



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLAN



**BACO: SISTEMA EXPERTO PARA EL
APRENDIZAJE DE LOS ORGANOS DEL
CUERPO HUMANO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
**LICENCIADO EN MATEMATICAS APLICADAS Y
C O M P U T A C I O N**
P R E S E N T A :
IRAN DIAZ GONZALEZ

ASESOR: M. EN C. GEORGINA ESLAVA GARCIA



NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO

MAYO, 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres... V. e I.

La ciencia sin amor no es ciencia.

Índice

Resumen	III
Abstract	V
Lista de Figuras	VII
Lista de Tablas	XI
Introducción	1
Capítulo 1: Antecedentes de los Sistemas Expertos	3
1.1 Inteligencia Artificial	4
1.1.1 Breve historia de la Inteligencia Artificial	4
1.1.2 Ramas de la Inteligencia Artificial	6
1.2 Sistemas Experto	16
1.2.1 Concepto de Sistema Experto	16
1.2.2 Conceptos básicos de Sistemas Expertos	16
1.2.3 Estructura de un Sistema Experto	19
1.2.4 Clasificación de los Sistemas Expertos	21
1.2.5 Áreas de aplicación de los Sistemas Expertos	25
1.2.6 Beneficios y limitaciones de los Sistemas Expertos	26
Capítulo 2: Teoría para la construcción de un Sistema Experto	29
2.1 Fases para la construcción de un Sistema Experto	30
2.1.1 Inicialización	31
2.1.2 Análisis	31
2.1.3 Diseño	33
2.1.4 Desarrollo	36
2.1.5 Implementación	37
2.2 Adquisición del Conocimiento	37
2.3 Representación del Conocimiento	42
2.4 Métodos de Inferencia	57
Capítulo 3: Inicialización, Análisis y Diseño del Sistema Experto BACO	67
3.1 Fase de Inicialización del Sistema Experto BACO	68

3.2 Fase de Análisis del Sistema Experto BACO.....	69
3.2.1 Fuentes del conocimiento	69
3.2.2 Soluciones alternativas	69
3.2.3 Limitaciones del Sistema Experto	70
3.2.4 Extracción del conocimiento para el Sistema Experto	73
3.2.5 Factibilidad	78
3.3 Fase de Diseño del Sistema Experto BACO.....	79
3.3.1 Selección de hardware y software	79
3.3.2 Diseño conceptual.....	80
Capítulo 4: Desarrollo e Implementación del Sistema Experto BACO	93
4.1 Fase de Desarrollo del Sistema Experto BACO	94
4.1.1 Construcción de la base de conocimiento	94
4.1.2 Desarrollo del software.....	112
4.1.3 Prueba y evaluación del Sistema Experto.....	118
4.2 Fase de Implementación del Sistema Experto BACO.....	120
4.2.1 Instalación y demostración	120
Conclusiones	121
Referencias Bibliográficas	125
Bibliografía	127
Anexos	129
I: Lista de órganos del cuerpo humano considerados en el sistema experto BACO	131
II: Código en lenguaje Visual PROLOG del sistema experto BACO	137

BACO: Sistema Experto para el aprendizaje de los órganos del cuerpo humano

Resumen

La Inteligencia Artificial (IA) es la ciencia que intenta crear dispositivos con características de inteligentes, sus áreas de estudio son: el procesamiento de lenguaje natural, sistemas expertos, robótica, redes neuronales, programación automática, interpretación de imágenes y visión artificial.

De las ramas de la IA, los sistemas expertos han tenido un gran éxito. Un sistema experto es un software que imita el razonamiento humano y está integrado por la base de conocimiento, el motor de inferencia, la interfaz de usuario y la base de hechos. Algunas de las áreas en que sobresalen son: interpretación, planeación, diagnóstico, diseño, etc.. Sus ventajas son incremento en la calidad, productividad, capacitación, entre otros.

Para construir sistemas expertos es conveniente satisfacer las siguientes fases: la inicialización, el análisis, diseño, desarrollo e implementación (generalmente llamadas en sistemas expertos como identificación, conceptualización, formalización, implementación y prueba). Los modelos de representación del conocimiento se incluyen dentro del proceso de creación. Las redes semánticas, los frames, las reglas de producción, etc. son herramientas que permiten organizar el conocimiento para que sea más fácil su manipulación y traducción a un lenguaje de programación. La forma de realizar la inferencia está basado en el encadenamiento hacia adelante (forward chaining) y el encadenamiento hacia atrás (backward chaining).

