "motor analítico" de Charles Babbage que calculaba logaritmos⁴; sin embargo estos intentos resultaron infructuosos, hasta 1943 cuando la base de la Inteligencia Artificial fue asentada, gracias a Warren Mc Culloch y Walter Pitts, quienes propusieron un modelo de neurona de cerebro humano y animal. Estas neuronas nerviosas informáticas proporcionaron una representación simbólica de la actividad cerebral. Un tiempo después, Nobeert Wiener tomó estas y otras ideas y las elaboró dentro de un mismo campo que se llamó Cibernética, a partir de cual nacería, la Inteligencia Artificial⁵.

Un evento que marcó en forma definitiva el ingreso de la Inteligencia Artificial en las Ciencias, fue el congreso en Dartmouth en 1956 en la cual se llegó a la definición de las presuposiciones básicas del núcleo teórico de la Inteligencia Artificial:

- El reconocimiento de que el pensamiento puede ocurrir fuera del cerebro, es decir, en máquinas.
- La presuposición de que el pensamiento puede ser comprendido de manera formal y científica.
- La presuposición de que la mejor forma de entenderlo es a través de computadoras digitales⁶.

En la década de los 50's, hubo dos corrientes de investigación tras la propuesta de Alan Turing sobre la inteligencia de las máquinas en su artículo "Maquinaria Computacional e inteligencia": la primera corriente fue fundada por John Von Neuman, quien trató de hacer analogías del cerebro humano y construyó a partir de esto las computadoras. Así, construyó varias máquinas que tomaban como base los conocimientos que hasta ese entonces existían sobre el cerebro humano, y diseñó los primeros programas que se almacenaban en la memoria de una computadora⁷.

La otra corriente fue la que inició Mc Culloch, quien decía que las leyes que gobiernan al pensamiento deben buscarse entre las reglas que gobiernan a la información y no entre las que gobiernan a la materia. Es decir, que a diferencia de Von Neuman, quien trataba de imitar las condiciones físico-químicas del cerebro, Mc Culloch se centró más en la forma en que el cerebro procesa la información.

⁴ ELGUEA, Javier. *Inteligencia artificial y psicología: la concepción contemporánea de la mente humana*.

URL(http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/itam/estudio/estudio10/sec_16.html)

⁵ HURTADO Vega, José de Jesús. Op. cit.

⁶ ELGUEA, Javier. Op. cit.

⁷ Ibid.

El trabajo realizado por Mc Culloch, quien se unió a Walter Pitts fue el primer trabajo de IA, y aportó conocimientos sobre la fisiología básica y funcionamiento de las neuronas en el cerebro, el análisis formal de la lógica proposicional de Russell y Whitehead y la teoría de computación de Turing. Ambos propusieron un modelo constituido por neuronas artificiales, en el que cada una de ellas se caracterizaba por estar “encendida” o “apagada”; el “encendido” se daba como respuesta a la estimulación producida por una cantidad suficiente de neuronas vecinas.

Una vez que se sentaron las bases de la IA, los investigadores de dicha ciencia se mostraron optimistas sobre el futuro de la nueva ciencia que acababa de nacer; algunos de ellos expresaron diversas predicciones acerca de lo que podía desarrollarse dentro de la IA. Por ejemplo, Herbert Simon en 1958 predijo que en un lapso de 10 años una computadora llegaría a ser campeona de ajedrez, y que sería posible realizar mediante la maquina la demostración de un nuevo e importante teorema matemático. Sin embargo, el obstáculo que enfrentó la mayoría de los proyectos de investigación en IA consistió en que aquellos métodos que demostraban funcionar en uno o dos ejemplos sencillos, fallaban rotundamente cuando se utilizaban en problemas mas variados o de mayor dificultad⁸.

Los primeros programas de IA fallan debido a que contaban con poco o ningún conocimiento de la materia objeto de estudio, un ejemplo de esto es el programa ELIZA de Weizenbaum, el cual aparentemente podía entablar una conversación seria sobre cualquier tema, sin embargo, lo único que hacía este programa era tomar prestadas y manipular las oraciones que mediante un teclado proporcionaba un ser humano.

Otro problema muy común en los primeros programas que intentaban simular el pensamiento humano era la intratabilidad de muchos de los problemas que se estaban intentando resolver mediante IA. La mayoría de los primeros programas de IA se basaban en la presentación de las características básicas de un problema y se sometían a prueba diversos pasos, hasta que se llegara a encontrar aquella combinación de estos que produjeran la solución esperada. Sin embargo, si una combinación sencilla no llegaba a la solución del problema a resolver, los primeros programas de IA no eran capaces de probar con combinaciones más complejas, por lo que se limitaban a mostrar un mensaje indicando que el problema no se podía resolver, cuando lo que en verdad sucedía era que el programa no estaba dotado con la suficiente “inteligencia” para resolver dicho problema.

La naturaleza de la resolución de problemas durante la primera década de la investigación de IA residía en un mecanismo de búsqueda de propósito general en el que se entrelazaban pasos de razonamiento elementales para encontrar así soluciones completas. A estos procedimientos se les han denominado métodos débiles, debido a que la información sobre el dominio con que cuenta es débil.

El programa DENDRAL de Buchann constituye uno de los primeros ejemplos de este enfoque. Fue diseñado en Stanford, donde Ed Feigenbaum, Bruce Buchanan y Joshua Lederberg colaboraron en la solución del problema de inferir una estructura molecular a partir de la información proporcionada por un espectrómetro de masas.

⁸ RUSSELL, Stuart y Peter Norving. *Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno*.

El programa se alimentaba con la fórmula elemental de la molécula ($C_6H_{13}NO_2$). La primera versión del programa generaba todas las posibles estructuras que correspondieran a la fórmula, luego predecía el espectro de masa que se observaría en cada caso, y comparaba estos con el espectro real. Así fue como comenzaron los primeros desarrollos e investigaciones sobre la Inteligencia Artificial.

1.4. Campos de la Inteligencia Artificial.

La Inteligencia Artificial se divide en campos de estudio los cuales se resumen en la siguiente figura:

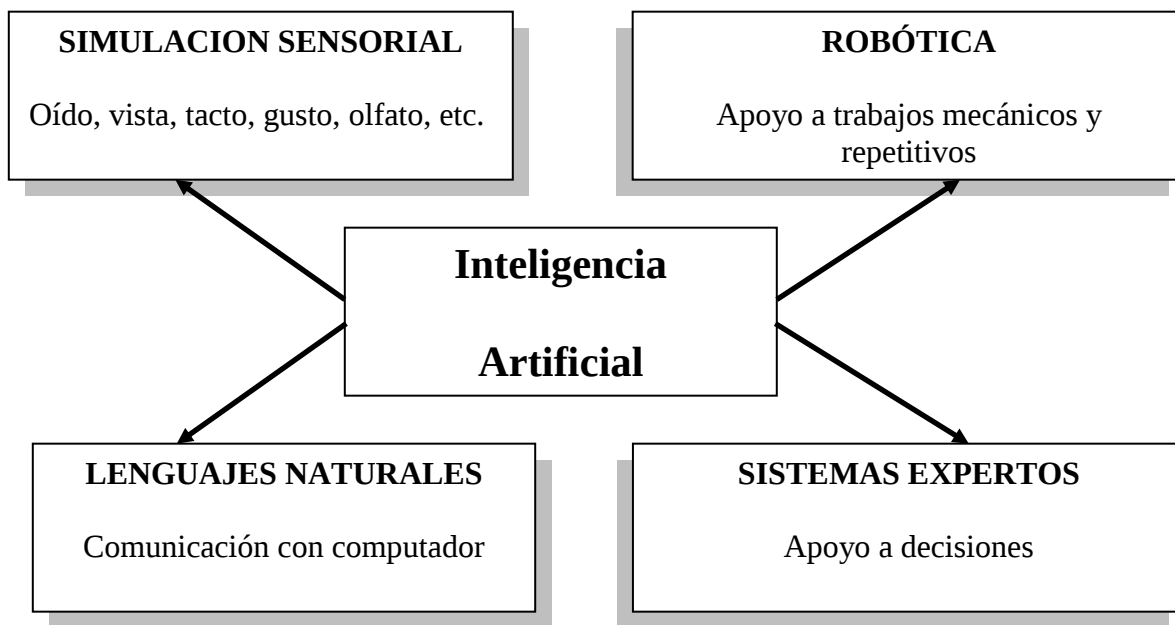


Figura 1.1 Áreas de estudio e investigación de la Inteligencia Artificial

Simulación Sensorial.

Área de la IA que a través de las computadoras persigue la imitación de las capacidades o habilidades sensoriales humanas tales como vista, oído, habla y tacto. Lo anterior incluye visión computacional, procesamiento de imágenes y reconocimiento de escenas.

Robótica.

Estudia la imitación del movimiento humano a través de robots, los cuales son creados con el fin de apoyar procesos mecánicos repetitivos que requieren gran precisión. Algunos procesos pueden ser: pintura y acabados, movimiento de materiales, reconocimiento de defectos, etc.

Lenguajes Naturales.

Se enfoca en el diseño y desarrollo de software capaz de aceptar, interpretar y ejecutar instrucciones dadas por los usuarios en su lenguaje nativo.

Sistemas Expertos, Sistemas basados en conocimientos o Sistemas con base de conocimientos.

Permiten cargar bases de conocimientos integradas por una serie de reglas de sentido común o conocimiento heurístico; es decir conocimiento basados u obtenidos a través de la experiencia de un especialista o experto dentro de un dominio específico del saber. Una vez cargada esta base de conocimientos múltiples usuarios la pueden usar para consulta, apoyo a la toma de decisiones, capacitación, etc.

Redes Neuronales.

Área de la Inteligencia Artificial que trata de simular el comportamiento biológico de las neuronas del cerebro humano en la resolución de problemas. Principalmente, se usa en el campo de los pronósticos.

Algoritmos genéticos.

Algoritmos basados en principios de GENETICA como herencia, mejoramiento de especies los cuales tratan de encontrar soluciones mejores a los problemas.

Con todo lo anterior, los campos diversos de la IA pueden comprender:

Aprendizaje:

- ✓ Captación automática de conocimientos.

Razonamiento:

- ✓ Sistemas basados en conocimientos o sistemas expertos.
- ✓ Bases de datos inteligentes.
- ✓ Prueba de teoremas y juegos.
- ✓ Redes Neuronales.
- ✓ Algoritmos Genéticos.

Percepción:

- ✓ Comprensión de lenguaje natural.
- ✓ Interpretación de escenas visuales (Visión por computadora).

Locomoción y Manipulación:

- ✓ Realizar procesos mecánicos y tareas manuales (Robótica).

Algunas de las **tareas** que estos sistemas realizan en el campo de la IA son:

Tareas generales:

- ✓ Percepción: Visión, Fonemas.
- ✓ Lenguaje Natural: Comprensión, generación y traducción.
- ✓ Razonamiento de sentido común.
- ✓ Control de robots.

Tareas formales:

- ✓ Juegos: Ajedrez, Damas.
- ✓ Matemáticas: Geometría, Lógica, Cálculo Integral.

Tareas expertas:

- ✓ Ingeniería: Diseño, Localización de fallas, Planeamiento.
- ✓ Análisis Científico.
- ✓ Diagnóstico Médico.
- ✓ Análisis Financiero.

1.5 Los Sistemas Expertos:

Se puede decir que los Sistemas Expertos son el primer resultado operacional de la Inteligencia artificial, pues logran resolver problemas a través del conocimiento y raciocinio de igual forma que lo hace el experto humano.

Un Sistema Experto (SE), es básicamente un programa de computadora basado en conocimientos y raciocinio que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano⁹; es decir, es un programa que imita el comportamiento humano en el sentido de que utiliza la información que le es proporcionada para poder dar una opinión sobre un tema en especial. Otros autores lo definen como sigue: un Sistema Experto es un programa de computadora interactivo que contiene la experiencia, conocimiento y habilidad propios de una persona o grupos de personas especialistas en un área particular del conocimiento humano, de manera que permitan resolver problemas específicos de ése área de manera inteligente y satisfactoria¹⁰. La tarea principal de un SE es tratar de aconsejar al usuario¹¹.

Los usuarios que introducen la información al SE son en realidad los expertos humanos, y tratan a su vez de estructurar los conocimientos que poseen para ponerlos entonces a disposición del sistema¹². Los SE son útiles para resolver problemas que se basan en conocimiento.

⁹ PARSAYE, Kamran, Mark Chignell, Setrag Khoshafian y Harry Wong. *Intelligent Databases*.

¹⁰ DE MIGUEL González, Luis Javier. *Técnicas de mantenimiento predictivo industrial basadas en Sistemas Expertos*. URL(<http://www.cartif.es/mantenimiento/expertos.html>)

¹¹ SCHILDT Herbert, *Utilización de C en Inteligencia Artificial*.

¹² CRIADO Briz, José Mario. *Sistemas Expertos*. URL(<http://home.worldonline.es/mariocr/>)

Las características principales de este tipo de problemas, según algunos autores, son:

- Utilizan normas o estructuras que contengan conocimientos y experiencias de expertos especializados.
- Se obtienen conclusiones a través de deducciones lógicas.
- Contienen datos ambiguos.
- Contienen datos afectados por factores de probabilidad¹³.

Con base en lo anterior, algunos investigadores de IA señalan que un SE debe cumplir con las siguientes características:

- Tener un amplio conocimiento específico del área de especialización.
- Aplicar técnicas de búsqueda.
- Tener soporte para Análisis Heurístico.
- Poseer habilidad para inferir nuevos conocimientos ya existentes.
- Tener la capacidad de procesar símbolos.
- Tener la capacidad para explicar su propio razonamiento¹⁴.

1.6 Tipos de Sistemas Expertos.

Hay muchos puntos de vista desde los cuales se pueden clasificar los Sistemas Expertos. Algunos de ellos son:

- **Por la forma de almacenar conocimiento:** se pueden distinguir *sistemas basados en reglas y sistemas basados en probabilidad*. Así en el primer caso, el conocimiento se almacena en forma de hechos y reglas, mientras que el segundo, la base de conocimientos está constituida por hechos y sus dependencias probabilísticas; en el primer caso el motor de inferencia opera mediante encadenamiento de reglas hacia atrás y adelante, mientras que el segundo caso opera mediante la evaluación de probabilidades condicionales. Finalmente también hay diferencias en la adquisición del conocimiento y el método de explicación. Una comparación de ambos casos puede verse en la tabla 1.1

En cuanto a las ventajas e inconvenientes de uno y otro puede mencionarse que en el caso de los *Sistemas Probabilísticos*, el motor de inferencia es muy rápido, ya que todas las implicaciones están presentes y solo se ha de determinar con que probabilidad se da una determinada implicación. En cuanto a los Sistemas basados en Reglas, la principal ventaja es el hecho de que el mecanismo de explicación es sencillo, al tener presente el sistema las reglas que han sido disparadas. Otra ventaja es que únicamente se emplean las reglas necesarias en cada caso, sin necesidad de evaluar toda una estructura probabilística.

¹³ CRIADO Briz, José Mario. *Sistemas Expertos*. Op. cit.¹⁴ ROLSTON, David W. *Principios de inteligencia artificial*.

Elementos	Modelo probabilístico	Modelo basado en reglas
Base de conocimiento.	Abstracto: Estructura probabilística (sucesos dependientes). Concreto: Hechos.	Abstracto: reglas
Motor de inferencia.	Evaluación de probabilidades condicionales (Teoremas de Bayes).	Encadenamiento hacia atrás y hacia delante.
Subsistema de explicación	Basado en probabilidades condicionales.	Basado en reglas activas.
Adquisición de conocimiento	Espacio probabilístico Parámetros.	Reglas. Factores de certeza.
Subsistema de aprendizaje	Cambio en la estructura del espacio probabilístico. Cambio en los parámetros.	Nuevas reglas. Cambio en los factores de certeza.

Tabla 1.1 Comparación entre sistemas basados en reglas y sistemas basados en probabilidad.

- **Por la naturaleza de la tarea a realizar:** así se tiene cuatro posibilidades:
 - *Diagnostico o Clasificación:* se conocen soluciones y se tratan de clasificarlas o diagnosticarlas en función de una serie de datos. Por ejemplo: sistema de diagnóstico medico.
 - *Monitorización:* análisis del comportamiento de un sistema buscando posibles fallos, en este caso es importante contemplar la evolución del sistema pues no siempre los mismos datos dan lugar a idénticas soluciones.
 - *Diseño:* se busca la construcción de la solución a un problema, que en principio es desconocida, a partir de datos y restricciones a satisfacer.
 - *Predicción:* se estudia el comportamiento de un sistema.

- **Por la interacción del usuario:**
 - *Apoyo:* el sistema aconseja el usuario, que mantiene la capacidad de una última decisión. Por ejemplo, el diagnóstico médico.
 - *Control:* el sistema actúa directamente sin intervención humana.
 - *Critica:* Su misión es analizar y criticar decisiones tomadas por el usuario.
- **Por la limitación de tiempo para tomar decisiones:**
 - *Tiempo ilimitado:* por ejemplo, aquellos que emplean conocimiento casual, que busca orígenes de un problema que ha ocurrido y cuyo análisis no necesita ser inmediato.
 - *Tiempo limitado (tiempo real):* sistemas que necesitan actuar controlando o monitorizando dispositivos y que han de tomar decisiones inmediatas frente a los problemas que surjan. Por ejemplo el control de una red de comunicaciones.
- **Por la variabilidad temporal del conocimiento:**
 - *Estáticos:* la base del conocimiento no se altera durante el proceso de decisión.
 - *Dinámicos:* ocurren cambios en la base de conocimiento durante la toma de decisiones. Estos cambios pueden ser predecibles o impredecibles y además pueden, bien añadir información, bien modificar la información ya existente.
- **Por la naturaleza del conocimiento almacenado:**
 - *Basado en experiencia:* el conocimiento se basa en experiencias o hechos ocasionados conocidos por el experto, pero sin que exista una causa clara para los efectos que se observan.
 - *Basado en relaciones causa-efecto.*
- **Por la certeza de la información:**
 - *Completa o perfecta:* se conocen todos los datos y reglas necesarios para la decisión.

- *Imperfecta*: que puede ser incompleta (falta información para tomar decisiones), Datos inciertos (o no confirmados), Conocimientos incierto (reglas no siempre validas), Terminología ambigua (dobles sentidos, etc.).

1.7 Desarrollo histórico de los Sistemas Expertos.

Los Sistemas Expertos como tales, surgen a mediados de los años sesenta; en esos tiempos, se creía que bastaban unas pocas leyes de razonamiento junto con potentes computadoras para producir resultados brillantes¹⁵. Los primeros investigadores que desarrollaron programas basados en leyes de razonamiento fueron Alan Newell y Herbert Simon, quienes desarrollaron el GPS (General Problem Solver).

Este sistema era capaz de resolver problemas como el de las torres de Hanoi y otros similares, a través de la criptoaritmética. Sin embargo, este programa no podía resolver problemas más “cotidianos” y reales, como, por ejemplo, dar un diagnóstico médico.

Entonces algunos investigadores cambiaron el enfoque del problema: ahora se dedicaban a resolver problemas sobre un área específica intentando simular el razonamiento humano. En vez de dedicarse a computarizar la inteligencia general, se centraron en dominios de conocimiento muy concretos¹⁶. De esta manera nacieron los Sistemas Expertos.

El primer SE que se aplicó a problemas más reales fue desarrollado en 1965 con el fin de identificar estructuras químicas: el programa se llamó DENDRAL. Lo que este Sistema Experto hacía, al igual que lo hacían los expertos de entonces, era tomar unas hipótesis relevantes como soluciones posibles, y someterlas a prueba comparándolas con los datos¹⁷. El nombre DENDRAL significa árbol en griego. Debido a esto, el programa fue bautizado así porque su principal tarea era buscar en un árbol de posibilidades la estructura del compuesto.

El siguiente SE que causó gran impacto fue el Mycin, en 1972, pues su aplicación era detectar trastornos en la sangre y recetar los medicamentos requeridos. Fue tal el éxito de Mycin que incluso se llegó a utilizar en algunos hospitales¹⁸. Para 1973, se creó Tiersias, cuya función era la de servir de intérprete o interfaz entre los especialistas que manejaban el Mycin cuando introducían nuevos conocimientos¹⁹. Tiersias entraba en acción cuando Mycin cometía un error en un diagnóstico, por la falta de información o por alguna falla en el árbol de desarrollo de teorías, corrigiendo la regla que generaba el resultado o bien destruyéndola.

Para 1980 se implantó en la Digital Equipment Corporation (DEC) el primer Sistema Experto: el XCON. Para esto se tuvieron que dedicar dos años al desarrollo de este SE. Y valió la pena para la compañía, pues aún cuando en su primer intento al implantarse en 1979 consiguió sólo el 20% del 95% de la resolución de las configuraciones de todas las computadoras que salieron de DEC, volvió al laboratorio de desarrollo otro año más, y a su regreso le resultó en un ahorro de 40 millones de dólares a dicha compañía.

¹⁵ SAMPER Márquez, Juan José. **Sistemas Expertos: El conocimiento al poder.**

URL(<http://www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm>).

¹⁶ Ibid.

¹⁷ ROOS, Rita. **Historia de los Sistemas Expertos.**

URL(<http://www.monografias.com/trabajos10/exper/exper.shtml>).

¹⁸ HURTADO Vega, José de Jesús. Op. cit.

¹⁹ ROOS, Rita. Op. cit.

Para los años comprendidos entre 1980 y 1985 se crearon diversos sistemas expertos, tales como el DELTA de la General Electric Company, el cual se encargaba de reparar locomotoras diesel y eléctricas, o como “Aldo en Disco”, que reparaba calderas hidrostáticas giratorias usadas para la eliminación de bacterias.

En esa misma época surgen empresas dedicadas a desarrollar Sistemas Expertos, las cuales que supusieron en conjunto una inversión total de más de 300 millones de dólares. Los productos más importantes que creaban estas nuevas compañías eran las "máquinas LISP", las cuales consistían en unas computadoras que ejecutaban programas LISP con la misma rapidez que en una computadora central.

Desgraciadamente para DEC, el SE que antes fuera un gran ahorro dejó de ser rentable en 1987, debido a que al actualizarlo llegaron a gastar más de dos millones de dólares al año para darle mantenimiento, por lo que su beneficio quedó en duda, y por lo tanto fue descontinuado; algo similar ocurrió con DELTA²⁰.

A continuación la Tabla 1.2 presenta de manera resumida los primeros Sistemas Expertos y sus aplicaciones²¹.

Sistema	Fecha	Autor	Aplicación
DENDRAL	1965	Stanford	Deduce información sobre estructuras químicas.
Macsyma	1965	MIT	Análisis matemático complejo.
HearSay	1965	Carnegie - Mellon	Interpreta en lenguaje natural un subconjunto del idioma.
Mycin	1972	Stanford	Diagnóstico de enfermedades de la sangre.
Tieresias	1972	Stanford	Herramienta para la transformación de conocimientos.
Prospector	1972	Stanford	Exploración mineral y herramientas de identificación.
Age	1973	Stanford	Herramienta para generar Sistemas Expertos.
OPS5	1974	Carnegie - Mellon	Herramientas para desarrollo de Sistemas Expertos.

²⁰ ROOS, Rita. Op. cit.²¹ ROLSTON, David. Op. cit.

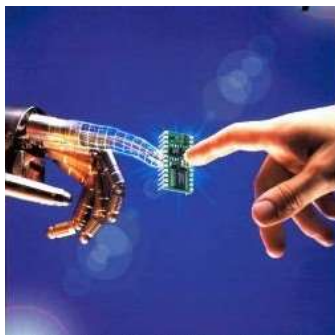
Continuación de la tabla 1.2

Sistema	Fecha	Autor	Aplicación
Caduceus	1975	University of Pittsburgh	Herramienta de diagnóstico para medicina interna.
Rosie	1978	Rand	Herramienta de desarrollo de Sistemas Expertos.
R1	1978	Carnegie - Mellon	Configurador de equipos d computación para DEC.

Tabla 1.2 Primeros Sistemas Expertos y sus aplicaciones.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.



En este capítulo se presenta las generalidades de los Sistemas Expertos así como algunas comparaciones entre diferentes expertos, así como la interacción de los humanos con los Sistemas Expertos.

El objetivo de este capítulo es mostrar el grado de deserción entre un sistema artificial y un sistema natural.

2.1 Introducción.

Desde su aparición, a mediados de 1960, los Sistemas Expertos se han definido como aquellos programas que se basan en el conocimiento y tratan de imitar el razonamiento de un experto para resolver un problema de un tópico definido. Su comportamiento se basa generalmente en reglas, es decir, se basa en conocimientos previamente definidos, y mediante estos conocimientos, los SE son capaces de tomar decisiones. Sería ilógico pensar que solo existe una definición de Sistemas Expertos, ya que tanto los SE como la propia IA han ido evolucionando a la par a través de los años²².

2.2 Definición de Sistema Experto.

En el Congreso Mundial de IA Feigenbaum se definió a los SE como:

- Un programa de computador inteligente que usa el conocimiento y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son lo suficientemente difíciles como para requerir la intervención de un experto humano para su resolución.

Sin embargo con los avances conseguidos hasta ahora esta definición ha cambiado, actualmente un SE define de la siguiente manera:

- Un SE es un sistema informático que simula los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirle con unas ciertas garantías de éxito²³.

Podemos agregar otro concepto actual, dado por la Asociación Argentina de Inteligencia Artificial:

- Los Sistemas Expertos permiten el desarrollo de otros sistemas que representan el conocimiento como una serie de reglas. Las distintas relaciones, conexiones y afinidades sobre un tema pueden ser compiladas en un Sistema Experto pudiendo incluir relaciones altamente complejas y con múltiples interacciones²⁴.

Las características mencionadas en las definiciones anteriores le permiten a un Sistema Experto almacenar datos y conocimiento, sacar conclusiones lógicas, ser capaces de tomar decisiones, aprender, comunicarse con expertos humanos o con otros Sistemas Expertos, explicar el razonamiento de su decisión y realizar acciones como consecuencia de todo lo anterior²⁵.

²² DE ÁVILA Ramos, Jorge. Op. cit.

²³ Ibid.

²⁴ ASOCIACIÓN ARGENTINA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL. **Glosario.**

URL(http://www.lafacu.com/apuntes/ingenieria/asocacion_argentina_de_inteligencia_artificial/asocacion_argentina_de_inteligencia_artificial.html)

²⁵ DE ÁVILA Ramos, Jorge. Op. Cit.

Un problema se presta a ser resuelto usando un Sistema Experto cuando:

- Una solución del problema tiene una rentabilidad tan alta que justifica el desarrollo de un sistema, pues las soluciones son necesidades del área y no se ha trabajado en otros métodos para obtenerla.
- El problema puede resolverse sólo por un conocimiento experto que puede dar forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema, y la intervención de experto dará al sistema la experiencia que necesita.
- El problema puede resolverse solamente por un conocimiento experto en vez de usar algoritmos particulares.
- Se tiene acceso a un experto que puede dar forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema. La intervención de este experto dará al sistema la experiencia que necesita.
- El problema puede o no tener una solución única. Los Sistemas Expertos funcionan mejor con problemas que tienen un cierto número de soluciones aceptables.
- El problema cambia rápidamente, o bien el conocimiento es el que cambia rápidamente, o sus soluciones son las que cambian constantemente.
- El desarrollo de un Sistema Experto no se considera que está acabado una vez que funciona este, sino que continúan desarrollando y actualizando tanto el conocimiento del sistema como los métodos de procesamiento, quedando reflejados los progresos o modificaciones en el campo, área o sistema²⁶.

2.3 Los expertos humanos.

Un experto humano es una persona que es competente en un área determinada del conocimiento o del saber. Un experto humano es alguien que sabe mucho sobre un tema determinado y que puede dar un consejo adecuado. Esta experiencia sólo se adquiere tras un largo aprendizaje y a base de mucha experiencia²⁷. Los expertos humanos tienen las siguientes características generales:

- Son personas raras, tanto por su escaso número como su comportamiento poco “ortodoxo” y e “incomprensible” frente a los problemas con los que se enfrentan.

- Son caros por dos motivos: por su escaso número y por necesitar un largo periodo de aprendizaje.

²⁶ GONZÁLEZ Ayala, Luis Enrique. **Sistemas Expertos**.
URL(<http://www.prodigyweb.net.mx/enrayala/Sistemas.htm>)

²⁷ BRIAN Keith y Steven Brain, **Inteligencia artificial en el dragón**.

- No están siempre disponibles, pues son humanos y cuando se jubilan o mueren se llevan con ellos todos sus conocimientos. Es por eso que tradicionalmente están acompañados de un “aprendiz”.
- Hay expertos que tienen mal carácter, son informales o poco comunicativos, lo que a veces les hace antipáticos.

La forma más rápida de formar a un experto es mediante el aprendizaje formal o académico (“conocimiento profundo”) en un principio, y posteriormente un aprendizaje informal o práctico (“conocimiento informal”).²⁸

2.4 Diferencias entre un experto y un no experto humano.

	Experto	No experto
Tiempo de Resolución	Pequeño	Grande
Eficacia Resolutiva	Alta	Baja
Organización	Alta	Baja
Estrategias y Tácticas	Sí	No
Búsqueda de Soluciones	Heurística	No Heurística
Cálculos Aproximados	Sí	No

Tabla 2.1 Diferencias entre un experto y un no experto humano.

El uso de heurísticas contribuye grandemente a la potencia y flexibilidad de los SE y tiende a distinguirlos aún mas del software tradicional.²⁹

2.5 Diferencias entre un Sistema Experto y un programa tradicional.

	Sistema Experto	Programa Tradicional
Conocimiento	En programa e independiente	En programa y circuitos
Tipo de datos	Simbólicos	Numéricos
Resolución	Heurística	Combinatoria
Def. problema	Declarativa	Procedimental
Control	Independiente. No secuencial	Dependiente. Secuencial
Conocimientos	Imprecisos	Precisos
Modificaciones	Frecuentes	Raras
Explicaciones	Sí	No
Solución	Satisfactoria	Optima
Justificación	Sí	No

Resolución	Área limitada	Específico
Comunicación	Independiente	En programa

Tabla 2.2 Diferencias entre un Sistema Experto y un Programa Tradicional.

²⁸ SÁNCHEZ y Beltrán, Juan Pablo. *Sistemas expertos: Una metodología de programación*.

²⁹ ROLSTON, David W. Op. cit.

2.6 Diferencias entre un sistema experto y un experto humano.

	Sistema experto	Experto humano
Conocimiento	Adquirido	Adquirido + Innato
Adquisición del conocimiento	Teórico	Teórico + Práctico
Campo	Único	Múltiples
Explicación	Siempre	A veces
Limitación de capacidad	Sí	Sí, no valuable
Reproducible	Sí, idéntico	No
Vida	Infinita	Finita

Tabla 2.3 Diferencias entre un Sistema Experto y un Experto Humano.

2.7 Ventajas de los Sistemas Expertos.

Las ventajas que se presentan a continuación son en comparación con los expertos humanos:

- Están siempre disponibles a cualquier hora del día y de la noche, y de forma interrumpida.
- Mantiene el humor.
- Pueden duplicarse (lo que permite tener tantos SE como se necesiten).
- Pueden situarse en el mismo lugar donde sean necesarios.
- Permiten tener decisiones homogéneas efectuadas según las directrices que se les fijen.
- Son fáciles de reprogramar.
- Pueden perdurar y crecer en el tiempo de forma indefinida.
- Pueden ser consultados por personas u otros sistemas informáticos.³⁰

2.8 Forma en que los usuarios interactúan con los Sistemas Expertos.

El usuario de un Sistema Experto puede estar operando en cualquiera de los siguientes modos:

Verificador. El usuario intenta comprobar la validez del desempeño del sistema.

Tutor. El usuario da información adicional al sistema o modifica el conocimiento que ya está presente en el sistema.

Alumno. El usuario busca rápidamente desarrollar pericia personal relacionada con el área específica mediante la recuperación de conocimientos organizados y condensados del sistema.

³⁰ SÁNCHEZ y Beltrán, Juan Pablo. Op. cit.

Cliente. El usuario aplica la pericia del sistema a tareas específicas reales.

El reconocimiento de las caracterizaciones anteriores contrasta con la percepción de un simple papel (el cliente) de los sistemas tradicionales de software.³¹

2.9 Sistema Experto vs. Sistema Clásico.

La siguiente tabla compara las características de ambos tipos de sistemas.³²

Sistema Clásico	Sistema Experto
Conocimiento y procesamiento combinados en un programa	Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento
No contiene errores	Puede contener errores
No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben	Una parte del sistema experto consiste en el módulo de explicación
Los cambios son tediosos	Los cambios en las reglas son fáciles
El sistema sólo opera completo	El sistema puede funcionar con pocas reglas
Se ejecuta paso a paso	La ejecución usa heurísticas y lógica
Necesita información completa para operar	Puede operar con información incompleta
Representa y usa datos	Representa y usa conocimiento

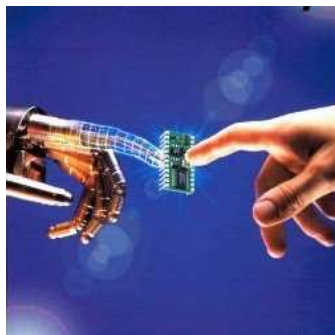
Tabla 2.4 Comparativa entre un Sistema Clásico y un Sistema Experto

³¹ ROLSTON, David W. Op. cit.

³² DE ÁVILA Ramos, Jorge. Op. cit.

CAPÍTULO 3

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.



Este capítulo aborda un panorama de las distintas formas mediante las cuales se puede adquirir el conocimiento así como sus representación, ya que esto es sumamente importante en la programación de Sistemas Expertos.

El objetivo del presente capítulo es presentar las formas probadas y que han dado resultados en la fase de adquisición de conocimiento, ya que es importante mencionar que esta es una de las fases más complejas en la fabricación de estos sistemas.

3.1 Introducción.

En Ciencias de la Información, se acostumbra a definir un continuo progresivamente complejo, integrado por los datos, la información, el conocimiento y la sabiduría. Así, se define al conocimiento como el conjunto organizado de datos e información destinados a resolver un determinado problema.

La ciencia obtiene conocimiento siguiendo un método denominado método científico o método experimental, y al conocimiento así obtenido se lo denomina conocimiento científico.

Sin embargo, el concepto de conocimiento es más general que el de conocimiento científico. Es así que las creencias religiosas constituyen un tipo especial de conocimiento, diferente del científico, aunque sí es fuente de conocimiento. Según Platón, el conocimiento se caracteriza por ser necesariamente verdadero (episteme). De otro modo, la mera creencia y opinión (ignorante de la realidad de las cosas) quedan relegadas al ámbito de lo probable y lo aparente.

Una certeza que el día de mañana probara ser falsa, en verdad nunca habría sido conocimiento. Y en efecto, esta vinculación entre conocimiento-verdad-necesidad forma parte de toda pretensión de conocimiento ora filosófico, ora científico, en el pensamiento occidental.

En general, para que una creencia constituya conocimiento científico no basta con que sea válida y consistente lógicamente, pues ello no implica de suyo su verdad. Así por ejemplo, téngase un sistema lógico deductivo consistente y válido. Niéguese la totalidad de las premisas del sistema, y se obtendrá un sistema igualmente consistente y válido, sólo que contradictorio al sistema previo. De tal manera, validez no garantiza verdad. Para que una teoría deba ser considerada como verdadera, deben existir, desde el punto de vista de la ciencia, pruebas que la apoyen. Es decir, debe poder demostrarse su verosimilitud empleando el método científico, también conocido como método experimental.

Ello sin embargo se ve seriamente complicado si se introducen interrogantes relativas a la suficiencia de dicho método, como por ejemplo, la transparencia de los hechos (¿existen los hechos puros o más bien interpretaciones?), la factibilidad de la pretensión de objetividad y neutralidad valórica (¿es posible la comprensión de la realidad desde un punto de vista neutro, tal como fuera el de un dios, o estamos condenados a perspectivas?), etc.

3.2 Definición de conocimiento.

El conocimiento es la comprensión adquirida, implica aprendizaje, concienciación y familiaridad con una o más materias; el conocimiento se compone de ideas, conceptos, hechos y figuras, teorías, procedimientos y relaciones entre ellos, y formas de aplicar los procedimientos a la resolución práctica de problemas.³³

³³ DE MIGUEL González, Luis Javier. Op. cit

El conocimiento que ha de funcionar en un SE es el conocimiento heurístico; el conocimiento heurístico es aquel conocimiento que ayuda a las personas o computadoras a aprender, es el uso de los conocimientos empíricos. Las reglas de pensamiento, los trucos, los procedimientos o cualquier tipo de información que nos ayuda en la resolución de problemas.

La representación del conocimiento es un esquema o dispositivo utilizado para capturar los elementos esenciales del dominio de un problema. Una representación manipulable es aquella que facilita la computación. En representaciones manipulables, la información es accesible a otras entidades que usan la representación como parte de un cómputo.

Debido a la variedad de formas que el conocimiento puede asumir, los problemas involucrados en el desarrollo de una representación del conocimiento son complejos, interrelacionados y dependientes del objetivo. En términos generales, el conocimiento debe estar representado de tal forma que:

- Capture generalizaciones.
- Pueda ser comprendido por todas las personas que vayan a proporcionarlo y procesarlo.
- Pueda ser fácilmente modificado.
- Pueda ser utilizado en diversas situaciones aún cuando no sea totalmente exacto o completo.
- Pueda ser utilizado para reducir el rango de posibilidades que usualmente debería considerarse para buscar soluciones.

El conocimiento declarativo puede ser representado con modelos relacionales y esquemas basados en lógica. Los modelos relacionales pueden representar el conocimiento en forma de árboles, grafos o redes semánticas. Los esquemas de representación lógica incluyen el uso de lógica proposicional y lógica de predicados.

Los modelos procedimentales y sus esquemas de representación almacenan conocimiento en la forma de cómo hacer las cosas. Pueden estar caracterizados por gramáticas formales, usualmente implantadas por sistemas o lenguajes procedimentales y sistemas basados en reglas (sistemas de producción).³⁴

En forma natural, el ser humano representa el conocimiento simbólicamente: imágenes, lenguaje hablado y lenguaje escrito. Adicionalmente, ha desarrollado otros sistemas de representación del conocimiento: literal, numérico, estadístico, estocástico, lógico.

³⁴ ARTEAGA, René y Juan Carlos Armijos. *Tutorial de programación Heurística*.

La ingeniería cognoscitiva ha adaptado diversos sistemas de representación del conocimiento que, implantados en un computador, se aproximan mucho a los modelos elaborados por la psicología cognoscitiva para el cerebro humano. Tradicionalmente la representación del conocimiento conlleva el uso de marcos (frames), redes semánticas, cálculo de predicados o sistemas de producción³⁵. Sin embargo, existen otros sistemas para la representación del conocimiento. Entre los principales sistemas se tienen:

Lógica Simbólica Formal:

- Lógica proposicional.
- Lógica de predicados.
- Reglas de producción.

Formas Estructuradas:

- Redes asociativas.
- Estructuras frame.
- Representación orientada a objetos.

3.3 Lógica Proposicional.

La lógica proposicional es la más antigua y simple de las formas de lógica. Utilizando una representación primitiva del lenguaje, permite representar y manipular aserciones sobre el mundo que nos rodea. La lógica proposicional permite el razonamiento a través de un mecanismo que primero evalúa sentencias simples y luego sentencias complejas, formadas mediante el uso de conectivos proposicionales, por ejemplo Y (AND), O (OR).

Este mecanismo determina la veracidad de una sentencia compleja, analizando los valores de veracidad asignados a las sentencias simples que la conforman.

La lógica proposicional permite la asignación de un valor verdadero o falso para la sentencia completa, pero no tiene la facilidad de analizar las palabras individuales que componen la sentencia.

La principal debilidad de la lógica proposicional es su limitada habilidad para expresar conocimiento.³⁶

³⁵ DE ALBORNOZ Bueno, Álvaro. Laboratorio de procesamiento de imágenes.

³⁶ Ibid.

3.4 Lógica de Predicados.

Existen varias sentencias complejas que pierden mucho de su significado cuando se les representa en lógica proposicional. Por esto se desarrolló una forma lógica más general, capaz de representar todos los detalles expresados en las sentencias, esta es la lógica de predicados.

La lógica de predicados está basada en la idea de que las sentencias realmente expresan relaciones entre objetos, así como también cualidades y atributos de tales objetos. Los objetos pueden ser personas, objetos físicos, o conceptos. Tales cualidades, relaciones o atributos, se denominan predicados. Los objetos se conocen como argumentos o términos del predicado.