Para ejemplificar la creación de un sistema se ha considerado a BACO, sistema experto de los órganos del cuerpo humano. La primera fase de su construcción es la de inicialización que define el área de aplicación, la siguiente es el análisis en la que se especifican las fuentes del conocimiento. El propósito principal de esta fase es para comprender, delimitar la aplicación y reunir el conocimiento que tendrá el sistema además de la factibilidad. La tercera, sobre el diseño, que se enfoca en el software y hardware utilizado, así como la forma en que BACO pretende solucionar el problema. El diseño conceptual muestra la arquitectura básica del sistema.

Las dos últimas fases realizadas en BACO son el desarrollo y la implementación. En la fase de desarrollo se describe la construcción de la base de conocimiento y de algunos modelos de representación (de acuerdo al conocimiento recopilado en la fase de análisis). La representación de los órganos y sistemas del cuerpo humano en reglas de producción, los árboles de decisión, etc. facilita su traducción al lenguaje de programación Visual-PROLOG. La interfaz gráfica, que BACO utiliza, también se expone en esta parte además de algunas pruebas para evaluar las respuestas del sistema experto, finalmente se presenta la implementación ya como un software terminado.

BACO: Expert System for the learning of the human body organs

Abstract

Artificial Intelligence is the science that attempts to make machines intelligent, its branches are: natural language processing, expert systems, robotics, neural networks, automatic programming, pattern recognition and computer vision.

Among the branches of AI, expert systems have been partly successful. An expert system is a software that simulates human reasoning. An expert system is composed of the knowledge base, the inference engine, the user interface and the global database (working memory). Some of the areas they address are: interpretation, planning, diagnosis, design, etc.. Their advantages can be many such as increased quality, productivity, training and among others.

To build expert systems is suitable to satisfy the following phases: the initialization, analysis, design, development and implementation (mostly called in expert systems as identification, conceptualization, formalization, implementation and testing). The knowledge representation methods are included in the process of creation. Semantic networks, frames, production rules, etc. are tools that allow the knowledge to be organised so that it can be manipulated and translated to a programming language easily. The way to make inference is based on forward chaining and backward chaining.

To set an example of the expert system creation it has been taken into account BACO, an expert system of the human body organs. The first phase is the initialization setting the problem definition, the next one is the analysis that starts with the sources of knowledge specification. The main purpose of this phase is to understand, to delimit the problem and to set the knowledge to be considered in the system together besides the feasibility. The third, about the design, is focused on the software and hardware to be used, so as the way in which BACO sets out to give solution to the problem. The conceptual design shows the basic outline of the system.

The two last phases accomplished in BACO are the development and the implementation. In the phase of development, the building of the knowledge base is described and some methods of representation (according to the collected knowledge in the phase of analysis). The representation of the organs and systems of the human body in production rules, decision trees, etc. facilitates the translation to the Visual-PROLOG program. The graphic interface that BACO uses is shown in this part as well as some tests to evaluate the answer of the expert system, finally the implementation is exposed as a complete software.

Lista de Figuras

Figura 1.1	Ramas de la Inteligencia Artificial.....	7
Figura 1.2	Estructura de las redes neuronales.....	10
Figura 1.3	Estructura de un sistema experto.....	20
Figura 2.1	Esquema del ciclo de construcción de un SE.....	30
Figura 2.2	Prototipo rápido.....	35
Figura 2.3	Etapas de la adquisición del conocimiento.....	39
Figura 2.4	Métodos de adquisición del conocimiento.....	41
Figura 2.5	Representación del conocimiento en una red semántica.....	48
Figura 2.6	Frame del automóvil.....	50
Figura 2.7	Representación del conocimiento en una lista.....	51
Figura 2.8	Tabla de decisión [Carrico, 1989].....	52
Figura 2.9	Ejemplo de un script.....	53
Figura 2.10	Árbol de decisión para la identificación de animales.....	54
Figura 2.11	Tipos de inferencia.....	57
Figura 2.12	Sistema experto hipotético (encadenamiento hacia adelante).....	59
Figura 2.13	Sistema experto hipotético (encadenamiento hacia atrás).....	62
Figura 2.14	Búsqueda en anchura en un árbol de búsqueda.....	63
Figura 2.15	Búsqueda en profundidad en un árbol de búsqueda.....	65
Figura 3.1	El cuerpo humano visto como un conjunto de sistemas y órganos.....	73