Al igual que las proposiciones, los predicados tienen un valor de veracidad, pero a diferencia de las proposiciones, su valor de veracidad, depende de sus términos. Es decir, un predicado puede ser verdadero para un conjunto de términos, pero falso para otro.³⁷

3.4.1. Ventajas y desventajas de la lógica de predicados.

A continuación se presentan algunos aspectos característicos de la lógica de predicados y su implementación computacional, el lenguaje de programación PROLOG:

- **Manejo de incertidumbre.** Una de las mayores desventajas de la lógica de predicados es que sólo dispone de dos niveles de veracidad: verdadero y falso. Esto se debe a que la deducción siempre garantiza que la inferencia es absolutamente verdadera. Sin embargo, en la vida real no todo es blanco y negro. En cierta forma el PROLOG ha logrado mitigar esta desventaja, permitiendo la inclusión de factores de certeza.
- **Razonamiento monotónico.** La lógica de predicados al ser un formalismo de razonamiento monótono, no resulta muy adecuada para ciertos dominios del mundo real, en los cuales las verdades pueden cambiar con el paso del tiempo. PROLOG compensa esta deficiencia proporcionando un mecanismo para remover los hechos de la base de datos. Por ejemplo, en TURBO PROLOG se tiene la cláusula RETRACTALL.
- **Programación declarativa.** La lógica de predicados, tal como está diseñada en PROLOG, es un lenguaje de programación declarativo, en donde el programador sólo necesita preocuparse del conocimiento expresado en términos del operador de implicación y los axiomas. El mecanismo deductivo de la lógica de predicados llega a una respuesta (si esto es factible), utilizando un proceso exhaustivo de unificación

y búsqueda. A pesar de que la búsqueda exhaustiva puede ser apropiada en muchos problemas, también puede introducir ineficiencias durante la ejecución. Para lograr un cierto control en el proceso de búsqueda, PROLOG ofrece la operación de corte, CUT. Cuando no se utiliza el CUT, PROLOG se convierte en un lenguaje puramente declarativo.³⁸

³⁷ Ibid.

³⁸ Ibid.

3.5 Reglas de Producción.

La Representación del conocimiento en forma de reglas de producción fue propuesta por Post en 1943. La regla es la forma más común de representar el conocimiento, debido a su gran sencillez y a que es la formulación más inmediata del principio de causalidad. Una regla consta de un conjunto de acciones o efectos (una o más) que son ciertas cuando se cumplen un conjunto de condiciones o causas. La potencia de una regla está en función de la lógica que admita en las expresiones de las condiciones y de las conclusiones.

La conclusión se suele referir a la creación de un nuevo hecho válido, o la incorporación de una nueva característica a un hecho, mientras que la acción suele referirse a la transformación de un hecho.³⁹

3.5.1. Ventajas y desventajas de las reglas de producción.

Las ventajas que representan las reglas de producción son su carácter declarativo, su sencillez, su uniformidad - que permite la representación de conocimiento como de meta-conocimiento -, su independencia - que permite la supresión o inclusión sin que se vea afectado el resto de la base de conocimientos - y su modularidad al ser fácilmente agrupables.

La principal desventaja que presentan las reglas de producción, es la dificultad de establecer relaciones, para lo cual hay que recurrir al uso de meta reglas, lo que produce el crecimiento muy rápido del número de reglas, lo que hace lento el proceso de inferencia y conduce a la introducción repeticiones y lo que es peor, contradicciones.⁴⁰

3.6 Redes Asociativas.

Las redes semánticas o redes asociativas, fueron originalmente desarrolladas para representar el significado o semántica de oraciones en inglés, en términos de objetos y relaciones. Actualmente, el término redes asociativas ya no sólo se usa para representar relaciones semánticas, sino también para representar asociaciones físicas o causales entre varios conceptos u objetos.

Las redes asociativas se caracterizan por representar el conocimiento en forma gráfica. Agrupan una porción de conocimiento en dos partes: objetos y relaciones entre objetos. Los objetos se denominan también nodos (elementos del conocimiento) y las relaciones entre nodos se denominan enlaces o arcos. Cada nodo y cada enlace en una red semántica, deben estar asociados con objetos descriptivos.

Estas redes son muy apropiadas para representar conocimiento de naturaleza jerárquica. Su concepción se basa en la asociación de conocimientos que realiza la memoria humana. Las principales aplicaciones son: comprensión de lenguaje natural, bases de datos deductivas, visión por computadora y sistemas de aprendizaje.⁴¹

³⁹ RICH, Elaine y Kevin Knight. *Artificial Intelligence*.

⁴⁰ BRATKO Ivan. *Prolog programming for Artificial Intelligence*.

⁴¹ ANGULO Usategui, José María y Anselmo del Moral Bueno. *Guía fácil de la inteligencia*.

3.6.1. Ventajas y desventajas de las Redes Asociativas.

Las redes asociativas tienen dos ventajas sobre los sistemas basados en reglas y sobre los sistemas basados en lógica:

- Permiten la declaración de importantes asociaciones, en forma explícita.
- Debido a que los nodos relacionados están directamente conectados, y no se expresan las relaciones en una gran base de datos, el tiempo que toma el proceso de búsqueda por hechos particulares puede ser significativamente reducido.

Entre las desventajas de las redes asociativas, se pueden mencionar:

- No existe una interpretación normalizada para el conocimiento expresado por la red. La interpretación de la red depende exclusivamente de los programas que manipulan la misma.
- La dificultad de interpretación a menudo puede derivar en inferencias inválidas del conocimiento contenido en la red.

La exploración de una red asociativa puede derivar en una explosión combinatoria del número de relaciones que deben ser examinadas para comprobar una relación.⁴²

3.7 Estructuras frame.

Una plantilla (frame) es una estructura de datos apropiada para representar una situación estereotípica. Las plantillas organizan el conocimiento en objetos y eventos que resultan apropiados para situaciones específicas. La evidencia psicológica sugiere que la gente utiliza grandes plantillas para codificar el conocimiento de experiencias pasadas, o conocimiento acerca de cosas que se encuentran comúnmente, para analizar y explicar una situación nueva en su cotidiana actividad cognoscitiva.

Una plantilla representa un objeto o situación describiendo la colección de atributos que posee. Cada plantilla está formada por un nombre y por una serie de campos de información o ranuras (slots). Cada ranura puede contener uno o más enlaces (facets). Cada enlace tiene un valor asociado. Varios enlaces pueden ser definidos para cada ranura, por ejemplo:

- **Rango.** El conjunto de posibles valores para la ranura.
- **Valor.** El valor de la ranura.

- **Default.** El valor a ser asumido si no se especifica alguno.

Además los enlaces pueden ser procedimientos que residen en la base de datos y están aguardando para ser utilizados cuando se les necesite. Entre los más comunes se pueden mencionar:

⁴² ARTEAGA, René y Juan Carlos Armijos. Op. cit.

- **Si-Necesitado.** Procedimiento(s) para determinar el valor actual de una ranura.
- **Si-Agregado.** Procedimiento(s) a ejecutarse cuando un valor es especificado para una ranura.
- **Si-Modificado.** Procedimiento(s) a ejecutarse si el valor de una ranura es cambiado.

A estos procedimientos también se los denomina demons y representan un concepto poderoso en las plantillas, esto es, la habilidad de combinar conocimiento procedimental dentro de la estructura de conocimiento declarativo de la plantilla. Esto sugiere que una plantilla puede ser un medio poderoso de representación del conocimiento, especialmente si se la incorpora en una red de plantillas.⁴³

3.7.1. Ventajas y desventajas de los frames.

Las ventajas que se pueden establecer para los sistemas basados en plantillas son las siguientes:

- Facilidad de proceso guiado por las expectativas. Un sistema basado en plantillas, mediante los demons es capaz de especificar acciones que deben tener lugar cuando ciertas condiciones se han cumplido durante el procesamiento de la información.
- El conocimiento que posee un sistema basado en plantillas es significativamente más estructurado y organizado que el conocimiento dentro de una red asociativa.
- Las plantillas pueden ser estructuradas de tal forma que sean capaces de determinar su propia aplicabilidad en determinadas situaciones. En el caso de que una plantilla en particular no sea aplicable, puede sugerir otras plantillas que pueden ser apropiadas para la situación.
- Se puede fácilmente almacenar en las ranuras valores dinámicos de variables, durante la ejecución de un sistema basado en conocimiento. Esto puede ser particularmente útil para aplicaciones de simulación, planeamiento, diagnóstico de problemas o interfaces para bases de datos.

Las principales desventajas que se pueden establecer para la representación del conocimiento mediante plantillas, son:

- Dificultad de representar objetos que se alejen considerablemente de estereotipos.
- No tiene la posibilidad de acomodarse a situaciones u objetos nuevos.

⁴³ BENCHIMOL, Guy, Pierre Levine y Jean Charles Promerol. *Los sistemas expertos en la empresa*.

- Dificultad para describir conocimiento heurístico que es mucho más fácilmente representado mediante reglas.⁴⁴

3.8 Representación orientada a objetos.

Los objetos, son similares a las plantillas. Ambos sirven para agrupar conocimiento asociado, soportan herencia, abstracción y el concepto de procedimientos agregados. La diferencia radica en lo siguiente:

1. En las plantillas, a los programas y a los datos se los trata como dos entidades relacionadas separadas. En cambio en los objetos se crea una fuerte unidad entre los procedimientos (métodos) y los datos.
2. Los demons de las plantillas sirven sólo para computar valores para las diversas ranuras o para mantener la integridad de la base de conocimientos cada vez que una acción de alguna plantilla, afecta a otra. En cambio, los métodos utilizados por los objetos son más universales ya que proporcionan cualquier tipo general de computación requerida y además soportan encapsulamiento y polimorfismo.

Un objeto es definido como una colección de información que representa una entidad del mundo real y una descripción de cómo debe ser manipulada esta información, esto es, los métodos. Es decir, un objeto tiene un nombre, una caracterización de clase, varios atributos distintivos y un conjunto de operaciones. La relación entre los objetos viene definida por los mensajes. Cuando un objeto recibe un mensaje válido, responde con una acción apropiada, retornando un resultado.⁴⁵

3.8.1 Ventajas y desventajas de la representación orientada a objetos.

Los objetos, como forma de representación del conocimiento ofrecen las siguientes ventajas:

- Poder de abstracción.
- Encapsulamiento o capacidad de esconder información.
- Herencia, es decir pueden recibir características de sus ancestros.
- Polimorfismo, que permite crear una interfaz común para todos los diversos objetos utilizados dentro del dominio.

- Posibilidad de reutilización del código.
- Mayor facilidad para poder trabajar eficientemente con sistemas grandes.
- Las desventajas son similares a las que se indicaron para las plantillas:

⁴⁴ ARTEAGA, René y Juan Carlos Armijos. Op cit.

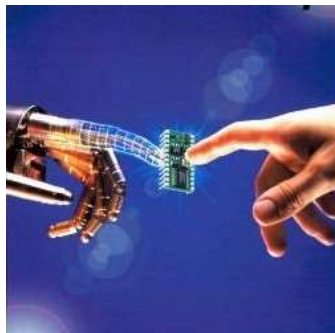
⁴⁵ Ibid.

- Dificultades para manejar objetos que se alejan demasiado de la norma.
- Dificultades para manejar situaciones que han sido encontradas previamente.⁴⁶

⁴⁶ Ibid

CAPÍTULO 4

COMPONENTES DE UN SISTEMA EXPERTO.



Este capítulo muestra una idea de los componentes que constituyen un Sistema Experto, una explicación de cada uno de estos componentes así como algunas de las metodologías utilizadas para la creación de Sistemas Expertos.

Este capítulo tiene como objetivo principal dar a conocer los componentes de un Sistema Experto, destacando el grado de importancia que tiene seguir una metodología para el proceso de desarrollo de Sistemas Expertos.

4.1 Introducción.

Los Sistemas Expertos, como ya se ha mencionado, son sistemas diferentes a los tradicionales, ya que estos son basados en conocimiento y por tal razón la arquitectura y funcionalidad es diferente, incluso la fabricación de estos es mucho más complicada y laboriosa que los sistemas algorítmicos tradicionales.

La arquitectura de un Sistema Experto está constituida por dos componentes principales de cualquier Sistema Experto son una **Base de conocimientos** y un **Programa de inferencia**, o también llamado **Motor de inferencias**.⁴⁷

4.2 Base de conocimiento.

1. La base de conocimientos del Sistema Experto con respecto a un tema específico para el que se diseña el sistema. Este conocimiento se codifica según una notación específica que incluye reglas, predicados, redes semánticas y objetos.
2. Las bases de conocimiento (KB: Knowledge Base) pertenecen a una etapa muy posterior. Surgieron a partir de la investigación en IA como respuesta a las necesidades que las aplicaciones de esta disciplina planteaban. Las bases de conocimiento son la evolución lógica de los sistemas de bases de datos tradicionales, en un intento de plasmar no ya cantidades ingentes de datos, sino elementos de conocimiento (normalmente en forma de hechos y reglas) así como la manera en que estos elementos han de ser utilizados.⁴⁸

También se les trata de dotar de conocimiento sobre sí mismas, es decir, una KB ha de "saber lo que sabe". Por ejemplo, ante una consulta determinada, una base de datos accederá a los datos almacenados en ella y dará una respuesta afirmativa o negativa, independientemente de que tenga o no la información relevante; en cambio, una KB respondería "sí", "no" o "no lo sé", en el caso de carecer de todos los datos pertinentes a la consulta.

Se dice que una base de datos almacena únicamente hechos, que son un reflejo de universo, llamado Universo de Discurso (UoD) determinado. Las funciones que el gestor de base de datos se limita a facilitar son, fundamentalmente, las de edición y consulta de los datos. Una base de conocimiento, por otra parte, puede almacenar, además de hechos, un

conjunto de reglas que se sirven de esos hechos para obtener información que no se encuentra almacenada de forma explícita. El tipo de base de conocimiento al que se dota de una considerable capacidad de deducción a partir de la información que contiene se denomina sistema experto.

Ambos sistemas de información cuentan con sus correspondientes gestores para simplificar al administrador las tareas comunes de mantenimiento: el sistema gestor de bases de datos (DBMS: Database Management System) y el sistema gestor de bases de conocimiento (KBMS: Knowledge Base Management System).

⁴⁷ DE MIGUEL González, Luis Javier. Op. cit

⁴⁸ CRIADO Briz, José Mario. *Sistemas Expertos*. Op. cit.

También encontramos diferencias sustanciales en este aspecto. Básicamente los DBMSs actuales se encuentran perfectamente estandarizados, ofreciendo un número de características y metodologías comunes que posibilitan la comunicación entre diversos tipos y productos comerciales. La comercialización de los KBMSs es prácticamente anecdótica, y los esfuerzos en cuanto a su estandarización se están produciendo en estos momentos, en lo que se ha dado en denominar KIF (Knowledge Interchange Format) (Genesereth & Fikes 1992).

4.3 Motor de inferencia.

El motor de inferencia, que es el que combina los hechos y las preguntas particulares, utilizando la base de conocimiento, seleccionando los datos y pasos apropiados para presentar los resultados.

4.4 Componentes detallados de un Sistema Experto.

Esta definición de las partes de un Sistema Experto es muy general, ahora se presenta una serie de componentes más detallados de un SE:

4.4.1 Subsistema de control de coherencia.

Este componente previene la entrada de información incoherente en la base de conocimiento. Es un componente muy necesario, a pesar de ser un componente reciente.

4.4.2 Subsistema de adquisición de conocimiento.

Se encarga de controlar si el flujo de nuevo conocimiento a la base de datos es redundante. Sólo almacena la información que es nueva para la base de datos.

4.4.3 Motor de inferencia.

Este componente es básico para un Sistema Experto; se encarga de obtener conclusiones comenzando desde el conocimiento abstracto hasta el conocimiento concreto. Si el conocimiento inicial es muy poco, y el sistema no puede obtener ninguna conclusión, se utilizará el subsistema de demanda de información.

4.4.4. Subsistema de demanda de información.

Completa el conocimiento necesario y reanuda el proceso de inferencia hasta obtener alguna conclusión válida. El usuario puede indicar la información necesaria en este proceso ayudado de una interfase de usuario (la cual facilita la comunicación entre el Sistema Experto y el usuario).

4.4.5. Subsistema de incertidumbre.

Se encarga de almacenar la información de tipo incierto y propaga la incertidumbre asociada a esta información.

4.4.6 Subsistema de ejecución de tareas.

Permite realizar acciones al Sistema Experto basadas en el motor de inferencia.

4.4.7 Subsistema de explicación.

Este componente entra en ejecución cuando el usuario solicita una explicación de las conclusiones obtenidas por el SE. Esto se facilita mediante el uso de una interfase.⁴⁹

4.5. Arquitectura de un Sistema Experto.

No existe una estructura de sistema experto común. Sin embargo, la mayoría de los sistemas expertos tienen unos componentes básicos: base de conocimientos, motor de inferencia, base de datos e interfaz con el usuario. Muchos tienen, además, un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento. La figura 4.1 muestra la estructura de un sistema experto ideal.

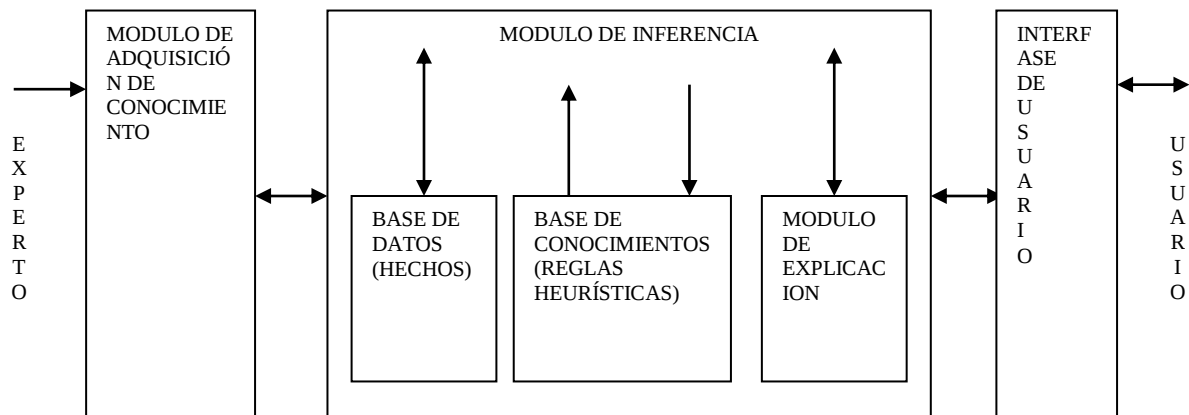


Figura 4.1 Estructura de un Sistema Experto.

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas.

Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el Sistema Experto.

⁴⁹ SELL, Peter. *Sistemas Expertos para principiantes*.

Las reglas suelen almacenarse en alguna secuencia jerárquica lógica, pero esto no es estrictamente necesario. Se pueden tener en cualquier secuencia y el motor de inferencia las usará en el orden adecuado que necesite para resolver un problema.⁵⁰

La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria la computadora que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

El motor de inferencias es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el Sistema Experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. La estrategia de control puede ser de encadenamiento progresivo o de encadenamiento regresivo. En el primer caso se comienza con los hechos disponibles en la base de datos, y se buscan reglas que satisfagan esos datos, es decir, reglas que verifiquen la parte SI. Normalmente, el sistema sigue los siguientes pasos:

- Evaluar las condiciones de todas las reglas respecto a la base de datos, identificando el conjunto de reglas que se pueden aplicar (aquellas que satisfacen su parte condición).
- Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción (esto último genera nuevos hechos que se añaden a la base de datos).
- Si se llega al objetivo, se ha resuelto el problema; en caso contrario, se vuelve al paso 1

A este enfoque se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. Cuando se utiliza este método, el usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema.

Al encadenamiento regresivo se le suele llamar guiado por objetivos, ya que, el sistema comenzará por el objetivo (parte acción de las reglas) y operará retrocediendo para ver cómo se deduce ese objetivo partiendo de los datos. Esto se produce directamente o a través de conclusiones intermedias o subobjetivos. Lo que se intenta es probar una hipótesis a partir de los hechos contenidos en la base de datos y de los obtenidos en el proceso de inferencia.

En la mayoría de los Sistemas Expertos se utiliza el encadenamiento regresivo. Este enfoque tiene la ventaja de que el sistema va a considerar únicamente las reglas que interesan al problema en cuestión. El usuario comenzará declarando una expresión E y el objetivo del sistema será establecer la verdad de esa expresión.

⁵⁰ SAMPER Márquez, Juan José. Op. cit.

Para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Obtener las reglas relevantes, buscando la expresión E en la parte acción (éstas serán las que puedan establecer la verdad de E)
2. Si no se encuentran reglas para aplicar, entonces no se tienen datos suficientes para resolver el problema; se termina sin éxito o se piden al usuario más datos.
3. Si hay reglas para aplicar, se elige una y se verifica su parte condición C con respecto a la base de datos.
4. Si C es verdadera en la base de datos, se establece la veracidad de la expresión E y se resuelve el problema.
5. Si C es falsa, se descarta la regla en curso y se selecciona otra regla.
6. Si C es desconocida en la base de datos (es decir, no es verdadera ni falsa), se le considera como sub-objetivo y se vuelve al paso 1 (C será ahora la expresión E).

Existen también enfoques mixtos en los que se combinan los métodos guiados por datos con los guiados por objetivos.

La interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al Sistema Experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede solicitar más información al SE si le es necesaria. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el SE.

La mayoría de los sistemas expertos contienen un módulo de explicación, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema cómo ha alcanzado una conclusión, éste le presentará la secuencia completa de reglas usada. Esta posibilidad de explicación es especialmente

valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del SE. Además, de esta forma, y con el tiempo suficiente, los usuarios pueden convertirse en especialistas en la materia, al asimilar el proceso de razonamiento seguido por el sistema. El subsistema de explicación también puede usarse para depurar el SE durante su desarrollo.

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el SE. Si el entorno es dinámico, entonces este componente es muy necesario, puesto que el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen.⁵¹

⁵¹ SAMPER Márquez, Juan José. Op. cit.

4.6. Requerimientos para un Sistema Experto.

La construcción de un SE no es una tarea sencilla, debido a que involucra mucha participación de distintas personas, cada una de las cuales aportará algo para que el SE a desarrollar sea robusto y fácil de usar y mantener. Además se deben hacer varias elecciones en cuanto al desarrollo del Sistema Experto.

La primera decisión consiste en determinar si se comenzará el SE desde cero o se utilizará un shell - que es un SE sin la base de conocimientos -. Si se opta por usar el shell se debe elegir el que más se adecue al objetivo del SE que se desea construir, ya que existen diversos shells de Sistemas Expertos encaminados hacia distintos objetivos.

Si por el contrario se opta por comenzar desde cero, se deberá entonces determinar qué metodología utilizar, es decir, determinar la guía para el desarrollo del SE, cómo se implementará la base de conocimientos y el motor de inferencia, principalmente; y como complemento se debe elegir el lenguaje que se va a utilizar para el proyecto.

Para desarrollar un SE primero se debe conocer el equipo de gente necesario, después los métodos que utiliza ese equipo de gente y por último cómo prueban y construyen prototipos de software para terminar en el sistema final.

Las personas que componen un grupo o un equipo, como en todos los ámbitos deben cumplir ciertas características y cada uno de ellos dentro del equipo desarrolla un papel distinto. A continuación se detalla cada componente del equipo dentro del desarrollo y cuál es la función de cada uno.

4.6.1 El experto.

La función del experto es la de poner sus conocimientos especializados a disposición del Sistema Experto.

4.6.2 El ingeniero del conocimiento.

Es el ingeniero que plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implementa en la base de conocimientos. Entre sus principales funciones destacan:

- Responsable de la fase de adquisición del conocimiento
- Participe de las fases de Modelización de conocimiento y evaluación

4.6.3 El usuario.

El usuario aporta sus deseos y sus ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el Sistema Experto.

En el desarrollo de un Sistema Experto, el ingeniero del conocimiento y el experto trabajan muy unidos. El primer paso consiste en elaborar los problemas que deben ser resueltos por el sistema. Precisamente en la primera fase de un proyecto es de vital importancia determinar correctamente el ámbito estrechamente delimitado de trabajo.

Aquí se incluye ya el usuario posterior, o un representante del grupo de usuarios. Para la aceptación, y en consecuencia para el éxito, es de vital y suma importancia tener en cuenta los deseos y las ideas del usuario.

Una vez delimitado el dominio, se alimenta el sistema con los conocimientos del experto. El experto debe comprobar constantemente que su conocimiento haya sido transmitido de la forma más conveniente. El ingeniero del conocimiento es responsable de una implementación correcta, pero no de la exactitud del conocimiento. La responsabilidad de esta exactitud recae en el experto.

De ser posible, el experto deberá tener comprensión para los problemas que depara el procesamiento de datos. Ello facilitará mucho el trabajo. Además, no debe ignorarse nunca al usuario durante el desarrollo, para que al final se disponga de un sistema que le sea de máxima utilidad.

La estricta separación entre usuario, experto e ingeniero del conocimiento no deberá estar siempre presente. Pueden surgir situaciones en las que el experto puede ser también el usuario. Este es el caso, cuando exista un tema muy complejo cuyas relaciones e interacciones deben ser determinadas una y otra vez con un gran consumo de tiempo. De esta forma el experto puede ahorrarse trabajos repetitivos.

La separación entre experto e ingeniero del conocimiento permanece, por regla general, inalterada.⁵²

4.6.4 Construcción de las principales partes de un SE.

Como ya se mencionó, los principales componentes de un SE son la base de conocimiento y el motor de inferencia. La metodología tradicional se enfoca principalmente a la construcción de dichos componentes.

La base de conocimiento.

La base de conocimiento es una base de datos que posee una información y unas reglas específicas sobre una materia o tema determinado. En la metodología tradicional, la base de conocimiento se conforma de objetos y atributos. Un objeto es una conclusión que es definida por sus atributos relacionados; y un atributo es una característica o cualidad específica que ayuda a definir un objeto.

La base de conocimiento se puede ver como una lista de objetos con sus reglas y atributos asociados. En el sentido más simple, la regla que se aplica para un atributo determina si un objeto “tiene” o “no tiene” determinado atributo. Por lo que un objeto se define usando una lista de atributos que el objeto posea o no.⁵³

⁵² CRIADO Briz, José Mario. *Sistemas Expertos*. Op. cit.

⁵³ SCHILDT Herbert. Op. cit

El motor de inferencia.

Para construir un motor de inferencia, existen tres métodos básicos: encadenamiento hacia adelante, encadenamiento hacia atrás y reglas de producción.⁵⁴

Método de encadenamiento hacia adelante.

A este método se le llama conducido por datos, porque el motor de inferencia utiliza la información que el usuario le proporciona para moverse a través de una red de operadores AND y operadores OR hasta que encuentra un punto terminal que es el objeto. Si el motor de inferencia no puede encontrar un objeto que cumpla con los requisitos, el SE pide más información. Los atributos que definen al objeto crean un camino que conduce al mismo objeto: la única forma de alcanzar dicho objeto es satisfacer todas sus reglas. En resumen el sistema de encadenamiento hacia adelante construye un árbol desde las hojas hasta la raíz.

Método de encadenamiento hacia atrás.

Este método es el contrario al método anterior. Un motor de inferencia de encadenamiento hacia atrás comienza con una hipótesis (objeto) y pide información para confirmarlo o negarlo. A este método se le llama conducido por objetos porque el SE empieza con un objeto e intenta verificarlo. En resumen, el encadenamiento hacia atrás poda un árbol, lo cual es lo contrario al método anterior, en el cual se construye un árbol.

Método de reglas de producción.

Este método es una mejora al método de encadenamiento hacia atrás. La teoría operativa general es que el sistema pide como información aquella que elimine la mayor incertidumbre posible. El problema que existe con este método está en su dificultad para llevarse a cabo, primeramente debido a que la base de conocimiento a menudo es tan grande que el número de combinaciones que el sistema puede soportar se rebasa fácilmente, por lo tanto, el sistema no puede determinar exactamente qué información eliminará una mayor incertidumbre. En segundo lugar, los sistemas de reglas de producción requieren que la base de conocimientos contenga no sólo la información objeto - atributo, sino además un valor cuantificador, lo que hace aun más difícil la construcción de la base de conocimientos.

4.7 Metodologías para la construcción de Sistemas Expertos.

4.7.1 Metodología de Prototipos.

En el desarrollo de Sistemas Expertos se nos plantean dos importantes riesgos:

- No existen implementaciones similares que puedan servir de orientación al encargado del desarrollo en casi la totalidad de los casos.
- En muchos puntos, los requisitos necesarios están esbozados con muy poca precisión.

⁵⁴ Ibid.

El diseño y la especificación requieren una temprana determinación de la interfaz del software y de la funcionalidad de los componentes. Durante el desarrollo, resulta apropiado empezar con implementaciones tipo test para encontrar el camino hacia una solución definitiva y para hacerlas coincidir con las necesidades del usuario.

Un método efectivo es la implementación de un prototipo de Sistema Experto que permita llevar a cabo las funciones más importantes de éste, aunque con un esfuerzo de desarrollo considerablemente inferior al de una implementación convencional. Este proceder se define bajo el nombre de 'Rapid Prototyping'. Para Sistemas Expertos, el 'Rapid Prototyping' es el procedimiento más adecuado, pues posibilita una rápida reacción a los deseos en constante cambio tanto por parte de los expertos como parte del usuario.⁵⁵

4.7.2 Metodología Orientada a Objetos.

La programación orientada a objetos (OOP en adelante) es un tipo de programación que provee una manera de modularizar programas estableciendo áreas de memoria particionadas para datos y procedimientos, que pueden ser usadas como plantillas para crear copias de tales módulos conforme se requieran.⁵⁶

Cada área de memoria a la que se refiere en el párrafo anterior es conocida como clase, mientras que las copias creadas a partir de la clase son llamadas objetos. La OOP tiene varias propiedades, entre las cuales destacan:

- **Abstracción.** Permite enfocarse en la solución general del problema, sin preocuparse de los detalles.
- **Encapsulación.** Es el concepto de que un objeto debería tener separada su interfaz de su implementación. Es decir, un objeto es visto como una "caja negra".
- **Polimorfismo.** Significa que un objeto se puede comportar de diversas maneras, dependiendo del contexto en el que se encuentre.

- **Herencia.** Significa que se pueden crear clases que “hereden” el comportamiento de una o más clases padre; y que además añadan su propio comportamiento.

El concepto de encapsulación evita que se pueda modificar el estado interno de un objeto por el código cliente que lo utiliza, es decir solamente el código mismo del objeto puede modificar el estado interno del mismo. Esto se puede aprovechar en la construcción de SE creando clases que correspondan a los componentes de un SE.

Por lo tanto si se utiliza la metodología orientada a objetos a la construcción de SE, se debe crear una clase que contenga el código referente a la base de conocimiento.

⁵⁵ CRIADO Briz, José Mario. *Sistemas Expertos*. Op. cit.

⁵⁶ TELLO, Ernest. *Object oriented programming for artificial intelligence*.

Si dicha base de conocimiento es un conjunto de objetos con sus propiedades, entonces dicha clase será una clase contenedor de objetos de otra clase, los cuales contendrán el nombre del objeto y una lista de atributos.

De manera similar, el motor de inferencia se implementa como una clase, la cual contiene encapsulada toda la lógica que hace que funcione el SE, es decir si se implementa usando encadenamiento hacia adelante, encadenamiento hacia atrás o reglas de producción, dicha implementación estará contenida dentro de la clase.

Esta metodología tiene diversas ventajas, entre las cuales destaca el hecho que cualquier modificación o mantenimiento que se le quiera realizar a un determinado componente no afectará al otro y viceversa. Tello propone crear especializaciones o jerarquías de clases (usando herencia) que incluyan métodos que permitan a los objetos modificarse a sí mismos, logrando con esto que un SE aprenda por sí mismo, modificando su base de conocimiento sin modificar los demás componentes. Otra ventaja de la OOP es que mediante la herencia, las clases hijas heredarán el comportamiento de las clases padres, evitando con esto, tener que incluir código redundante en las especializaciones.⁵⁷

4.8 Lenguajes utilizados para la construcción de Sistemas Expertos.

4.8.1 LISP.

LISP, acrónimo de lenguaje de Procesamiento de Listas, fue inventado por John McCarthy y su equipo en la Universidad de Stanford a finales de 1950. Originalmente fue creado como un modelo computacional de procesos matemáticos, reflejando el rigor de las propias matemáticas.⁵⁸

LISP actualmente está diseñado para manejar símbolos matemáticos (variables), por lo que es utilizado perfectamente para la investigación en IA, donde un símbolo puede representar cualquier cosa. LISP tiene dos características principales que lo hacen sobresalir de entre los demás lenguajes para IA; primero, es altamente flexible, es decir, es posible escribir un programa LISP para producir cualquier comportamiento deseable de la computadora; segundo, es indefinidamente extensible, lo que significa que si como programador siente que a LISP le falta alguna característica, puede escribir un programa

LISP que provea dicha característica y hacer que ese programa forme parte de su LISP personal.

LISP utiliza un ciclo llamado leer - evaluar - imprimir. Cuando el programador teclea algo en LISP, el lenguaje toma lo que se ha tecleado, intenta responder de cualquier forma y después despliega dicha respuesta en la pantalla. El término en LISP usado para “ver lo que se ha tecleado” es leer; el término usado para “tratar de responder de cualquier forma” es evaluar; y el término usado para “desplegar la respuesta en la pantalla” es imprimir. Si hubiera una persona en vez de una máquina en frente del programador, diríamos que dicha persona estaría escuchando, comprendiendo y respondiendo al programador.⁵⁹

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ HASEMER, Tony y John Domingue. *Common LISP Programming for Artificial Intelligence*.

⁵⁹ Ibid.

LISP utiliza los siguientes conceptos característicos:

- **Listas y Átomos.** La estructura más importante es la lista. Los átomos pueden subordinarse a cualidades.
- **La Función.** Cada función LISP y cada programa LISP tienen estructura de lista. Los programas no pueden distinguirse sintácticamente de los datos. LISP ofrece sus propias funciones básicas.
- **Forma de Trabajo.** LISP es un lenguaje funcional. Ofrece la posibilidad de realizar definiciones recursivas de funciones. La unión de procedimientos se realiza de forma dinámica, es decir en plena ejecución, no como en otros lenguajes de programación. El sistema realiza automáticamente una gestión dinámica de memoria.
- **Los átomos son números, cadenas de caracteres o símbolos.** Un símbolo puede tener varios valores, al igual que una variable en otros lenguajes de programación, como por ejemplo un número, o también puede ser el nombre de una función, o incluso ambos. Además a un símbolo se le pueden subordinar cualidades, que además del valor del símbolo, contienen información adicional. Estas cualidades también reciben el nombre de atributos.

Un componente importante de un sistema LISP es la gestión dinámica de la memoria. El sistema administrará el espacio en la memoria para las listas en constante modificación, sin que el usuario lo deba solicitar. Libera los espacios de memoria que ya no son necesarios y los pone a disposición de usos posteriores. La necesidad de este proceso se deriva de la estructura básica de LISP, las listas, que se modifican de forma dinámica e ilimitada.

Además un sistema LISP abarca bastante más que el solo intérprete del lenguaje LISP. Consta de algunos cómodos módulos que ofrecen ayuda en el desarrollo y control del progreso en programas, como son el Editor, el File-System y el Trace. Por supuesto estos módulos sólo están en versiones de LISP que contengan la conocida interfaz gráfica IDE (entorno de desarrollo integrado) típica de los modernos lenguajes visuales.

Como se ha descrito antes, la estructura más importante en LISP es la lista por lo que, para los que no lo conocen se planteará un pequeño ejemplo:

(A (B C) D) es una lista con tres elementos

A átomo

(B C) lista de átomos B y C

D átomo

También está permitida una lista vacía , "()" ó " NIL" , que significa lo mismo.

Con esta estructura podemos configurar estructuras de cualquier complejidad, tan grandes como queramos.

Los átomos son números, cadenas de caracteres o símbolos. Un símbolo puede tener varios valores, al igual que una variable en otros lenguajes de programación, como por ejemplo un número, o también puede ser el nombre de una función, o incluso ambos. Además a un símbolo pueden subordinarse cualidades, que además del valor del símbolo, contienen información adicional. Estas cualidades también reciben el nombre de atributos.

Para los más interesados en el funcionamiento de este lenguaje, voy a explicar brevemente alguna característica de cómo esta implementado LISP, y de cómo "funciona por dentro".

Componentes de un sistema LISP.

Un componente importante de un sistema LISP es la gestión dinámica de la memoria. El sistema administrará el espacio en la memoria para las listas en constante modificación, sin que el usuario lo deba solicitar. Libera los espacios de memoria que ya no son necesarios y los pone a disposición de usos posteriores. La necesidad de este proceso se deriva de la estructura básica de LISP, las listas, que se modifican de forma dinámica e ilimitada.

Además un sistema LISP abarca bastante más que el solo intérprete del lenguaje LISP. Consta de algunos cómodos módulos que ofrecen ayuda en el desarrollo y control del progreso en programas, como son el Editor, el File-System y el Trace. Por supuesto estos módulos sólo están en versiones de LISP que contengan la conocida interfaz gráfica IDE típica de los modernos lenguajes visuales. (IDE = entorno de desarrollo integrado).

4.8.2 CLIPS.

CLIPS es otra herramienta para el desarrollo de SE que ofrece un entorno completo para su construcción basado en reglas y objetos. CLIPS está siendo utilizado por numerosos usuarios como la NASA (que es su creadora), muchas universidades y empresas. CLIPS viene de (C Language Integrated Production System) y como su nombre indica uno de los objetivos que buscaban sus creadores era la fácil integración con programas en C. Así, al

darle una portabilidad con programas en lenguaje C, las universidades que lo usan pueden trasladar fácilmente sus aplicaciones al entorno del agente.⁶⁰

4.8.3 Prolog.

Prolog es un lenguaje de programación que se centra alrededor de un conjunto pequeño de mecanismos, incluyendo reconocimiento de patrones, estructuras de datos basadas en árboles y backtracking (retroceso) automático. Este conjunto pequeño constituye una estructura de programación sorprendentemente poderosa y flexible. Prolog es ideal para resolver problemas que involucren objetos - en particular objetos estructurados - y relaciones entre ellos. Por ejemplo, un ejercicio muy sencillo en Prolog es expresar relaciones espaciales, de la forma: “la esfera azul detrás de la verde”.⁶¹

⁶⁰ BAÑARES, José Ángel. Herramientas para las asignaturas del IAIC.

URL(<http://diana.cps.unizar.es/IA/noticias.html>)

⁶¹ BRATKO Iván. Op. cit.

Prolog nació en Europa, y fue implementado primeramente para dar soporte al Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN). Prolog trabajaba (y sigue haciéndolo hasta nuestros días) esencialmente con la lógica matemática.⁶² Bratko completa el comentario afirmando que Prolog nació de una idea de programación lógica que emergió a principios de 1970, para usar la lógica como un lenguaje de programación.⁶³

Prolog tiene cierto vigor híbrido en el sentido de que contiene características declarativas de la lógica computacional matemática y algunos aspectos procedurales de la programación convencional. En vez de escribir un procedimiento con una secuencia de pasos, un programador Prolog escribe un conjunto declarativo de reglas y hechos con sus respectivas relaciones. Debido a esto, los diagramas de flujos y las técnicas convencionales de programación no aplican en Prolog.

Walker afirma que niños de 10 años de edad encuentran a Prolog como un lenguaje sencillo de aprender. Pero los programadores profesionales con muchos años de experiencia a menudo lo encuentran revuelto y confuso. Lo revuelto de Prolog es su simplicidad y que no tiene las características más comunes de los lenguajes procedurales.⁶⁴

Entre tales características con las que no cuenta Prolog se encuentran:

- Sentencias de asignación.
- Sentencias goto.
- Sentencias if - then - else.
- Ciclos do, ciclos for y ciclos while.

Sin embargo, Prolog compensa tales características con las siguientes, las cuales lo hacen un lenguaje poderoso para la representación del conocimiento:

- Predicados que expresan relaciones entre entidades.

- Un método para definir predicados mediante reglas de aserción y hechos.
- Un método para hacer preguntas para comenzar cálculos.
- Un procedimiento de búsqueda hacia atrás para evaluar metas.
- Estructura de datos que pueden simular registros estilo Pascal o listas estilo Lisp.
- Un reconocedor de patrones que construye y analiza las estructuras de datos.
- Un conjunto de predicados preconstruidos para aritmética, entrada y salida y servicios de sistemas.

⁶² WALKER Adrian, Michael Mc Cord, John Sowa y Walter Wilson. **Knowledge . Based Systems and Prolog.**

⁶³ BRATKO Ivan. Op. cit.