Figura 3.2	Estructura y función del sistema endocrino y urinario.....	76
Figura 3.3	Estructura del oído, la laringe y el corazón.....	77
Figura 3.4	Inteligencia Artificial en un sistema de computadora.....	81
Figura 3.5	Diagrama de árbol del cuerpo humano (endocrino, reproductor, óseo).....	82
Figura 3.6	Diagrama de árbol del cuerpo humano (urinario, digestivo, muscular).....	83
Figura 3.7	Diagrama de árbol del cuerpo humano (nervioso, respiratorio, sentidos, circulatorio).....	84
Figura 3.8	Diagrama de árbol para la identificación de un órgano	85
Figura 3.9	Ruta a un determina objetivo	86
Figura 3.10	Ruta para obtener una conclusión a partir de un hecho inicial (tiene glotis)	88
Figura 3.11	Ruta para verificar la estructura de un determinado órgano	89
Figura 3.12	Esquema de las partes del sistema experto BACO	90
Figura 4.1	Red semántica general del cuerpo humano (sistema nervioso, urinario y circulatorio).....	95
Figura 4.2	Red semántica de algunas relaciones entre sistemas y órganos.....	96
Figura 4.3	Red semántica para encontrar un determinado órgano	97
Figura 4.4	Red semántica para identificar órganos y sistemas a partir de hechos iniciales	98
Figura 4.5	Encadenamiento hacia adelante para concluir en el páncreas en el sistema experto BACO.....	105
Figura 4.6	Encadenamiento hacia atrás para aceptar o rechazar el cuerpo humano en el sistema experto BACO.....	107
Figura 4.7	Árbol de decisión de algunos aparatos del cuerpo humano	108
Figura 4.8	Árbol de decisión de algunos órganos del cuerpo humano.....	109
Figura 4.9	Frames del sistema nervioso, las meninges y la hipófisis.....	110
Figura 4.10	Interfaz de usuario principal de BACO.....	115

Figura 4.11	Los menús y sus respectivas opciones en el sistema experto BACO	115
Figura 4.12	Cuadro de texto para mostrar información	117
Figura 4.13	Ventana de diálogo del sistema experto BACO.....	117
Figura 4.14	Verificación de un órgano a partir de un hecho inicial (tiene cola).....	119
Figura 4.15	Aceptar o rechazar una hipótesis (los ojos) a partir de hechos iniciales.....	119

Lista de Tablas

Tabla 1.1	Categorías generales de los SE.....	22
Tabla 1.2	Aplicaciones de los sistemas expertos según la clasificación por sectores	24
Tabla 1.3	Actividades representativas de expertos y sus dificultades	28
Tabla 2.1	Operadores lógicos y sus símbolos.....	42
Tabla 2.2	Valores de verdad del NOT	43
Tabla 2.3	Valores de verdad del AND.....	43
Tabla 2.4	Valores de verdad del OR.....	44
Tabla 2.5	Valores de verdad de la IMPLICACIÓN	44
Tabla 2.6	Ventajas y desventajas de algunas técnicas de representación del conocimiento	56
Tabla 3.1	División del cuerpo humano por funciones [Higashida, 1996].....	71
Tabla 3.2	Clasificación de los aparatos o sistemas del cuerpo humano	74
Tabla 4.1	Descripción de los menús y sus opciones en la interfaz de usuario de BACO	116

Introducción

El surgimiento de las computadoras ha originado una diversidad de aplicaciones, así como la evolución y desarrollo de áreas específicas de estudio. Una de las áreas de gran impacto en las ciencias de las computadoras es la Inteligencia Artificial que obedece a la creación de dispositivos o artefactos con características de inteligentes.

La Inteligencia Artificial como área de estudio ha sido dividida en ramas, tales como el reconocimiento de patrones, robótica, programación automática, sistemas expertos, etc.. De estas áreas, la que parece tener mayores avances y llamar la atención en los procesos que requieren de inteligencia son los sistemas expertos, que se definen como un software que pretende simular la inteligencia humana.

Por lo tanto, la hipótesis que en este trabajo de investigación se pretende comprobar es: “un sistema experto puede reemplazar al experto humano en una área específica del conocimiento”.