⁶⁴ WALKER Adrian, Michael Mc Cord, John Sowa y Walter Wilson. Op. cit

4.8.4 Smalltalk.

Smalltalk fue el primer lenguaje de programación que fue diseñado para basarse exclusivamente en objetos. Fue originalmente inventado por Alan Kay en Xerox PARC en 1972, pero mucha gente le ha hecho importantes contribuciones al diseño del lenguaje. Este lenguaje se ha convertido en una opción muy popular en diversos campos como los videojuegos y la Inteligencia Artificial.

Virtualmente todo lo que existe en un sistema Smalltalk es una instancia de una clase particular de objeto y generalmente puede haber tantas instancias como se deseen. Esto significa que se pueden tener cualquier número de instancias de cualquier característica del sistema activas al mismo tiempo.⁶⁵

4.8.5 C y C++.

C es uno de los lenguajes de programación más populares en uso. Proporciona un esqueleto estructurado sin límites para la creatividad del programador; una de las ventajas de C sobre otros lenguajes usados para investigación en IA es que es un lenguaje estructurado y además, si su aplicación no requiere usar la técnica Backtracking ni los recursos de una base de datos, estos no se convierten en un peso extra que debe soportar la aplicación.

No hay una sola técnica de IA que no pueda ser desarrollada en un lenguaje procedimental como lo es C. De hecho, el desarrollo de ciertas rutinas es en verdad más claro en C que un lenguaje de IA.

En cuanto a C++ se puede decir que es una extensión orientada a objetos de C, la cual permite utilizar la metodología orientada a objetos para la creación de diversos sistemas y programas, incluso los de IA.⁶⁶

4.9 Herramientas y shells utilizados en la construcción de SE.

Inicialmente cada SE que se creaba se construía a partir de un lenguaje de IA tal como LISP. Pero después de que muchos SE se construyeron así, quedó claro que estos sistemas estaban contruidos como un conjunto de representaciones declarativas (reglas) combinado con un intérprete de estas representaciones; también quedó claro que era posible separar el intérprete del conocimiento específico del dominio y por lo tanto se podían crear sistemas que podían ser usados para construir nuevos SE agregando simplemente conocimiento correspondiente al dominio del nuevo problema.

Así nacieron los shells los cuales sirven como base para muchos SE, ya que proporcionan mucha flexibilidad en representación del conocimiento y razonamiento, así como adquisición de conocimiento.⁶⁷

⁶⁵ TELLO, Ernest. Op. cit.

⁶⁶ SCHILDT Herbert. Op. cit.

⁶⁷ RICH Elaine y Kevin Knight. Op. cit.

A continuación se mencionan algunos de los principales shells de SE, que como ya se mencionó, son SE sin su base de conocimiento, es decir, se pueden utilizar de forma genérica para cualquier tema.

4.9.1 Gold Works II.

Esta herramienta de programación creada por Gold Hill Computers Inc. se ejecuta bajo LISP y utiliza la metodología orientada a objetos. Este programa corre en computadoras IBM compatibles, Macintosh y estaciones de trabajo Sun.

Las características que realzan a este programa incluyen una herramienta dinámica de gráficos que permite la creación de imágenes activas así como también permite desarrollar interactivamente interfaces gráficas dinámicas sin tener que escribir ni una línea de código; también se incluyen visores orientados a gráficos para marcos, reglas y afirmaciones (aserciones). Se integra fácilmente con C.

4.9.2 ART.

ART es una herramienta que tiene un número de características poderosas para el desarrollo de SE, por ejemplo, permite la construcción de varios escenarios o mundo hipotéticos, los cuáles pueden ser explorados automáticamente para determinar su deseabilidad. De esta forma varios escenarios alternos pueden ser explorados para probar un plan estratégico dado con un conjunto de sentencias dado.

La característica de esquema es otro aspecto de este programa el cual provee una representación orientada a objetos para sistemas que solucionan problemas basados en conocimientos.⁶⁸

4.9.3 LOOPS.

LOOPS fue desarrollado en el Xerox PARC en 1983. Una de las ideas centrales en el diseño del ambiente LOOPS es proveer un sistema de programación de IA que pueda soportar una estructura de múltiples paradigmas que permitan tantas opciones de entre paradigmas de programación como sea posible. La versión actual soporta cuatro paradigmas de programación principales: el paradigma orientado a objetos, el paradigma basado en reglas, el paradigma orientado a accesos y el paradigma procedural normal. Como cualquier otro sistema de programación orientado a objetos, LOOPS permite la creación de jerarquías de clases e instancias de dichas clases.

4.9.4 KEE.

KEE, acrónimo de Ambiente de Ingeniería del Conocimiento, de IntelliCorp es una de las herramientas de desarrollo orientados a objetos de SE más avanzada en la actualidad. Hoy en día tiene un considerable uso en esfuerzos mayores de desarrollo tanto en el sector comercial como en el gobierno.

⁶⁸ TELLO Ernest. Op. cit.

Las funciones en KEE se implementan como extensiones de LISP, de manera que todo el vocabulario del lenguaje LISP puede usarse en conjunción con las funciones predefinidas. El sistema entero esta construido en una estructura de objetos, que en el ambiente son llamados unidades.

4.9.5 Humble.

Humble es un Shell orientado a objetos para SE escrito en Smalltalk que combina reglas con encadenamiento hacia delante y hacia atrás con representación de objetos, paso de mensajes y uso de objetos. Las reglas de sintaxis usadas en Humble son una versión modificada de la sintaxis de Smalltalk. A diferencia de la mayoría de los shells, Humble tiene la capacidad de construir bloques if - then - else.

La característica principal de Humble es que las reglas operan sobre entidades. Las entidades son un importante tipo de objeto que tiene una representación específica. En las aplicaciones las entidades se categorizan en un número de tipos diferentes los cuáles son definidos por el desarrollador o por el Ingeniero de conocimientos.

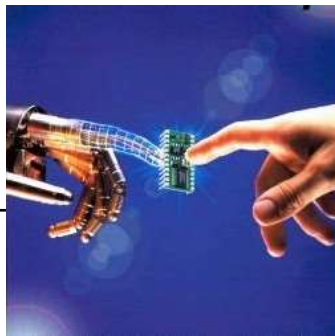
4.9.6 EMYCIN.

EMYCIN es acrónimo de Empty MYCIN (MYCIN vacío); este shell fue creado a partir de MYCIN, uno de los SE más exitosos en la época de los setentas. Se construyó con el fin de que fuera usado para otros fines, además del diagnóstico de enfermedades en la sangre (objetivo para el cual fue creado). Este shell utiliza un lenguaje, llamado ARL, el cual es una notación de Algol y provee facilidades para monitorear el comportamiento de reglas. Sin embargo es difícil distinguir diferentes tipos de conocimiento (no se puede hacer diferencia entre conocimiento de control y conocimiento a cerca de los valores esperados de los parámetros), por lo que el agregar una nueva regla también se vuelve un proceso complicado.⁶⁹

⁶⁹ VALDIVIA Rosas, David. **Sistemas Expertos**.
URL(<http://www.fortunecity.com/skycraper/romrow/207/se/Portada.html>)

CAPÍTULO 5

TAREAS QUE REALIZAN LOS SISTEMAS EXPERTOS.



En este capítulo se muestra una explicación de los procesos en los cuales es ideal la aplicación de los Sistemas Expertos, como interpretación, análisis, diagnóstico, diseño, planificación por mencionar algunos.

El objetivo de este capítulo es mostrar el impacto que tiene los Sistemas Expertos en algunas tareas complejas y de alto riesgo.

5.1 Introducción.

Los Sistemas Expertos, ofrecen grandes posibilidades y sus aplicaciones son de gran utilidad en temas tan variados que pueden ir desde la medicina hasta la enseñanza pasando por el CAD. En las empresas, los Sistemas Expertos empiezan a tener cada vez mayor auge, hasta el punto de ir suponiendo un punto de referencia importante en la toma de decisiones para la junta directiva. En realidad, incluso se podría decir que el límite de las aplicaciones objeto de los Sistemas Expertos está en la imaginación humana, siendo siempre de utilidad allí donde se necesite un experto.

Según la clase de problemas hacia los que estén orientados, podemos clasificar los Sistemas Expertos en diversos tipos entre los que cabe destacar diagnóstico, pronóstico, planificación, reparación e instrucción; vamos a ver algunas de las aplicaciones existentes (o en periodo de desarrollo) para cada uno de los campos citados.

5.2 Interpretación, diagnóstico y monitoreo.

La interpretación consiste en encontrar el significado de los datos de entrada obtenidos por sensores o introducidos por el usuario.⁷⁰

Con frecuencia aparecen datos contradictorios, incompletos o inexactos, por lo que hay que dotar al SE de conocimiento para resolver un problema de este tipo, y que de todas formas llegue a una resolución. Existen dos tipos de interpretación:

- **Análisis:** La interpretación de datos se obtiene mediante la separación o distinción de las partes que forman los datos.
- **Síntesis:** La interpretación de los datos se obtiene mediante la combinación de los mismos.

El diagnóstico consiste en identificar las causas internas que provocan un problema, avería o disfunción a partir de una serie de datos o síntomas que son consecuencia de la misma y que son observables.⁷¹

Los SE en diagnóstico encuentran múltiples dificultades a la hora de realizar su tarea como son las siguientes:

- Manifestaciones Nuevas. Es decir, síntomas que no se habían observado con anterioridad.
- Causas Nuevas.
- Manifestaciones debidas a varias causas.
- Datos Inaccesibles, caros o de obtención peligrosa.

⁷⁰ SÁNCHEZ y Beltrán, Juan Pablo. Op. cit.

⁷¹ Ibid.

- Relaciones no biyectivas entre los datos y las causas.
- Fallos o averías de aparición intermitente.
- Existencia de varios fallos simultáneos o en cadena

La monitorización es un caso particular de la interpretación, y consiste en la comparación continua de los valores de las señales o datos de entrada y unos valores que actúan como criterios de normalidad o estándares.

En el campo del mantenimiento predictivo los Sistemas Expertos se utilizan fundamentalmente como herramientas de diagnóstico. Se trata de que el programa pueda determinar en cada momento el estado de funcionamiento de sistemas complejos, anticipándose a los posibles incidentes que pudieran acontecer. Así, usando un modelo computacional del razonamiento de un experto humano, proporciona los mismos resultados que alcanzaría dicho experto.⁷²

5.3 Diseño y selección.

El diseño se puede concebir de distintas formas:

- El diseño en ingeniería es el uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, máquina o sistema que ejecute funciones específicas con el máximo de economía y eficiencia.
- El diseño industrial busca rectificar las omisiones de la ingeniería, es un intento consiente de traer forma y orden visual a la ingeniería de hardware donde la tecnología no provee estas características.

- Diseño es el proceso de especificar una descripción de un artefacto que satisface varias características desde un número de fuentes de conocimiento.⁷³

Los SE en diseño ven este proceso como un problema de búsqueda de una solución óptima o adecuada. Las soluciones alternas pueden ser conocidas de antemano (problemas de derivación) o se pueden generar automáticamente (problemas de formulación).

Los SE prueban distintos diseños para verificar cuáles de ellos cumplen los requerimientos solicitados por el usuario, ésta técnica es llamada “generación y prueba”, por lo tanto estos SE son llamados de selección. En áreas de aplicación, la prueba se termina cuando se encuentra la primera solución; sin embargo, existen problemas más complejos en los que el objetivo es encontrar la solución más óptima.

La utilidad de los programas basados en conocimientos aplicados a la ciencia y a la ingeniería no se limita al análisis sofisticado, muchos programas recientes han empezado a trabajar en la síntesis.⁷⁴

⁷² DE MIGUEL González, Luis Javier. Op. cit.

⁷³ HOPGOOD, Adrian. *Knowledge . Based Systems for Engineers and Scientists*.

⁷⁴ WINSTON, Patrick Henry. *Artificial Intelligence*.

Existen programas que diseñan dispositivos simples y después buscan oportunidades de reducción de costos o de reducción de componentes.

5.4 Planificación.

La planificación es la realización de planes o secuencias de acciones y es un caso particular de la simulación. Está compuesto por un simulador y un sistema de control. El efecto final es la ordenación de un conjunto de acciones con el fin de conseguir un objetivo global (costo mínimo, tiempo mínimo, etc).

Los problemas que presentan la planificación mediante SE son los siguientes:

- Existen consecuencias no previsibles, de forma que hay que explorar y explicar varios planes.
- Existen muchas consideraciones que deben ser valoradas o incluirles un factor de peso.
- Suelen existir interacciones entre planes de sub-objetivos diversos, por lo que deben elegirse soluciones de compromiso.
- Trabajo frecuente con incertidumbre, pues la mayoría de los datos con los que se trabaja son más o menos probables pero no seguros.
- Es necesario hacer uso de fuentes diversas tales como bases de datos.

5.5 Control.

Un sistema de control participa en la realización de las tareas de interpretación, diagnóstico y reparación de forma secuencial. Con ello se consigue conducir o guiar un proceso o sistema.

Los sistemas de control son complejos debido al número de funciones que deben manejar y el gran número de factores que deben considerar; esta complejidad creciente es otra de las razones que apuntan al uso del conocimiento, y por tanto de los SE.

Cabe aclarar que los sistemas de control pueden ser en lazo abierto, si en el mismo la realimentación o el paso de un proceso a otro lo realiza el operador, o en lazo cerrado si no tiene que intervenir el operador en ninguna parte del mismo.

5.6 Reparación, corrección o terapia.

La reparación, corrección, terapia o tratamiento consiste en la proposición de las acciones correctoras necesarias para la resolución de un problema.

Los SE en reparación tienen que cumplir diversos objetivos, como son:

- Reparación lo más rápida y económicamente posible.
- Orden de las reparaciones cuando hay que realizar varias.
- Evitar los efectos secundarios de la reparación, es decir la aparición de nuevas averías por la reparación.

5.7 Simulación, pronóstico o predicción.

La simulación es una técnica consistente para crear modelos basados en hechos, observaciones e interpretaciones, sobre la computadora, a fin de estudiar el comportamiento de los mismos mediante la observación de las salidas para un conjunto de entradas.

El empleo de los SE para la simulación viene motivado por la principal característica de los SE, que es su capacidad para la simulación del comportamiento de un experto humano, que es un proceso complejo.

En la aplicación de los SE para simulación hay que diferenciar cinco configuraciones posibles:

- Un SE puede disponer de un simulador con el fin de comprobar las soluciones y en su caso rectificar el proceso que sigue.
- Un sistema de simulación puede contener como parte del mismo a un SE y por lo tanto el SE no tiene que ser necesariamente de simulación.
- Un SE puede controlar un proceso de simulación, es decir que el modelo está en la base de conocimiento del SE y su evolución es función de la base de hechos, la base de conocimientos y el motor de inferencia, y no de un conjunto de ecuaciones aritmético - lógicas.
- Un SE puede utilizarse como consejero del usuario y del sistema de simulación.

- Un SE puede utilizarse como máscara o sistema frontal de un simulador con el fin de que el usuario reciba explicación y justificación de los procesos.

Los sistemas de pronóstico deducen consecuencias posibles a partir de una situación. Su objetivo es determinar el curso del futuro en función de información sobre pasado y presente. Esto abarca diversos problemas, tales como predicciones meteorológicas, predicciones demográficas, o incluso previsiones de la evolución bursátil entre otros.⁷⁵

5.8 Instrucción.

Un sistema de instrucción (Sistema Experto para formación), realiza un seguimiento del proceso de aprendizaje de un estudiante. El sistema detecta errores de los estudiantes e identifica el remedio adecuado, es decir, desarrolla un plan de enseñanza para facilitar el proceso de aprendizaje y la corrección de errores.⁷⁶

5.9 Recuperación de Información.

Los Sistemas Expertos, con su capacidad para combinar información y reglas de actuación, han sido vistos como una de las posibles soluciones al tratamiento y recuperación de información, no sólo documental. La década de 1980 fue prolija en investigación y publicaciones sobre experimentos de este orden, interés que continua en la actualidad.

⁷⁵ MARTÍNEZ De Ibarreta León, Francisco Javier. **Sistemas Expertos: Áreas de aplicación.**
URL(<http://www.geocities.com/SiliconValley/Way/7788/SISEXP.HTM>)

⁷⁶ Ibid

Lo que diferencia a estos sistemas de un sistema tradicional de recuperación de información es que estos últimos sólo son capaces de recuperar lo que existe explícitamente, mientras que un Sistema Experto debe ser capaz de generar información no explícita razonando con los elementos que se le dan. Pero la capacidad de los SE en el ámbito de la recuperación de la información no se limita a la recuperación. Pueden utilizarse para ayudar al usuario, en selección de recursos de información, en filtrado de respuestas, etc. Un SE puede actuar como un intermediario inteligente que guía y apoya el trabajo del usuario final. Para desempeñar de forma adecuada esta tarea, los enfoques centrados en la creación de modelos de las estructuras cognitivas del usuario son los más prometedores.⁷⁷

En la tabla 5.1 se muestran los modelos funcionales de los sistemas expertos, junto al tipo de problema que intentan resolver y algunos de los usos concretos a que se destinan.

Categoría	Tipo de problema	Uso
Interpretación.	Deducir situaciones a partir de datos observados.	Análisis de imágenes, reconocimiento del habla, inversiones financieras.
	Inferir posibles consecuencias a partir	Predicción meteorológica,

Predicción.	de una situación.	previsión del tráfico, evolución de la Bolsa.
Diagnóstico.	Deducir fallos a partir de sus efectos.	Diagnóstico médico, detección de fallos en electrónica.
Diseño.	Configurar objetos bajo ciertas especificaciones	Diseño de circuitos, automóviles, edificios, etc.
Planificación.	Desarrollar planes para llegar a unas metas.	Programación de proyectos e inversiones. Planificación militar.
Monitorización o supervisión.	Controlar situaciones donde hay planes vulnerables.	Control de centrales nucleares y factorías químicas.
Depuración.	Prescribir remedios para funcionamientos erróneos.	Desarrollo de software y circuitos electrónicos.
Reparación.	Efectuar lo necesario para hacer una corrección.	Reparar sistemas informáticos, automóviles, etc.
Instrucción.	Diagnóstico, depuración y corrección de una conducta.	Corrección de errores, enseñanza.
Control.	Mantener un sistema por un camino previamente trazado. Interpreta, predice y supervisa su conducta.	Estrategia militar, control de tráfico aéreo.
Enseñanza.	Recoger el conocimiento y mostrarlo.	Aprendizaje de experiencia.

Tabla 5.1 Modelos funcionales de los sistemas Expertos.

⁷⁷ TRAMULLAS y Kronos, Jesús. **Recuperación de Información y Sistemas Expertos**.
URL(<http://www.tramullas.com/nautica/documentica/3-8.html>)

CAPÍTULO 6

INTRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS EN LA EMPRESA.



Esta capítulo muestra las consideraciones importantes que se deben tomar en cuenta antes de incursionar en un proyecto de Sistemas Expertos dentro del sector empresarial. Así mismo muestra un bosquejo de las preguntas que se debe hacer la gente dedicada a la tecnología de información para poder evaluar el grado de factibilidad y viabilidad de un Sistema Experto.

El objetivo primordial de esta capítulo es mostrar los planteamientos, interrogantes y la forma en la que los expertos de tecnología evalúan la implementación de un Sistema Experto en el negocio.

6.1 Introducción.

Los Sistemas Expertos en la empresa abarcan distintos campos de actuación. Uno de estos campos, sin duda, es el de apoyo a la toma de decisiones, en el sentido de estrategia empresarial, el cuál ha suscitado la aparición de numerosos textos en la literatura. Sin embargo, la utilización de Sistemas Expertos no sólo abarca este campo, sino otros más técnicos como puede ser aquel que dictamina la avería-tipo más probable en un vehículo para un taller, o un detector de averías en un circuito integrado, o un sistema que dictamine cuál es la cantidad que una compañía aseguradora debe abonar a un asegurado por un determinado suceso. Como se puede deducir, un Sistema Experto siempre es un sistema de apoyo a la toma de decisiones, por ello para diferenciar aquellos de apoyo a la dirección empresarial se les denomina estratégicos, como veremos.

Otro tema de interés es el futuro, o incluso el presente de los Sistemas Expertos en la empresa. En este sentido, los sistemas constituidos por múltiples partes colaboradoras e inteligentes parecen ser la solución. Intentaremos abordar este tema desde una perspectiva teórica acerca de la investigación que se está llevando a cabo en este momento.

Con las técnicas de soporte a la toma de decisiones, se trata de apoyar al directivo a la hora de tomar decisiones estratégicas en cuanto a la marcha de una empresa o negocio. Obsérvese que este tipo de sistema, en principio, se corresponde muy bien con el de un Sistema Experto, puesto que se tratará sin duda de representar conocimiento derivado de la

experiencia, y del conocimiento de la propia empresa, en un método dinámico y eficaz, que bien podría ser un Sistema Experto.

Las técnicas de ayuda a la decisión comienzan a desarrollarse a partir de la II Guerra Mundial hasta los años 60-70. Diversas técnicas son desarrolladas en estos años, las primeras son métodos matemáticos entre los que podemos incluir:

- Decisión Estadística.
- Teorías de Utilidad.
- Teoría de Elección

Colectiva.

- IO (Investigación

Operativa).

- Programación lineal.

- Grafos.

- Algoritmos de

Gradiente.

6.2 Consideraciones.

Antes de introducir un Sistema Experto en una empresa se deben responder una serie de preguntas referentes a los siguientes aspectos.⁷⁸

6.2.1 ¿Quién?

- ¿A quién concierne?
- ¿Quién esta implicado en la decisión?
- ¿Quién va a crear el sistema (expertos, ingenieros de conocimiento, usuarios,...)?
- ¿Quién lo empleará (Sección, función y nivel)?

6.2.2 ¿Qué?

- ¿Para qué sirve el sistema?
- ¿Cuál es su finalidad?
- ¿Va a reemplazar a los operadores humanos o por el contrario revalorizará el trabajo de los que asista en su tarea (por ejemplo, haciéndoles que no olviden nada y presentándoles información oportuna)?

6.2.3 ¿Dónde?

- ¿Dónde va a ser utilizado?
- ¿Va a ser repartido en varias copias o se utilizará localmente?
- ¿Se utilizará en el interior de la empresa (en el estudio, la oficina, etc.) o en el exterior (representantes, clientes, etc.)?
- ¿En cuál estructura organizativa se colocará? ¿Cómo se insertará en la estructura y qué posición ocupará?

6.2.4 ¿Cómo?

- ¿Cómo va a utilizarse?
- ¿Se utilizará como un servicio libre o por personas que tendrán esa tarea exclusivamente?
- ¿Funcionará de forma autónoma?
- ¿Va a ser utilizado por expertos para mejorar su rendimiento?
- ¿Va a ser utilizado por personal especialmente preparado para manejarlo?
- Si trabajará en tiempo real, ¿qué carga representará para el servidor y el cliente?
- ¿En qué máquinas?
- ¿Cuáles serán sus relaciones con otros sistemas: bases de datos, tableros,...?
- ¿Existen problemas de datos confidenciales?
- ¿Funcionará con medios tradicionales?

⁷⁸ BENCHIMOL, Guy, Pierre Levine y Jean Charles Plomerol. Op. cit.

6.2.5 ¿Cuándo?

- ¿En qué plazo desea que se realice el sistema?
- ¿Se empleará escasa o frecuentemente?

Debido a que la estructuración e implementación del conocimiento del experto requiere una gran cantidad de trabajo, sólo valdrá la pena realizar el esfuerzo de crear un Sistema Experto cuando un conocimiento sea válido durante un largo espacio de tiempo y vaya a ser utilizado por el mayor número de personas.⁷⁹

6.2.6 ¿Cuánto costará?

- ¿Cuánto aportará?
- ¿Se puede cifrar su uso en términos de productividad, de reducción de costos de mantenimiento, de mejora de las condiciones de trabajo y de la calidad de sus productos?
- ¿Resultará en una mejora en el servicio para el cliente o el usuario?

Ahora bien, realizar un Sistema Experto pero ¿para qué? Para empezar como su nombre lo indica, un Sistema Experto está encaminado a los conocimientos de un experto. Un experto como se ha explicado anteriormente es aquél que domina perfectamente un dominio por elemental que sea éste.

La identificación de un problema en la empresa puede hacerse buscando a los expertos cuya desaparición causaría a la empresa una pérdida.

Sin llegar al extremo de la pérdida del experto. Se pueden mencionar algunos rasgos que pueden implicar una especie de pérdida del experto por parte de la empresa:

- La experiencia existe pero la difusión se distribuye mal ya que el experto difícilmente esta accesible.
- Varios expertos son necesarios y no se puede confrontar a todos ellos al mismo tiempo.
- Los métodos de resolución de problemas o la aplicación de reglas difieren según los sectores y las personas, que las interpretan a su manera.

Finalmente, se puede proceder a una encuesta exhaustiva en todos los niveles de la empresa (agrupando por sector, jerarquía, etc.).

Una vez hecho esto, se debe definir el tipo de problema que se tiene. Existen muchos tipos como:

Problemas resolubles pero con tiempos largos de espera. Un sistema experto puede mejorar notablemente estos procesos. Cuando la información es muy somera o intuitiva (como en el caso de operaciones de divisas de los bancos) un SE no es una buena opción.

⁷⁹ CRIADO Briz, José Mario. **Introducción a los Sistemas Expertos.**

Y, además, existe el tipo de problemas que requieren del manejo de grandes cantidades de conocimiento claro y cualitativo (este es el tipo de problemas más aprovechado en la elección de un SE).

Una vez que se detectó el problema, simplemente debe justificarse ante los intereses de la empresa. Debemos cuestionarnos si los conocimientos que se manejarán constituyen un patrimonio para la empresa tal que amerite el desarrollo del sistema de información y si realmente perjudica a la empresa el que alguno de los problemas que se intentan resolver mediante sistemas expertos no se resuelve rápida o adecuadamente.

Además de las cuestiones anteriores, se puede ver la viabilidad de la aplicación de un SE si el proceso en el cual queremos implantar un SE cumple las siguientes condiciones⁸⁰:

- Evitar fallos en labores rutinarias complejas.
- Ampliar de forma más rápida los conocimientos de los especialistas.
- Diagnosticar los fallos con mayor rapidez y conseguir tareas de planificación más completas y consistentes.

6.3 Posibilidad de un Sistema Experto.

La posibilidad de construcción de un Sistema experto es altamente importante y se debe de considerar con mucha responsabilidad y conocimiento. A continuación se presentan requisitos que hacen que el desarrollo de un Sistema Experto NO sea posible.

6.3.1 Existencia de verdaderos expertos.

En esta línea de estudio de la inteligencia Artificial, la de los Sistemas Expertos, es el equipo de desarrollo no debe olvidar que lo expertos son la principal fuente de conocimiento.

En pocos dominios se puede encontrar conocimiento experto que no esté en los expertos.

6.3.2 Acuerdo con los expertos.

Esta consideración enfatiza la importancia que se tiene que el grupo de expertos coincidan en su conocimiento, técnicas, métodos, procedimientos, algoritmos, etc.

Cuando se entrevista a una serie de experto se debe tener cuidado en que el conocimiento obtenido sea coherente y coincida en toda la muestra, es decir las soluciones que aporten los expertos a los distintos problemas deben de coincidir.

Las contradicciones entre los expertos suelen originar problemas insalvables en el desarrollo de Sistemas Expertos.

⁸⁰ Ibid.

6.3.3 Expertos capaces de estructurar y explicar sus métodos.

Siempre existe el riesgo de que el experto al súper –especializarse “*oscurezca*” su manera de “*concebir, estructurar y explicar lo que hace*”.

6.3.4 Problema no excesivamente difícil.

Los Sistemas Expertos tienen una potencia limitada.

6.3.5 Expertos disponibles.

Que haya expertos pero que no estén disponibles en lo mismo que no existan.

6.3.5 Expertos interesados.

Se debe estimular la colaboración activa de los expertos (una sugerencia es la económica).

6.3.6 Existencia de casos de prueba.

Los casos de prueba son necesarios para:

- Estudiar cómo trabajan los expertos.
- Comprobar que los sistemas programados funcionan bien.

6.4 Justificación.

A continuación se presentan razones que justifican la automatización de un proceso mediante un Sistema Experto.

6.4.1 Alta rentabilidad prevista.

Cuando el beneficio esperado supera el coste estimado el desarrollo de un Sistema Experto está justificado.

6.4.2 Escasez de expertos.

La copia de un Sistema Experto es un proceso barato comparado con su desarrollo, por lo que una vez que se tiene un Sistema Experto, se puede aumentar el número de expertos artificiales con coste bajo a voluntad.

Inconveniente: El Sistema Experto nunca alcanzará la destreza de los humanos.

6.4.3 Necesidad del mismo conocimiento en varios lugares.

Por ejemplo, se necesitan asesores financieros en todas las sucursales.

6.4.4 Entornos peligrosos u hostiles.

La Luna, el espacio exterior, el interior de un volcán, una central nuclear, desactivación de explosivos, etc.

6.4.5. Adecuación.

A continuación se presentan requisitos que hacen que un Sistema Experto sea el sistema más apropiado (más apropiado que cualquier otro sistema –tradicional o no-posible).

6.4.6 Áreas en la que la construcción de un Sistema Experto se adecua.

Procesamiento más simbólico que numérico.

Conocimiento basado en reglas de comportamiento que en algoritmos.

Carencia de conocimiento exacto.

Necesidad de manejar conocimiento incompleto.

6.4.7 Problemas no demasiado fáciles.

Si el problema es demasiado fácil (ejemplo ordenar un conjunto de elementos) hay técnicas distintas de Sistemas Expertos para resolverlo.

6.4.8 Adecuación del problema y el alcance.

Muchas veces lo primero que hay que hacer en un dominio (demasiado complejo) es determinar el alcance de distintos subproblemas de manera que algunos de ellos puedan ser resueltos con sistemas tradicionales, tal vez algunos necesiten un Sistema Experto y la solución completa necesite la conjunción de los sistemas que resuelven cada uno de los subproblemas (que evidentemente no será un único Sistema Experto ni un único sistema tradicional).

Un ejemplote una situación de este tipo puede ser la automatización del proceso de determinar indemnizaciones por responsabilidad del estado a ciudadanos damnificados, tal vez la automatización de indemnizaciones por despido improcedente la pueda realizar un sistema tradicional, pero la estimación de responsabilidades en responsabilidad civil por derrumbamiento de obras públicas, como: presas, autopistas, etc. Requiera conocimiento experto y la negociación directa con los afectados también.

6.5. Análisis de costo-beneficio

El análisis Costo-Beneficio, permitir definir la factibilidad de las alternativas planteadas o del proyecto a ser desarrollado.

Objetivo:

La técnica de Análisis de Costo - Beneficio, tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de los costos en que se incurren en la realización de un Sistema Experto, y a su vez comparar dichos costos previstos con los beneficios esperados de la realización de dicho proyecto.

Utilidad:

La utilidad de la presente técnica es la siguiente:

- Para valorar la necesidad y oportunidad de acometer la realización del Sistema Experto.
- Para seleccionar la alternativa más beneficiosa para la realización del Sistema Experto.

- Para estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios en el plazo de realización del proyecto.

Descripción:

El desarrollo de un análisis de Costo - Beneficio fiable para un Sistema Experto para capacitación a nuevos gerentes sugiere seguir los siguientes pasos:

- Producir estimaciones de costos-beneficios.
- Determinar la viabilidad del Sistema Experto y su aceptación.

6.5.1. Producir estimaciones de costos - beneficios.

Lo primero que debemos de realizar es elaborar dos tipos de listas la primera con lo requerido para implantar el sistema y la segunda con los beneficios que traer consigo el nuevo sistema.

Antes de redactar la lista es necesario tener presente que los costos son tangibles, es decir se pueden medir en alguna unidad económica, mientras que los beneficios pueden ser tangibles y no tangibles, es decir pueden darse en forma objetiva o subjetiva.

La primera lista (requerimiento para implantar el sistema) deber estar integrada por requerimientos necesarios para ejecutar el proyecto, el valor que tiene cada uno y sus posibles variaciones de acuerdo a la inflación, de esta forma, la Dirección obtendrá información detallada de como se distribuyen sus recursos.

Para elaborar la lista se necesita contar con experiencia en la participación de proyectos similares, así como datos históricos que le permitan estimar adecuadamente los requerimientos necesarios para ejecutar el proyecto (Sistema Experto).

Para mayor explicación se proporciona en ejemplo de algunos gastos necesarios para ejecutar un proyecto de Sistema Experto:

- Costos de infraestructura, donde se determinar el ambiente adecuado para el equipo, así como el mobiliario requerido para cada uno de ellos.
- Costos de infraestructura, donde se determinar el ambiente adecuado para el equipo, así como el mobiliario requerido para cada uno de ellos.
- Costo de personal, se determinar el número de personal requerido tanto técnico como administrativo, sus características y el tipo de capacitación que se le deber de proporcionar a cada empleado.

- Costo de materiales, se determinarán todos los materiales necesarios para el desarrollo del Sistema Experto.
- Costo de consultoría, se determinará el tipo de garantía a proporcionar a la Dirección luego de desarrollado el sistema.

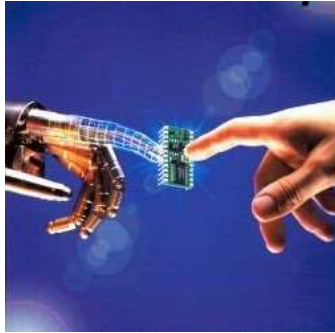
Esta valoración será realizada en las áreas correspondientes. La segunda lista, beneficios que traer consigo el proyecto, será elaborado en forma subjetiva y deberá estar acorde a los requerimientos de información de los usuarios.

Por ejemplo, los beneficios proporcionados por un proyecto de Sistema Experto pueden ser:

- El ahorro de horas-hombre de un directivo impartir la capacitación.
- El sistema Experto cuenta con el conocimiento necesario para que los aspirantes consulten información hasta comprender los procedimientos a efectuar.
- El Sistema Experto, una vez terminado podrá ser duplicado a mucho menor costo y así contar con varios sistemas de capacitación para distribuirlos en diferentes partes de la empresa.
- Siempre se contará con un Sistema que impartir la capacitación a cualquier hora y en cualquier lugar, sin interrumpir actividades de los altos directivos.

CAPÍTULO 7

CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.



En este capítulo se hablará de las áreas en las que los Sistemas Expertos tiene participación.

El objetivo de esta capítulo es dar a conocer las características de algunas de las áreas en las que, como se mencionó, tienen participación los Sistemas Expertos, esto debido al grado de precisión, exactitud y certeza con la que operan estos sistemas.

7.1 Introducción.

En las últimas décadas, como se sabe, se han producido grandes cambios en el entorno de las empresas y las organizaciones, como consecuencia de los avances producidos por las nuevas tecnologías de la producción, de la información y de las comunicaciones. En este nuevo entorno, tan complejo y cambiante, para poder tomar decisiones de una manera eficaz, es necesario disponer, en todo momento y de una forma rápida de información suficiente, actualizada y oportuna. Esto sólo es posible, hoy en día, utilizando las computadoras y los medios que proporciona la tecnología de la información. Además, gracias a las investigaciones realizadas en la inteligencia artificial, con el desarrollo de los **sistemas basados en el conocimiento y los sistemas expertos**, también se han producido grandes avances en el tratamiento del conocimiento, factor fundamental para la toma de decisiones.

En el presente capítulo se muestra una visión de conjunto de la aplicación de los sistemas expertos en el dominio de diferentes áreas. Así mismo se pone de relieve el impacto significativo que tiene los SE en las diferentes área y al grado de apoyo que ofrecen.

7.2 Medicina.

Los SE enfrentan tareas tales como la resolución de problemas, razonamiento automático y aprendizaje automático. Es típico el estudio de estos sistemas inteligentes en dominios específicos del conocimiento, como la medicina.⁸¹

Los programas en esta área se pueden clasificar en:

- Métodos de contestación prefijada, formados por algoritmos aritméticos lógicos, en los cuales el control y el conocimiento están juntos y están escritos en lenguajes procedimentales.
- Métodos estadísticos que se clasificaban en Bayesianos, de análisis discriminantes y análisis secuencial.

7.3 Contabilidad.

Las actividades administrativas, financieras y contables también son campos en los que se pueden aplicar los sistemas expertos, pues se realizan muchas de las tareas antes descritas y, además, éstas cumplen la mayoría de los requisitos que son necesarios para poder desarrollar un sistema experto (las tareas requieren conocimiento especializado, existen auténticos expertos en la materia, los expertos son escasos, la pericia necesita ser localizada en distintos lugares, la mayoría de las tareas requieren soluciones heurísticas). Ahora bien, no en todas las tareas que se realizan en el campo de la contabilidad y las finanzas es necesario utilizar los sistemas expertos.

⁸¹ CRUZ, Roberto. Área de Bases de Datos e Inteligencia Artificial.
URL(http://dcc.ing.puc.cl/investigacion/areas/bases_dat.html)

Así, en las tareas de auditoria que están perfectamente estructuradas, son muy mecánicas y pueden expresarse en forma algorítmica (preparación de balances, cálculo de ratios, muestreo, circularización) se puede, y es conveniente, utilizar la informática convencional (programas informáticos normales, tratamientos de textos, bases de datos); en las tareas que estén semiestructuradas se pueden utilizar los sistemas de ayuda a la decisión (hojas de cálculo, sistemas de consulta de archivos, sistemas de representación y análisis de datos); reservándose los SE para las tareas que estén muy poco o nada estructuradas, pues en este tipo de tareas se requiere mucho del juicio de un experto y se utilizan reglas heurísticas para llegar rápidamente a una solución, dado que el campo de soluciones puede ser muy amplio.

En principio, los sistemas expertos se pueden aplicar en todas las áreas de la contabilidad. Ahora bien, como esta clasificación resultaría muy amplia y, además, es poco

práctica, vamos a clasificar las aplicaciones potenciales de los sistemas expertos en contabilidad de acuerdo con las siguientes áreas:

- Auditoria: Análisis de la materialidad y del riesgo, evaluación del control interno, planificación de la auditoria, evaluación de la evidencia, análisis de cuentas concretas, formación de opinión, emisión del informe, auditoria interna, auditoria informática, etc.
- Contabilidad de costes y de gestión: Cálculo y asignación de costes, asignación de recursos escasos, control y análisis de desviaciones, planificación y control de gestión, diseño de sistemas de información de gestión, etc.
- Contabilidad financiera: regulación legal, normas y principios contables, recuperación y revisión analítica de registros contables, diseño de sistemas contables, imputación contable, consolidación de estados contables, etc.
- Análisis de estados financieros: Análisis patrimonial, financiero y económico de los estados contables, salud financiera de la empresa, cálculo e interpretación de ratios, cálculo y análisis de tendencias, etc.

El análisis de estados financieros se divide en tres fases.

1. Examen o revisión. Se revisan documentos contables como balance, cuenta de pérdidas y ganancias, etc. utilizando para ello una serie de técnicas o procedimientos específicos (comparaciones de masas patrimoniales, porcentajes, etc.).
2. Se analiza e interpreta la información antes recopilada y se obtiene un panorama de la situación actual de la empresa.
3. Por último se predicen soluciones para ayudar a mejorar la situación futura de la empresa.

7.4 Planificación financiera e industria de los servicios financieros.

Planificación financiera corporativa, planificación financiera personal, análisis de inversiones, gestión de tesorería, mercado de valores, seguros, banca, concesiones de crédito, etc.

Los SE enfocados a la planificación financiera tienen sus principales aplicaciones en:

- Análisis de mercados.
- Análisis de riesgos y tasación de seguros.
- Aplicaciones de impuestos y tasas.
- Asesoría jurídica y fiscal.

- Ayuda a la correcta realización de operaciones bancarias.
- Concesión de créditos y préstamos.
- Evaluación de riesgos de gestión de cartera.
- Gestión del personal.
- Planes de inversión de capitales.
- Planes de pensiones.
- Previsión de los tipos de interés.
- Previsión en las fluctuaciones en el mercado de divisas.
- Supervisión de los estados financieros.
- Valoración de la situación financiera de una empresa o cliente.
- Verificación de firmas.

7.5 Auditoría.

Como consecuencia de los grandes cambios producidos en las empresas por el avance tecnológico actual, el trabajo de auditoria se ha visto modificado considerablemente, caracterizándose básicamente por los siguientes rasgos: aumento creciente de las normas y procedimientos de auditoria; normas y procedimientos de auditoria cada vez más complejos; cambios en las normas de ética profesional, que exigen un mayor control y una mayor calidad en la realización de los trabajos de auditoria; mayor competición entre las empresas de auditoría, resultando, como consecuencia de ello, unos honorarios de auditoría más bajos; ofrecimiento al cliente de nuevos servicios (asesoramiento fiscal, informático); desarrollo de nuevos tipos de auditoría (auditoría de gestión operativa, auditoría informática, auditoría medioambiental). Todas estas circunstancias han hecho que la profesión de la auditoria sea cada vez más competitiva y, como consecuencia de ello, se haya visto forzada a recurrir a las nuevas técnicas y herramientas que facilita la *tecnología de la información* y la *inteligencia artificial*, para conseguir una información más relevante y oportuna que facilite a los auditores poder tomar decisiones de una forma rápida y aumentar, por tanto, la eficacia y el nivel de calidad de la auditoria.