El proceso de crear un sistema experto requiere de la comprensión de conceptos y del seguimiento de fases para la construcción. Tal proceso es mostrado a través del desarrollo y construcción de BACO, sistema experto para el aprendizaje de los órganos del cuerpo humano. Ya objetivo es desarrollar un sistema que a partir de cierta información inicial sobre los órganos del cuerpo humano, el sistema genere una hipótesis (sobre el posible órgano) y trate de verificarla. Una vez confirmada se da el nombre del órgano.

La construcción de un sistema que identifique los órganos del cuerpo humano está orientado al aprendizaje y enseñanza de los órganos sin la necesidad de requerir la presencia de un experto, la forma interactiva de obtener información del usuario-máquina y máquina-usuario puede ser atractiva e incluso entretenida, sobre todo para usuarios de nivel escolar primaria, secundaria y bachillerato.

La construcción de BACO se divide de la siguiente manera: concepto y estructura de los sistemas expertos, se proporcionan los elementos para construir sistemas expertos y la descripción de las fases para crear BACO. En el primer capítulo se define a la Inteligencia Artificial y algunos hechos históricos relevantes que la llevaron a su consolidación como ciencia, también se hace mención de sus áreas de aplicación. Posteriormente se expone la teoría sobre los sistemas expertos: conceptos, estructura, clasificación, entre otros puntos.

El segundo capítulo se refiere a las fases que hay que considerar para crear, en general, sistemas expertos, así como la presentación de herramientas que faciliten su creación. Las fases que aquí se exponen no son únicas ni lineales por lo que se podrían juntar o eliminar algunas

etapas. En lo que respecta a las fases para la construcción de BACO, los capítulos 3 y 4 son los que se enfocan en este proceso. Para obtener un sistema final, es necesario cumplir con la teoría presentada en el capítulo 2. El tercer capítulo abarca el análisis y diseño de BACO con sus respectivas etapas, se hace hincapié en elementos indispensables como la obtención y el tipo de información que utilizará el sistema, la manera de resolver el problema, la descripción del software, hardware y el diseño conceptual.

Por último, se tiene el capítulo 4 cuyo objetivo es describir el desarrollo del sistema, es decir, la forma en que se ordenará el conocimiento que se ha obtenido en las fases de análisis y diseño, la manera de representar dicho conocimiento y la programación de BACO. Una vez concluido el software, el siguiente paso es realizar algunas pruebas y evaluar los resultados para ver si cumple con las expectativas del análisis y diseño. La creación de este software culmina con la instalación de BACO como un software terminado y listo para ser utilizado.

A través de la construcción de este sistema experto y con la ayuda de algunas herramientas del análisis y diseño de sistemas, se espera guiar a los interesados en la construcción de sistemas basados en conocimiento.

Capítulo 1

Antecedentes de los Sistemas Expertos

Los sistemas expertos son una área de la Inteligencia Artificial (IA) que tratan de aplicar inteligencia en máquinas y desarrollar software inteligente.

Para efectos de este capítulo, se tratará en principio un panorama general de la Inteligencia Artificial, su origen, ramas, conceptos y se introducirá a los principios básicos de los sistemas expertos.

1.1 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial intenta crear máquinas con capacidad de razonamiento. El razonamiento consiste en la inferencia de hechos y reglas usando heurística.

La IA está relacionada con dos ideas básicas: la que involucra estudios sobre los procesos de la mente humana y la que trata sobre la manera de representar estos procesos en una máquina (computadoras, robots, etc.).

A la Inteligencia Artificial se le define como el funcionamiento de una máquina que al proporcionar resultados, éstos puedan clasificarse de tipo inteligente [Firebaugh, 1989].

Otras definiciones dicen que: la IA es la parte de la ciencia de los ordenadores que investiga procesos simbólicos, razonamientos no algorítmicos y representaciones simbólicas de conocimiento usados en máquinas. La IA también la definen como la ciencia de hacer máquinas que hacen cosas que al ser realizadas por el hombre requieren de inteligencia [Firebaugh, 1989]. Para otros es el estudio de cómo lograr hacer máquinas que realicen tareas que, por el momento, son realizadas mejor por los seres humanos [Rich, 1983].

1.1.1 Breve historia de la Inteligencia Artificial

La prehistoria de la Inteligencia Artificial abarca desde los primeros tiempos de nuestra civilización hasta mediados del siglo veinte. En este periodo ocurren hechos que se agrupan en dos partes: una de ellas, relacionada directamente con la construcción de autómatas que pretendían simular el comportamiento humano y animal, también se pretendía crear inteligencia fuera del cuerpo humano. La otra parte, referente a la automatización del razonamiento lógico y matemático.

Al llegar el racionalismo del siglo XVIII, el enfoque de los autómatas cambió. Descartes había defendido la tesis del “animal-máquina”. La Mettrie en 1747 va más allá con la tesis “L’homme machine”. En muchas de estas tesis se explicaba al hombre y su comportamiento inteligente en términos exclusivamente mecánicos. Ciertamente existieron mecanismos como el telar automático, las tarjetas perforadas, notables autómatas para jugar ajedrez, etc..

Se cree que el primer acontecimiento histórico de la IA fue en el año de 1884. Para esta época, un científico llamado Charles Babbage experimentó primero con máquinas que se esperaban fueran inteligentes y por mencionar a otros, se tienen a Augusta Ada y el escritor Capek que difunde en 1920 la palabra robot. Sin embargo hasta la llegada de las computadoras electrónicas, los científicos y técnicos contaron con herramientas que permitieron la ejecución de tareas más complejas por parte de dispositivos mecánicos, que hicieron posible la construcción de mecanismos más sofisticados.

En la segunda parte de la prehistoria de la IA referente a la automatización del razonamiento, se ubica a Leibnitz que buscó algún tipo de álgebra universal que pudiera expresar mejor los procesos del razonamiento. Al llegar el siglo XIX, los matemáticos de ese tiempo sintieron la necesidad de abandonar los proyectos sobre el razonamiento y buscar bases más sólidas. Los

esfuerzos que se mantuvieron a cierto nivel pudieron dar origen a los sistemas formales y a la lógica matemática. Los principios que se tenían sobre Inteligencia Artificial, además de los autómatas, formaron un vínculo en la formalización del razonamiento, lo que proporcionó un gran paso en el avance de crear inteligencia en máquinas. Hay que destacar que un gran elemento en la disciplina de máquinas inteligentes también lo formó la ciencia llamada cibernética.

Ambiciosos y optimistas se mostraban los pioneros de la IA durante los primeros años de la informática, pero el fracaso de muchos de los proyectos mostró que los problemas que se intentaban resolver eran demasiados complejos, tanto teórica como tecnológicamente. Para 1950 ya habían varios intentos de asociar a las computadoras con inteligencia, el campo de la cibernética señalaba también la parte funcional entre humanos y máquinas. Para este mismo año, Alan Turing presentó un comunicado sobre el tema de IA, en este trabajo propone un test (test de Turing) para determinar cuando una máquina posee Inteligencia Artificial. La prueba de Turing es un procedimiento para evaluar el éxito de un programa de IA, el cual consiste en que un entrevistador se comunica vía textual de entrada y salida con un sistema de IA y con otra persona que participa en la prueba, el entrevistador no se da cuenta cuál respuesta viene de la computadora y cuál de la otra persona. Si después de hacer suficientes preguntas el entrevistador no puede distinguir entre el hombre y la máquina, entonces el sistema pasa la prueba y se estima que es exitoso.

La prueba de Turing intenta ofrecer una definición de Inteligencia Artificial que se pueda evaluar. Para que un ser o máquina se considere inteligente debe lograr “engañar” a un evaluador de que este ser o máquina se trata de un humano evaluando todas las actividades de tipo cognoscitivo que realiza un ser humano. Si el número de errores en la solución dada (en la prueba) se acerca al número de errores ocurridos en la comunicación con un ser humano, se podrá estimar, según Turing, que se trata de una máquina “inteligente”.

Posteriormente en 1955, fue creado un lenguaje de programación por Allen Newel, J. C. Shaw y Herbert Simon que fue considerado como el primer lenguaje de IA; era el IPL-II (Information Processing Language-II). En 1956, la conferencia de verano sobre IA reunió a todos aquellos que trabajaban en el campo de la Inteligencia Artificial y se discutieron temas como la Lógica Teórica (LT). La LT fue considerada como el primer programa de IA y usada para resolver problemas de búsqueda heurística. A mediados de los años cincuenta John McCarthy, y el MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) diseñaron el lenguaje de procesamiento en listas (LISP).