La *auditoria financiera de cuentas* o *auditoria externa* es "la actividad, realizada por una persona cualificada e independiente, consistente en analizar, mediante la utilización de las técnicas de revisión y verificación idóneas, la información económico-financiera deducida de los documentos contables examinados, y que tiene como objeto la emisión de un informe dirigido a poner de manifiesto su opinión responsable sobre la fiabilidad de la citada información, a fin de que se pueda conocer y valorar dicha información por terceros"

Los subdominios o campos potenciales de la auditoria en los que se pueden aplicar los sistemas expertos son muy amplios y variados, abarcando prácticamente todas las tareas de la auditoría en las que se requiera la utilización del juicio profesional del auditor. Por lo tanto, es conveniente establecer una clasificación. En una primera clasificación, las aplicaciones de sistemas expertos en auditoria se podrían clasificar atendiendo a estas tres categorías:

- 1.- Sistemas expertos en auditoria externa.
- 2.- Sistemas expertos en auditoria interna.
- 3.- Sistemas expertos en auditoria informática. Ahora bien, dado que el campo de la auditoria externa es muy amplio, es conveniente realizar una subdivisión del mismo.

Una forma práctica de establecer una clasificación de los sistemas expertos en auditoria externa es utilizando las fases del proceso de auditoria. Descomponen el proceso de decisión en auditoria en las siguientes fases:

- a).- Orientación - El auditor obtiene conocimientos sobre las operaciones del cliente y su entorno y hace una valoración preliminar del riesgo y de la materialidad;
- b).- Evaluación preliminar de los controles internos;
- c).- Planificación táctica de la auditoria;
- d).- Elección de un plan para la auditoria;
- e).- Pruebas de cumplimiento de los controles;
- f).- Evaluación de los controles internos, basada en los resultados de las pruebas de cumplimiento;
- g).- Revisión del plan de auditoria preliminar;
- h).- Elección de un plan revisado para la auditaría;
- i).- Realización de pruebas sustantivas;
- j).- Evaluación y agregación de los resultados;
- k).- Evaluación de la evidencia - Podría dar lugar a unas pruebas más exhaustivas o formar la base de la elección de la opinión por el auditor;
- l).- Elección de una opinión que clasifique los estados financieros del cliente;
- m).- Informe de auditoria.

Por lo tanto, basándonos en el análisis de la tecnología sobre los sistemas expertos que se han desarrollado hasta la fecha, y teniendo en cuenta las fases del proceso de auditoria, vamos a establecer una clasificación de los sistemas expertos en el dominio de la auditoria. Ahora bien, como no se han desarrollado sistemas expertos en todas las fases, los agruparemos siguiendo el orden de las fases más importantes en las que, además, se han desarrollado sistemas expertos. La clasificación establecida es la siguiente:

1. Sistemas expertos en auditoria externa.
 - 1.1. Materialidad y riesgo.
 - 1.2. Evaluación del control interno.
 - 1.3. Planificación de la auditoria.
 - 1.4. Obtención de la evidencia y formación de la opinión.
 - 1.5. Informe de auditoria.
2. Sistemas expertos en auditoria interna.
3. Sistemas expertos en auditoria informática.

7.6 Militar.

Las aplicaciones se centran en:

- Elección inteligente de contramedidas electrónicas con el fin de obtener la máxima efectividad con unos recursos limitados.
- Guiado de vehículos y proyectiles de forma semiautomática.
- Planificación estratégica.
- Reconocimiento automático de blancos y valoración de los mismos.
- Reconocimiento de planes del enemigo.
- Interpretación de señales provenientes de sensores.
- Optimización de carga.

7.7 Industria.

Los SE en la industria se aplican principalmente en:

- Diagnóstico de control de calidad.
- Detección y actuación en caso de alarmas y emergencias.
- Configuración de equipos y sistemas bajo demanda.
- Generación de especificaciones y manuales de utilización, mantenimiento y reparación de sistemas fabricados bajo demanda.
- Control de procesos industriales.
- Gestión optima de los recursos.

7.8 Electrónica, informática y telecomunicaciones.

Las aplicaciones principales de los SE son:

- Diseño de circuitos de alto grado de integración.
- Sistemas inteligentes de autodiagnóstico contenidos.
- Configuración de equipos y sistemas.
- Control de redes de comunicación.
- Programación automática.
- Ajuste de equipos y sistemas.
- Optimización de programas de computadoras.

7.9 Robótica.

Aun cuando los robots no son como se les muestra en las películas, realmente pueden llegar a realizar actividades sorprendentes, sobre todo si son utilizados en la fabricación de productos, donde las tareas son repetitivas y aburridas.

Los robots son muy solicitados en ambientes peligrosos para el ser humano, como en el manejo de explosivos, altas temperaturas, atmósfera sin la cantidad adecuada de oxígeno y en general bajo cualquier situación donde se pueda deteriorar la salud.

La mayoría de los robots tienen un brazo con varias uniones móviles y partes prensiles, donde todos sus elementos son controlados por un sistema de control programado para realizar varias tareas bajo una secuencia de pasos preestablecidos. Los investigadores de IA pretenden adicionar al robot métodos y técnicas que le permitan actuar como si tuviera un pequeño grado de inteligencia, lo cual pretenden lograr con la conjunción de todas las áreas de la IA.

7.10 Aeronáutica.

Un impacto significativo de los Sistemas Expertos es en la aeronáutica, los Sistemas Expertos apoyan a los pilotos a realizar prácticas de simulación, control, vuelos, diagnósticos, entrenamiento, etc.

Simulación:

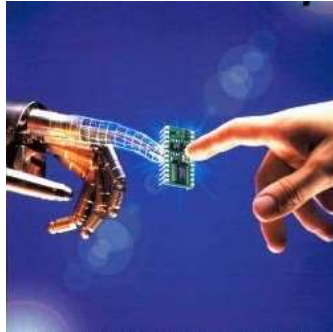
Las prácticas de simulación en la Ingeniería aeronáutica son de vital importancia, en este sentido los Sistemas Expertos permiten apoyar de forma más precisa los procesos de simulación que llevan a cabo los practicantes y futuros pilotos. Las practicas de simulación evitan graves accidentes, es decir los practicantes durante su entrenamiento no usarán aviones o naves reales, sino arquitecturas electrónicas y sistemas que simulan estas naves, es aquí precisamente donde los Sistemas Expertos apoyan estas labores, otorgando a los practicantes conocimiento sobre mecanismos de vuelo, control, solución de problemas, etc.

Diagnósticos:

Esta es una de las tareas que desempeñan muy bien los Sistemas Expertos, ya que estos permiten tener siempre un control, el Sistema en este aspecto juega un papel muy importante, ya que será un asistente con una carga masiva de conocimiento que permitirá detectar y solucionar las fallas del avión o nave. El experto humano no siempre tiene de forma clara el conocimiento, ya que el conocimiento en muchas ocasiones tiende a ausentarse de la mente debido a factores como miedo, presión, estrés, etc.

CAPÍTULO 8

EJEMPLOS DE SISTEMAS EXPERTOS EN LAS EMPRESAS



En el presente capítulo se hace una compilación de Sistemas Expertos que han sido desarrollados en las empresas para incrementar su eficiencia en sus procesos, en el desempeño humano y así poder incrementar su productividad para ser más competitivas.

El objetivo de este capítulo es dar a conocer estos Sistemas Expertos Empresarial y la forma en como impactan de forma significativa en el sector empresarial.

8.1 Introducción.

Particularizando las aplicaciones en ramas específicas del conocimiento, se han desarrollado un gran número de Sistemas Expertos que actúan en empresas, algunos simplemente en diseño teórico; otros, con aplicación real en el campo productivo de la organización.

8.2 DENDRAL.

Dendral es el nombre de un sistema experto desarrollado por Edward Feigenbaum y otros programadores en la Universidad de Stanford, a mediados de los años 60.

Fue el primer sistema experto en ser utilizado para propósitos reales, al margen de la investigación computacional, y durante aproximadamente 10 años, el sistema tuvo cierto éxito entre Químicos y Biólogos, ya que facilitaba enormemente la inferencia de estructuras moleculares, dominio en el que Dendral estaba especializado.

Inicialmente escrito en Lisp, su filosofía de trabajo se aleja de las estructuras clásicas de los sistemas expertos más típicos (como Mycin o XCon), ya que su implementación no separaba de forma explícita el conocimiento del motor de inferencia. Sin embargo, pronto se convirtió en uno de los modelos a seguir por muchos de los programadores de sistemas expertos de la época.

8.3 MYCIN.

Mycin es un sistema experto desarrollado a principios de los años 70 por Edgar ShortLiffe, en la Universidad de Stanford. Fue escrito en Lisp, e inicialmente estaba inspirado en Dendral, otro sistema experto que tuvo cierto éxito a finales de los años 60. Su principal función consistía en el diagnóstico de enfermedades infecciosas de la sangre; además, Mycin era capaz de “razonar” el proceso seguido para llegar a estos diagnósticos, y de recetar medicaciones personalizadas a cada paciente (según su estatura, peso, etc.).

Metodo.

El funcionamiento de Mycin se basaba principalmente en un sencillo motor de inferencia, que manejaba una base de conocimiento de aproximadamente unas 500 reglas. El programa capturaba las entradas a partir de una serie de preguntas (como por ejemplo, ¿Tiene el paciente molestias en el pecho?, o ¿Ha sido operado el paciente anteriormente?), que usualmente respondía el médico del paciente.

Tras este proceso, Mycin mostraba la salida por pantalla, que consistía en una serie de posibles enfermedades (ordenadas por su probabilidad asociada), la explicación del por qué de cada uno de estos diagnósticos, y una serie de recomendaciones sobre el tratamiento a seguir por el paciente. Para calcular la probabilidad de cada uno de los resultados, los autores desarrollaron una técnica empírica basada en factores de certeza.

Resultados.

Las investigaciones realizadas por la Stanford Medical School, desvelaron que Mycin tuvo una tasa de aciertos de aproximadamente el 65%, lo cual mejoraba las estadísticas de la mayoría de los médicos no especializados en el diagnóstico de infecciones bacterianas (dominio en el que Mycin estaba especializado), que ejercían la profesión en aquellos años. Los médicos que trabajaban exclusivamente en este campo conseguían una tasa del 80%.

Actualidad.

Poco a poco Mycin fue cayendo en desuso, debido principalmente a alguna de las debilidades que el programa presentaba, y también, por cuestiones éticas y legales que surgían al volcar la responsabilidad de la salud de una persona a una máquina (por ejemplo, si Mycin se equivocaba en algún diagnóstico, ¿quién asumía la culpa, el programador o el médico?).

Otro de los motivos se achaca a la excesiva dificultad que suponía el mantenimiento del programa. Era este uno de los principales problemas de Mycin, y en general, de los sistemas expertos de la época, en los cuales se dedicaban muchos esfuerzos y recursos a extraer el conocimiento necesario de los expertos en dominio para construir el motor de inferencia.

8.4 XCON.

XCON es un Sistema Experto para configuraciones desarrollado por la Digital Equipment Corporation. Según los deseos individuales del cliente se configuran redes de ordenadores VAX. Ya que el abanico de productos que se ofrecen en el mercado es muy amplio, la configuración completa y correcta de un sistema de estas características es un problema de gran complejidad.

Las funciones de este Sistema Experto son las siguientes:

1. ¿Pueden conjugarse los componentes solicitados por el cliente de forma conveniente y razonable?
2. ¿Los componentes de sistema especificados son compatibles y completos?

Las respuestas a estas preguntas son muy detalladas. XCON es capaz de comprobar y completar los pedidos entrantes mucho más rápido y mejor que las personas encargadas hasta ahora de esa labor.

8.5 DIAVAL.

Es un Sistema Experto para diagnóstico mediante ecocardiografía, el cual se basa en redes bayesianas, en vez de utilizar reglas; la decisión de utilizar las redes bayesianas fue tomada basándose en la capacidad por parte de dichas redes para manejar conocimientos imprecisos de una mejor manera en comparación con las reglas. Un conocimiento es impreciso cuando cuenta solamente con predicados vagos, o sea que las variables no reciben un valor preciso. El uso de este tipo de conocimiento nos adentra en la lógica difusa, dado que se recurre a la utilización de coeficientes. El coeficiente es un factor que se agrega para representar la incertidumbre o la imprecisión que el experto asigna a este conocimiento. DIAVAL fue construido en la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en España, como proyecto para una tesis doctoral, siguiendo cinco etapas clásicas: identificación, conceptualización, formalización, implementación y evaluación. Este Sistema Experto provee una interfaz flexible y fácil de manejar, conociendo la importancia de este factor en su aceptación por parte de los médicos.

8.6 ACE (Automated Cable Expertise).

Sistema Experto, basado en reglas de razonamiento hacia delante, concebido para asistir a los técnicos de las compañías telefónicas americanas en el mantenimiento de la planta exterior y bucles de abonos.

Se trata de un sistema automático de análisis, que interacciona con una base de datos convencional denominada CRAS (Cable Repair Administrative System), en la que se recogen registros de las actividades de mantenimiento de la planta exterior. Su uso permite tanto localizar averías como planificar los trabajos de mantenimiento, así como también ayuda a adoptar decisiones sobre la modernización y ampliación de la red.

Desarrollado en 1985 en los laboratorios Bell de AT&T hoy está disponible como producto comercial aplicable a más de cuarenta sistemas distintos en entornos UNIX.

8.7 SE KIWI.

El Sistema Kiwi de Clark. Creado en 1975, intentaba interpretar frases ordinarias descriptivas de operaciones económicas proponiendo el asiento correspondiente a cada una de ellas.

8.8 AIDE.

AIDE. Ayuda en el diagnóstico de empresas de la Central de Balances del Banco de Francia.

8.9 AFIN.

AFIN. Realiza un análisis de estados financieros en la empresa basándose en el Plan General de Contabilidad Español de 1990.

8.10 ALFEX.

ALFEX. Proyecto referente a la creación de SE capaces de asesorar sobre la salud financiera de una empresa, así como desarrollar bases de conocimiento y herramientas adecuadas para manejarlas.

8.11 ANALYSIS.

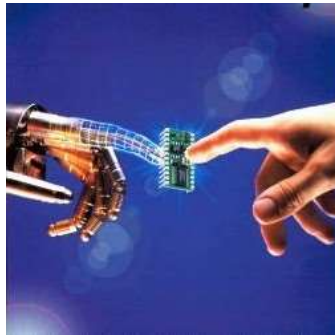
ANALYSIS. Clasifica funcionalmente el balance y la cuenta de pérdidas y ganancias.

ANIBAL. Evalúa la gestión comercial y financiera de la empresa.

Se pueden mencionar también ANSWERS, CHARIS, FINEX, FINEXPERT/FINEPRO, FSA, entre otros.

CAPÍTULO 9

FUTURO Y TENDENCIAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS



En este ultimo capitulo se muestra un panorama con tendencias futuras de los Sistemas Expertos, así como lagunas nuevas técnicas de Inteligencia Artificial que permitirán hacer realidad esos nuevos Sistemas.

El objetivo principal de este capitulo es mostrar una puerta abierta hacia el futuro y las nuevas tendencias de la tecnología de Sistemas Expertos.

9.1 Introducción.

Las tecnología de desarrollo de SE adoptan nuevos paradigmas, así como nuevas formas de desarrollo e implementación de SE para apoyar las actividades específicas. Las tendencias de los SE proyectan a implementaciones de tecnologías como Redes Neuronales, reconocimiento y procesamiento del lenguaje natural, reconocimiento de patrones, estas implementaciones prometen un futuro exitoso para lo SE y los fortalecerán aun más, haciéndolos más eficientes y más precisos.

9.2 Inteligencia Artificial Distribuida.

Es difícil pronosticar , a largo plazo, como evolucionarán todas las ramas implicadas de la Inteligencia Artificial y, por tanto, los mismos Sistemas Expertos; pero sí puede ser interesante establecer cuales pueden ser las tendencias a corto plazo, que en general, llevarán la consolidación e integración de las técnicas existentes.

Los mayores avances vendrán en el área de la Inteligencia Artificial Distribuida (DAI), llevados por la necesidad de disponer de Sistemas Expertos modulares que cooperen entre si y con los expertos humanos.

9.3 Sistemas Expertos más grandes.

En un futuro se pronostica que lo SE serán de un tamaño mucho más grande que en la actualidad, debido a que se pretende que sean de tipo multidominios, es decir que puedan resolver problemas de diferentes dominios.

Por ejemplo se ha pensado en diseñar y construir un SE multidominio en el área de medicina, el cual sea capaz de diagnosticar diferentes enfermedades con lo cual se tendría un medico con diferentes especializaciones en un software inteligente.

9.4 Reconocimiento del lenguaje natural.

Se tenderá al empleo del lenguaje natural en la salida y en la entrada del Sistema Experto.

Hoy en día se siguen haciendo grandes esfuerzos por consolidar los mecanismos de reconocimiento del lenguaje natural, mecanismos que hoy en día aún no son una realidad. Muchas empresas en el mundo invierten millones de dólares para hacer posible esta meta, Microsoft es una de ellas, Microsoft desde inicios del año 2000 creo un laboratorio de alta tecnología llamado Microsoft Search, en el cual trabajan cientos de ingenieros en Inteligencia Artificial, el objetivo de Microsoft es que en la siguiente década todo el software que distribuya en el mundo sea totalmente basado en tecnología de Inteligencia Artificial y por ende los programas sean operados por el usuario mediante el reconocimiento del lenguaje natural.

Con esta técnica se pretende que los Sistemas Expertos podrán adquirir conocimientos de la estructura subyacente a un problema, además de hacerlo de su estructura superficial.

Así mismo podemos considerar que la tecnología de la Inteligencia Artificial se empleará para el desarrollo rápido de software convencional.

9.5 Sistemas Expertos con redes neuronales.

Existe en el hombre un deseo profundo de poder reproducir la habilidad cognoscitiva por medios artificiales. La fascinación que la inteligencia como materia de estudio ha suscitado al género humano, puede verse reflejada en la aparición de una rama íntegra del

estudio científico llamada " Inteligencia Artificial " a secas o también estudio de la inteligencia.

Una de las múltiples ramas por las cuales se ha desarrollado la investigación es el desarrollo de las llamadas "redes neuronales". Una red neuronal es el intento de poder realizar una simulación computacional del comportamiento de partes del cerebro humano mediante la réplica en pequeña escala de los patrones que éste desempeña para la formación de resultados a partir de los sucesos percibidos.

Concretamente, se trata de poder analizar y reproducir el mecanismo de aprendizaje y reconociendo de sucesos que poseen los animales más evolucionados.

Una de las preguntas más interesantes que se plantean al hablar de este tema es la habilidad del cerebro para poder reconocer patrones. Se denomina reconocimiento de patrones a la capacidad de poder interpretar una imagen compleja (una foto, lo que ve el ojo) y actuar en consecuencia. Las computadoras digitales fueron diseñadas a partir de una lógica binaria (de 2 valores 0 - 1 o Verdadero - Falso), lo cual si bien facilitó su construcción, ha tenido como efecto una gran dificultad para procesar y reconocer imágenes, fotos, planos y dibujos.

Esta línea de la Inteligencia Artificial ha permitido grandes avances en el aprendizaje y el manejo de conocimiento, es una de las líneas más prometedoras para los Sistemas Expertos,

Ya que como sabemos los SE manejan grandes volúmenes de conocimiento.

Mediante la implementación de las Redes Neuronales en lo SE se obtendrán los siguientes beneficios:

- Los sistemas podrán aprender mediante su interacción con el entorno, de un modo mucho más flexible que en la actualidad.
- Se emplearán microprocesadores en paralelo para aumentar la velocidad con lo que se lograrán decisiones en tiempo real (PROLOG es el lenguaje más apropiado para este tipo de proceso).