Durante el decenio de 1950, los avances logrados en IA eran el tema de moda: se celebraron nuevos congresos y proliferaron los grupos de investigación. Para finales de los cincuenta, aparece el Solucionador de Problemas Generales (GPS) que es un programa para resolver diferentes problemas ambientales. También aparece el Perceptrón de Rosenblatt, máquina en red que sería capaz de simular la vista humana. Slage realizó en el MIT la automatización de la integración simbólica con su programa SAINT, origen de lo que sería en unos años mas tarde el programa MACSYMA¹.

¹ MACSYMA es un sistema experto que resuelve problemas de álgebra y problemas de cálculo. Éste usa procesamiento simbólico, las soluciones dadas por MACSYNA pueden ser por otra parte una aproximación por métodos numéricos.

En la historia de la IA, hay un periodo denominado la edad oscura (1965-1970), en este periodo los investigadores creían que los proyectos de máquinas inteligentes eran una tarea fácil, se comienzan los primeros trabajos de investigación sobre un primer sistema experto: el DENDRAL², desarrollado por la Universidad de Stanford. La otra etapa podría ser la renacentista (1970-1975), en la que aparecen sistemas como MYCIN³ y PROSPECTOR⁴ que resultaron ser los grandes logros de la IA.

En 1975, Alain Colmerauer define el lenguaje PROLOG de programación lógica y la aparición de lenguajes declarativos desarrollados por otros investigadores que empezaban a caracterizar a la IA.

Con la aparición de los primeros sistemas expertos, la IA volvió a ser tema de moda y el impulso definitivo vino en Japón. En 1979, el Ministerio de Industria y Comercio Internacional del Japón decidió desarrollar una nueva generación de computadoras que cumpliera con las necesidades previstas para la década de los noventa, la cual sería llamada como el proyecto de la Quinta Generación de Computadoras.

La aparición de la IA como tecnología comercial es también atribuida no sólo a aquellos que se esmeraron en obtener resultados de tipo inteligente en máquinas, sino que además a los recientes descubrimientos de los artefactos semiconductores, arquitectura de computadoras, y a otros avances tecnológicos de la era actual.

1.1.2 Ramas de la Inteligencia Artificial

El desarrollo de máquinas capaces de mostrar inteligencia involucra diferentes ciencias y tecnología, tales como lingüística, psicología, filosofía, diseño de hardware y software de ordenadores, mecánica, hidráulica y óptica. Por ejemplo, la intersección entre la IA y la psicología se da en el momento de la cognición o proceso del conocimiento, la interacción mutua entre ingeniería eléctrica y la IA influye en el procesamiento de imágenes, control inteligente, reconocimiento de patrones y robótica.

Las diversas disciplinas que participan en conjunto con la IA interactúan plenamente con ésta, por lo que, es difícil clasificar las áreas de la IA de acuerdo a estas disciplinas. Una clasificación más práctica es la que se tiene al considerar las salidas o procesos, esto es, las áreas de aplicación que tienen que ver con “aplicaciones de tipo comercial”.

Las aplicaciones en las que los métodos de la Inteligencia Artificial han demostrado tener éxito se han desarrollado en sistemas que resuelven problemas usando conocimiento de expertos humanos, sistemas que reconocen objetos por medio de sistemas de visión y los que reconocen e interpretan un pequeño vocabulario de las palabras humanas, entre otros.

² DENDRAL es un sistema experto que analiza información sobre componentes químicos para determinar su estructura.

³ MYCIN es un sistema experto pionero en el campo del diagnóstico médico.

⁴ PROSPECTOR, sistema que pronosticaba posibles yacimientos de petróleo.

Las ramas más importantes de la Inteligencia Artificial pueden verse en la Figura 1.1.

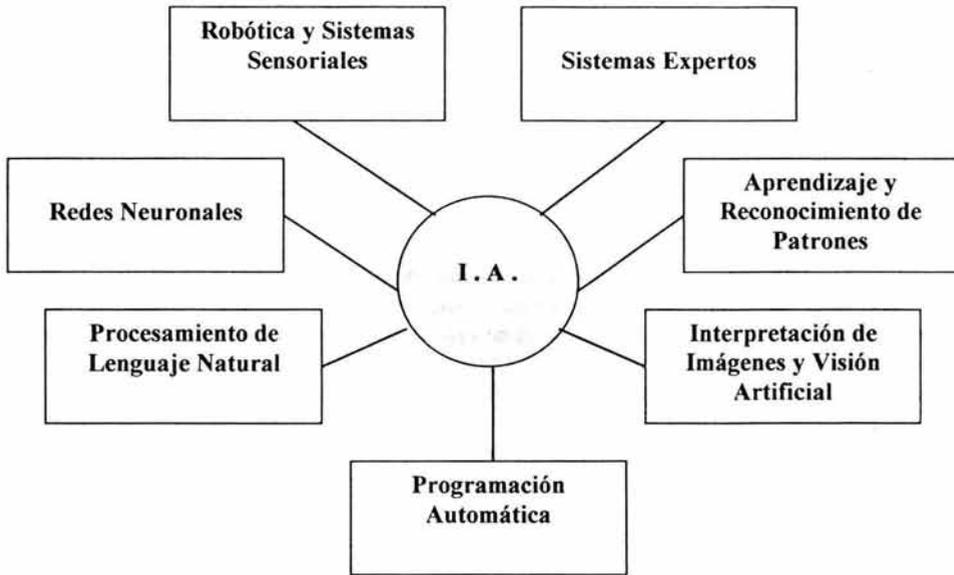


Figura 1.1 Ramas de la Inteligencia Artificial.

Robótica y sistemas sensoriales

A finales de los años 70, se produjo un nuevo giro en el campo de la investigación relacionada con la Inteligencia Artificial: la aparición de robots.

Los robots experimentales creados para estos efectos eran autómatas capaces de recibir información procedente del mundo exterior (por ejemplo sensores, cámaras de televisión, etc.), así como órdenes de un manipulador humano (expresadas en lenguaje natural). Los primeros robots experimentales eran bastante más inteligentes que los robots industriales y lo eran porque disponían de un grado mayor de percepción del entorno que los robots empleados en las cadenas de producción.

El principal problema con el que se enfrenta la IA aplicada a los robots es el de la visión. Mientras que la información recibida a través de sensores se interpreta con relativa facilidad y entra a formar parte de la descripción del modelo del universo que emplea el robot para tomar decisiones, la percepción de las imágenes captadas y su interpretación correcta es una labor muy compleja. En cuanto a las imágenes captadas mediante cualquier sistema, se ha logrado ya el reconocimiento de formas preprogramadas o conocidas, lo que permite que ciertos robots lleven a cabo operaciones de reubicación de piezas o colocación en su posición correcta a partir de una posición arbitraria. Sin embargo no se ha logrado aún que el sistema perciba la imagen tomada

mediante una cámara de ambiente y adapte su actuación al nuevo conjunto de circunstancias que esto implica.

En lo que respecta a los Sistemas Sensoriales, tales como sistemas de visión, sistemas táctiles y sistemas de procesamiento de señal combinados con la Inteligencia Artificial definen una amplia categoría de sistemas conocidos hoy en día como Robótica.

El término robot fue introducido por el checoslovaco Karel Capek en su estancia en la R.U.R (acrónimo de Rossum's Universal Robots). En la lengua eslava robot significa trabajador o sirviente. Un robot es un dispositivo o artefacto electromecánico que es programado para realizar tareas manuales [Turban, 1992].

El Robotic Institute of America formalmente define a un robot como “un manipulador multifuncionalmente reprogramable diseñado para mover materiales, partes, utensilios, o mecanismo móvil diseñado para la ejecución de una variedad de actividades” [Turban, 1992]. Los robots combinan sistemas sensoriales con movimientos mecánicos para producir máquinas con una amplia variedad de movimientos, habilidades e incluso “inteligencia”.

Los sistemas sensoriales, que incluye máquinas que perciben, mueven y manipulan su ambiente, se aplican a las operaciones de ensamblaje, particularmente aquellas que son repetitivas o peligrosas. La diferencia entre una máquina automática y un robot inteligente es que el robot percibe su medio que lo rodea y modifica su conducta como resultado de la información obtenida de su medio. La cuestión fundamental que se plantea, desde el punto de vista de la IA, es qué conocimientos son necesarios para dotar a un robot de un comportamiento “inteligente”, cómo representarlos y cómo utilizarlos.