Con la implementación de Redes Neuronales en lo SE, se crearán sistemas más confiables, ágiles y sobre todo con una aproximación más cercana a la inteligencia humana, creándose así sistemas que operarán en las siguientes áreas:

- Sistemas Expertos para predicción de mercados de capitales: bolsa, acciones, fondos de inversión, bonos, renta fija y futuros.
- Sistemas Expertos para el inversor, club de inversión, ahorro, mercado de valores, renta fija, renta variable. Ejemplos de predicción con DowJones, Ibex35, DAX, CAC40.
- Sistemas Expertos de gestión de riesgo en la empresa a través de redes neuronales.

- Sistemas Expertos para soluciones de estadística clásica y de modelos lineales por las redes neuronales en diversos procesos empresariales.
- Extensión de arquitecturas de tipo neurológico, que simulan el cerebro humano y que poseen un alto grado de paralelismo y una alta densidad de conexionado.

9.6 Interfaces inteligentes.

La tendencia los lo SE con respecto las interfaces humanas, es la creación de estas de forma fácil de operar, se crearán interfaces más amigables, inteligentes y versátiles. Los SE en los siguientes años tendrán las siguientes características:

- Los Sistemas Expertos se integrarán con otros dispositivos, hasta el punto de ser completamente autónomos del operador humano.
- Las interfaces hombres-maquinas se personalizarán para cada usuario específico, estas interfaces serán totalmente portátiles de modo que podrán ir en una tarjeta similar a las de crédito y bastará insertar esta tarjeta similar a las de crédito y bastará insertar esta tarjeta en cualquier Terminal para emplearlo.

9.7 Sistemas Expertos con visión artificial.

La Visión artificial, también conocida como Visión por Computador (del inglés Computer Vision) o Visión técnica, es un subcampo de la Inteligencia Artificial. El propósito de la visión artificial es programar una computadora para que "entienda" una escena o las características de una imagen.

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (ej.: segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, i.e., hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; tal modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

La implementación de la visión artificial promete grandes avances para los Sistemas Expertos, ya que esta implementación permitirá el desarrollo de sistemas más grandes, completos y con el modulo de reconocimiento visual. Los nuevos Sistemas Expertos tendrán implementada una base de imágenes, imágenes que estarán almacenadas como el conocimiento, lo cual permitirá al sistema realizar una consulta detallada sobre los objetos y fenómenos observados.

La visión artificial en combinación con el reconocimiento de patrones permitirán a los Sistemas Expertos ser más precisos, más confiables y por ende serán sistemas más eficaces y eficientes.

9.8 Sistemas Expertos Evolutivos.

La teoría de los Sistemas Evolutivos parte del constante cambio en los sistemas tanto de la información que manejan como de su estructura y desde hace mas de veinte años se han aplicado a la solución de problemas en áreas como el reconocimiento de patrones y lenguaje natural, la generación de música por computadora y la vida artificial entre otros, dando muy buenos resultados

Durante los años 80's surgió en México una escuela propia sobre el tema, que tiene entre otros antecedentes los conceptos de Redes Neuronales (1943), Máquinas que Aprenden (1966), Lingüística Matemática (1957) y Fractales de Mandelbrot (inicios de los años 60's).

A principios de los años 80's Fernando Galindo Soria inició el desarrollo de los Sistemas Evolutivos. Fue en 1983 cuando consolidó la idea y en septiembre de 1986 publicó el artículo Sistemas Evolutivos en el Boletín de Política Informática del INEGI-SPP, en la Cd. de México, donde presentó la Teoría de los Sistemas Evolutivos, la cual actualmente plantea que los sistemas evolucionan como resultado del constante cambio producido por el flujo de materia, energía e información que los cruza.

Aplicando este enfoque al ámbito de la programación, los Sistemas Evolutivos estudian la forma de construir sistemas capaces de modificar sus reglas, procesos, datos, y/o estructura, cada vez que nueva información ingresa al mismo.

Como ejemplo de estos sistemas, tenemos al Agente Evolutivo Manejador del Conocimiento creado en 1997 por el investigador Jesús Olivares Ceja, el cual se presentó en el X Congreso de la ANIEI sobre Informática y Computación. Este es un Sistema Evolutivo, encargado de obtener información de algún texto y extraer de él la información sustancial que produce conocimiento.

El trabajo Sistemas Evolutivos Generadores de Escenarios Fractales, desarrollado por José Armando Medina May y presentado en el X Congreso Nacional ANIEI sobre Informática y Computación, es un sistema que crea escenarios basados en paisajes que evolucionan bajo el concepto de matrices evolutivas.

En Aplicación de los Sistemas Evolutivos en el Análisis de Espectros de Rayos Gamma, los investigadores Luís E. Torres Hernández, Luís C. Longoria G., Antonio Rojas Salinas, investigadores del Instituto Tecnológico de Toluca, diseñaron en 1995 un sistema que utiliza matrices evolutivas, para analizar espectros gamma y generar huellas de comportamiento a partir de varios archivos de datos con formatos ASCII. Para ello, se representa al espectro como un vector, que al agruparlo con otros, forma una matriz. La operación que se realiza sobre estos vectores depende de sus valores, de manera que nuevos vectores pueden ser agregados a la matriz.

El Sistema Evolutivo de Reconocimiento de Formas en Dos Dimensiones, desarrollado también en 1995 en la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional por los investigadores Karla García García, Sergio Salcido Bustamante, Alfonso Ventura Silva, está diseñado para reconocer formas en dos dimensiones, sin que el sistema posea archivos predefinidos de imágenes, sino, que, almacena los datos que le envía el digitalizador en memoria y terminado este proceso, compara la forma recibida con todas las formas que ya conoce, las cuales están enlistadas en un archivo. En caso de que la forma sea nueva, este aprende bajo la definición que el usuario proporcione y lo almacena en un archivo nuevo. Por otro lado, cuando la forma presenta gran similitud con alguna conocida, se crea una nueva, que contiene características que se suman de cada una de ellas.

En 1999 Horacio Alberto García Salas presentó en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional, la Tesis de Lic. en Informática titulada Aplicación de los Sistemas Evolutivos a la Composición Musical. Éste, es un Sistema Evolutivo capaz de crear música basándose en obras existentes de uno o varios autores. El sistema lee el archivo de música y obtiene de él la información que lo distingue y lo integra en una matriz evolutiva. Con esta información, genera una nueva pieza que deja ver matices del o los autores originales.

A partir de los trabajos sobre sistemas evolutivos y de una serie de ideas generadas durante mas de veinte años se plantea en esencia que la evolución, el crecimiento, la vida, el aprendizaje, el pensamiento, la transformación de nuestra imagen de la realidad, los procesos de descomposición, el desarrollo y transformación de las empresas, sociedades, organizaciones, países, galaxias y universos, etc., son manifestaciones de un mismo proceso general de transformación o cambio, al que por facilidad llamamos evolución.

Aunque lo podríamos llamar de muchas otras formas, como cambio o transformación. O sea que, cuando nos refiramos a la evolución no nos estaremos refiriendo al concepto particular que tiene asociado, sino al concepto general con el cual integra y representa a todas las manifestaciones particulares.

Los sistemas evolutivos, son una línea derivada de la Inteligencia Artificial y como tal prometen grandes avances y apoyo a los Sistemas Expertos,

9.8.1 ESpertCOM (Sistema Experto Evolutivo en Banca Múltiple).

El ESpertCOM es un Sistema Experto Evolutivo en Banca Múltiple, empleando para ello los resultados de las etapas de Análisis, Diseño e Implementación.

Este sistema es capaz de brindar apoyo en la toma de decisiones a expertos humanos en áreas de conocimientos semi-estructurados, y en este caso, dichos conocimientos están enfocados a las áreas de fideicomiso y de la banca múltiple. El funcionamiento elemental de dicho software se basa en el uso de una base de conocimientos, dividida en varias artes o archivos:

- Archivos de Síntomas (o palabras),

- Archivos de palabras a ignorar (o no palabras),
- Archivo de Síntomas Compuestos (o Matriz Evolutiva de Síntomas Compuestos),
- Archivo de Reglas de Inferencia (o Matriz Evolutiva de Reglas),
- Archivo de Diagnósticos, y
- Archivo de Tratamientos.

Todos los archivos están íntimamente relacionados, ya que los procedimientos para el almacenamiento de los datos en cada archivo, se conjugan, uno con otro, con el fin de mantener sincronizadas las entradas (que posteriormente serán almacenadas, en caso de que aún no existan al momento de ser ingresadas) con los distintos síntomas compuestos en los que cada una de ellas es utilizada, con la formación de reglas y con su asociación a un diagnóstico y un tratamiento.

Como ya se mencionó en el párrafo anterior, este software es capaz de hacer crecer su base de conocimientos sin necesidad de intervención humana, lo que lo distingue de Sistemas Expertos convencionales, en donde el hecho de ampliar la base de conocimientos, implica una modificación directa del código.

Otra ventaja de ESpertCOM sobre los Sistemas Expertos, es la facilidad con la que se puede depurar su base de conocimientos, pues hasta con abrir el archivo correspondiente y modificarlo, sin tener que alterar el código de programa principal.

9.9 Consecuencias.

Como consecuencia de todo lo anterior, la estructura social y productiva se verá afectada; algunas de las consecuencias más importantes serán:

- Transformación en los puestos de trabajo, tanto en los correspondientes a trabajadores manuales, cuyo trabajo tenderá a ser reemplazado por robots cada vez más eficientes, como los de los directivos, cuyos puestos estarían amenazados por determinados Sistemas Expertos.
- Ampliación de la “brecha” Norte-Sur.
- Cambios en la autocomprensión humana, al enfrentarse directamente con el problema de la naturaleza de la Inteligencia y la Consciencia.
- Sistemas de armas extremadamente eficientes, pero también más vulnerables.
- Aumento de la automatización en las fábricas, llegándose a un cambio de la estructura de costes (en la última fábrica de **IBM**, los costes laborales no superaban el 1% del coste total).

9.10 Visión crítica.

Como en cualquier campo de la tecnología, no todas las visiones referentes al futuro de la Inteligencia Artificial son optimistas, como podría hacer suponer lo anteriormente narrado en este epígrafe.

Entre algunas de las cuestiones que podrían inducir a adoptar una visión más pesimista están: el hecho de que las mayores inversiones en este campo provienen de las agencias militares, que son bastantes remisas a dar publicidad a los resultados de sus investigaciones, así como también los altos costes asociados a este tipo de tecnología, cuya amortización es incierta. Tampoco están claras ni la fiabilidad (lo que limita la aplicación de esta tecnología, sobre todo en los casos donde ésta es crítica, como en centrales nucleares), ni en las áreas de aplicación (no quedando nítidamente determinado cuando es preferible una aplicación de inteligencia Artificial frente a una programación clásica). Concretamente, en el campo de los Sistemas Expertos, se cuestionan los escasos resultados después de duros años de trabajo, hasta el punto de que son abundantes los prototipos, pero muy escasos los sistemas comerciales.

Se podrían esquematizar algunos de los retos a los que se enfrentan la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos:

- La tecnología no está totalmente madura.
- La tecnología de la inteligencia Artificial es completamente diferente de los métodos tradicionales de desarrollo de software y hardware, de hecho, los programadores deben aclimatarse a los lenguajes procedurales, que en algún caso como el LISP, no son fáciles.
- Se debe buscar compatibilizar los productos de esta nueva tecnología con la gran cantidad de equipos actualmente existentes.
- La tecnología de los Sistemas Expertos es hoy en día cara, su desarrollo es una tarea para la que hay que contar con herramientas adecuadas y en las que es necesario invertir una gran cantidad de tiempo. Sería deseable por tanto desarrollar herramientas de alto nivel, que faciliten la tarea y reduzcan el costo de desarrollo.
- Extraer el conocimiento de los expertos humanos es una tarea lenta y complicada, que se suma al tiempo y esfuerzo necesario para su codificación en la Base de Conocimiento. Usualmente, se hace necesario el rediseño de un sistema debido a varias causas, entre las cuales las más usuales son:
 - Las presentaciones del sistema son insatisfactorias desde el punto de vista del usuario o del proyecto.
 - Las metas del sistema podrían cambiar a lo largo del tiempo de desarrollo, siendo necesario replantear el diseño.

- Algunas de las metas de los Sistemas Expertos, como ser integrables con sistemas ya existentes u operar en un gran número de ordenadores distintos, no son siempre alcanzadas.
- No se han alcanzado Sistemas Expertos verdaderamente efectivos en el caso de aplicaciones de diagnóstico. Los modelos empleados en este campo son demasiado sencillo y por lo general no contemplan la estructura del sistema ni las entidades individuales de que está compuesto.
- La vida media del conocimiento es corta, y podría ocurrir que cuando el proceso de desarrollo del Sistema Experto concluyese, el conocimiento fuese obsoleto.
- Los *shells* (conchas) disponibles para el desarrollo de Sistemas Expertos no están todavía maduros, exhibiendo bastantes fallos de diseño. En algunos casos también se aprecia bastante dificultad para el aprendizaje de estas herramientas.
- Durante las últimas décadas se ha puesto mucho énfasis en Sistemas Expertos basados en reglas, estos sistemas han tenido bastante éxito en áreas donde el conocimiento está muy bien estructurado, pero presentan serias deficiencias en áreas menos estructuradas. Una alternativa son los sistemas basados en probabilidad, para cuya implementación parecen muy adecuadas las denominadas Redes Neuronales.

Conclusiones

La composición de un Sistema Experto, sus aplicaciones, ventajas y desventajas, y algunos ejemplos sobre estos; han sido los puntos generales que se han tratado a lo largo de proyecto, con el fin de crear una mayor conciencia del uso real de este tipo de sistemas.

Un sistema experto puede, sin duda alguna, darnos el mismo resultado que un experto humano; lo que sí debemos reconocer es que ningún sistema experto, hasta ahora, puede resolver diferentes problemáticas dentro de una empresa, ya que estos son siempre muy específicos. Sin embargo, es de esperarse que con los avances que tienen las herramientas tecnológicas se produzcan un desarrollo cercano al comportamiento humano en muchas áreas, con estos avances en el terreno de los negocios se podría ser más eficiente y productivo.

A pesar de los dramáticos avances logrados, la inteligencia artificial no ha sido capaz de desarrollar sistemas capaces de resolver problemas de tipo general, de aplicar sentido común para la solución de situaciones complejas, de manejar situaciones ambiguas ni de utilizar efectivamente información incompleta. Estas últimas son características inherentes de la inteligencia natural.

BIBLIOGRAFÍA:

ANGULO Usategui José María y Anselmo del Moral Bueno. Guía fácil de la Inteligencia Artificial. Editorial Paraninfo. Segunda Edición. Madrid, 1994.

ARTEAGA René y Juan Carlos Armijos. Tutorial de Programación Heurística.
URL(www.uc3m.es/cgi-bin/nph-count).

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Glosario.
URL(http://www.lafacu.com/apuntes/ingenieria/asociacion_argentina_de_inteligencia_artificial/asociacion_argentina_de_inteligencia_artificial.htm).

BAÑARES, José Ángel. Herramientas para las Asignaturas del IAIC.
URL(<http://diana.cps.unizar.es/banares/IA/noticias.html>).

BENCHIMOL Guy, Pierre Levine y Jean Charles Promerol. Los sistemas expertos en la empresa. Macrobit. Cuarta edición, México, 2004

BONSÓN Enrique. Tecnologías Inteligentes para la Gestión Empresarial. Alfaomega . Rama. Tercera edición. México, 2003.

BRAIN Keith y Steven Brain. Inteligencia Artificial en el Dragón.
Traductor: Jordi Abadal Berini. Editorial Gustavo Gili. Primera Edición.
México, 1999.

BRATKO Ivan. Prolog programming for Artificial Intelligence. Addison Wesley. Segunda Edición. New York, 1999.

CONTRERAS Carlos. INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL. URL(www.gdl.uag.mx/66/0ia.htm).

CRIADO Briz José Mario. Introducción a los Sistemas Expertos.
URL(www.ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/index.php). 2007.

CRIADO Briz José Mario. Sistemas Expertos.
URL(<http://home.worldonline.es/jmariocr/>).

CRUZ Roberto. Área de Bases de Datos e Inteligencia Artificial.
URL(http://dcc.ing.puc.cl/investigacion/areas/bases_dat.html).

DE ALBORNOZ Bueno Álvaro. Laboratorio de Procesamiento de Imágenes. URL(http://www.cic.ipn.mx/organización/lab_de_int_art.htm).

DE ÁVILA Ramos Jorge. Sistemas Expertos.
URL(http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/sist_expe/).

DE MIGUEL González Luis Javier. Técnicas de Mantenimiento Predictivo Industrial basadas en Sistemas Expertos.
URL(<http://www.cartif.es/mantenimiento/expertos.html>)

DÍEZ Vegas Francisco Javier. Sistema Experto Bayesiano para Ecocardiografía.
URL(<http://www.ia.uned.es/~fdiez/tesis/tesis.html>),

ELGUEA Javier. Inteligencia artificial y psicología: la concepción contemporánea de la mente humana.

URL(http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/itam/estudio/estudio10/sec_16.html).

GONZÁLEZ Ayala Luis Enrique. Sistemas Expertos.

URL(<http://www.prodigyweb.net.mx/enrayala/Sistemas.htm>)

HARMON Paul y Curtis Hall. Intelligent Software Systems. Editorial John Wiley & Sons Inc. Primera edición. New York, 1999.

HASEMER Tony y John Domingue. Common LISP Programming for Artificial Intelligence. Addison Wesley. Primera edición. New York, 1998.

HOPGOOD Adrian. Knowledge . Based Systems for Engineers and Scientists. Editorial CRC. Primera edición. Londres, 1997.

HURTADO Vega José de Jesús. Inteligencia Artificial.

URL(<http://www.itlp.edu.mx/publica/boletines/actual/inteligencia.html>).

KANDEL Abraham. Fuzzy Expert Systems. Editorial CRC. Primera edición, Londres, 1992.

MARTÍNEZ De Ibarreta León, Francisco Javier.

Sistemas Expertos: Áreas de Aplicación.

URL(www.geocities.com/SiliconValley/Way/7788/SISEXP.HTM). 1-Abr-1994.

PARSAYE Kamran, Mark Chignell, Setrag Khoshafian y Harry Wong.

Intelligent Databases. Editorial Wiley. Primera Edición. New York, 1997.

RICH Elaine y Kevin Knight. Artificial Intelligence. Mc GrawHill. Segunda edición. México, 1996.

ROLSTON, David W. Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas

Expertos. Traductor: Alfonso Pérez Gama. McGraw Hill. Primera edición.

México, 1998.

ROSS Rita. Historia de los Sistemas Expertos.

URL(www.monografias.com/trabajos10/exper/exper.shtml).

RUSSELL Stuart y Peter Norving. Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. Traductor:

Raúl Bautista Gutiérrez. Prentice Hall. Primera edición. México, 1996.

SAMPER Márquez Juan José. SISTEMAS EXPERTOS. DEL CONOCIMIENTO AL

PODER. URL(www.psycologia.com/articulos/arjsamper01.htm).

SÁNCHEZ Tomás Antonio. Aplicación de los Sistemas Expertos en Contabilidad.

URL(<http://ciberconta.unizar.es/Biblioteca/0002/Sanchez95.html#CONTABILIDAD>).

SÁNCHEZ y Beltrán Juan Pablo. Sistemas Expertos: Una metodología de programación. Macrobit. Primera edición. México, 1997.

SCARABINO Juan Carlos. Sistemas Expertos: Aspectos técnicos.
URL(<http://ciberconta.unizar.es/LECCION/sistexpat/INICIO.HTML>).

SCHILDTH Herbert. Utilización de C en Inteligencia Artificial. Traductor: José Andrés Moreno Ruiz. Mc GrawHill. Primera edición. México, 1997.

SELL Peter. Sistemas Expertos para principiantes. Traductor: Hugo Villagómez Velásquez. Noriega Editores. Primera edición. México, 1999.

TELLO Ernest. Object Oriented Programming for Artificial Intelligence. Addison Wesley. Tercera edición. New York, 2002.

TRAMULLAS y Kronos Jesús. Recuperación de Información y Sistemas Expertos.
URL(<http://www.tramullas.com/nautica/documatica/3-8.html>).

VALDIVIA Rosas David. Sistemas Expertos.
URL(<http://www.fortunecity.com/skyscraper/romrow/207/se/Portada.html>).

WALKER Adrian, Michael Mc Cord, John Sowa y Walter Wilson. Knowledge . Based Systems and Prolog. Addison Wesley. Segunda Edición. New York, 1994.

WINSTON Patrick Henry. Artificial Intelligence. Addison Wesley. Tercera edición. California, 1995.