Los robots se utilizan para obtener las siguientes ventajas: incremento en la productividad, ahorro de materias primas y energía, flexibilidad (lo que permite la diversidad en la producción, rápida adaptación a la demanda del mercado con lo que se consigue llegar antes al mercado), mayor homogeneidad de la calidad de los productos, incremento de la calidad del trabajo humano (mayor seguridad al sustituir al operador en trabajos peligrosos e insanos, mayor confort al sustituir al operador en trabajos muy repetitivos, que requieren grandes esfuerzos físicos, o en posiciones forzadas).

Por último se presentan las leyes de la Robótica [Turban, 1992] que son:

1. Un robot nunca debe lastimar o permitir que un ser humano sea lastimado.
2. Un robot debe obedecer órdenes dadas por el ser humano, a no ser que entre en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia a no ser que entre en conflicto con la primera o segunda ley.

La IA intenta duplicar el pensamiento humano, mientras que los robots intentan emular actividades físicas humanas.

Redes neuronales

Desde las pasadas décadas, el campo de la IA ha hecho grandes progresos hacia lo que es el razonamiento humano llevado a los ordenadores. Sin embargo, las herramientas de la IA han sido restringida en algunas ocasiones por procesamientos secuenciales y algunos tipos de representación del conocimiento y lógica. Una manera diferente de aproximarse a los sistemas inteligentes es a través de la construcción de ordenadores con arquitectura que simule el funcionamiento del cerebro humano. Los resultados podrían ser la representación del conocimiento basado en el procesamiento paralelo masivo, rápida recuperación de la información y la habilidad de reconocer patrones basados en experiencia. La tecnología que intenta lograr estos resultados es llamado computación neuronal, o redes neuronales artificiales (sus siglas en Inglés ANNs).

Las redes neuronales son dispositivos inspirados en el funcionamiento de las neuronas biológicas, aplicados al reconocimiento de patrones, que las convierten en la mayor forma para modelar y efectuar predicciones en sistemas muy complejos [Firebaugh, 1989]. Las redes neuronales artificiales es una tecnología de procesamiento de información inspirado por estudios del cerebro y sistema nervioso humano.

A finales de 1950 y principios de 1960, Frank Rosenblatt de la Universidad de Cornell propuso un tipo de red neuronal que en lo particular Rosenblatt lo llamó el perceptrón. En 1980, varios eventos ocurrieron con el reestablecimiento en las investigaciones sobre redes neuronales por aquellos que habían decidido no abandonar los principios que seguían al perceptrón, y que hasta el momento los esfuerzos se veían creíbles y que culminaría en la First Annual International Conference on Neural Networks (ICNN) en San Diego en Junio de 1987. La ICNN de San Diego marcó el comienzo de la disciplina conocida como redes neuronales que sería equivalente a la conferencia de Dartmouth en 1956 en establecer a la IA como disciplina.

Las redes neuronales son sistemas autoorganizados, el conocimiento es almacenado por la extensión de las conexiones entre neuronas, las redes neuronales almacenan resultados significativos en un número pequeño de pasos y, el aprendizaje es un aspecto fundamental y esencial para ellas.

Las redes neuronales están compuestas por unidades computacionales paralelas e interconectadas. Cada una de esas unidades efectúa un número de operaciones simples y transmite sus resultados a las unidades vecinas. Las redes aprenden a reconocer patrones por medio de un entrenamiento basado en varios ejemplos diferentes, por lo que son eficientes en el reconocimiento de patrones y en el aprendizaje de patrones a partir de datos incompletos. La habilidad de manipular estos datos imprecisos, hace que las redes sean muy eficaces en el procesamiento de información sin reglas claras o que no puedan ser formuladas fácilmente.

Una neurona artificial es un procesador muy simple capaz de realizar instrucciones muy primitivas, pero a gran velocidad, y que guarda la información aprendida en las conexiones con otras neuronas. Una red se compone de elementos a procesar (neuronas), las neuronas son agrupadas en capas y organizadas de diferentes formas para formar la estructura de la red o simplemente como una red de neuronas biológicas. Para el procesamiento de la información de la red se necesitan entradas (por ejemplo 'n' bits), salidas (por ejemplo 1 para 'si', 0 para 'no') y el peso que expresa la fuerza relativa o valor matemático de la entrada inicial de los datos que serán

transferidos de capa en capa en la red (Figura 1.2). El inciso 1 muestra la estructura usada en el perceptrón, el inciso 2 muestra la estructura multicapa usada en las redes neuronales actuales.

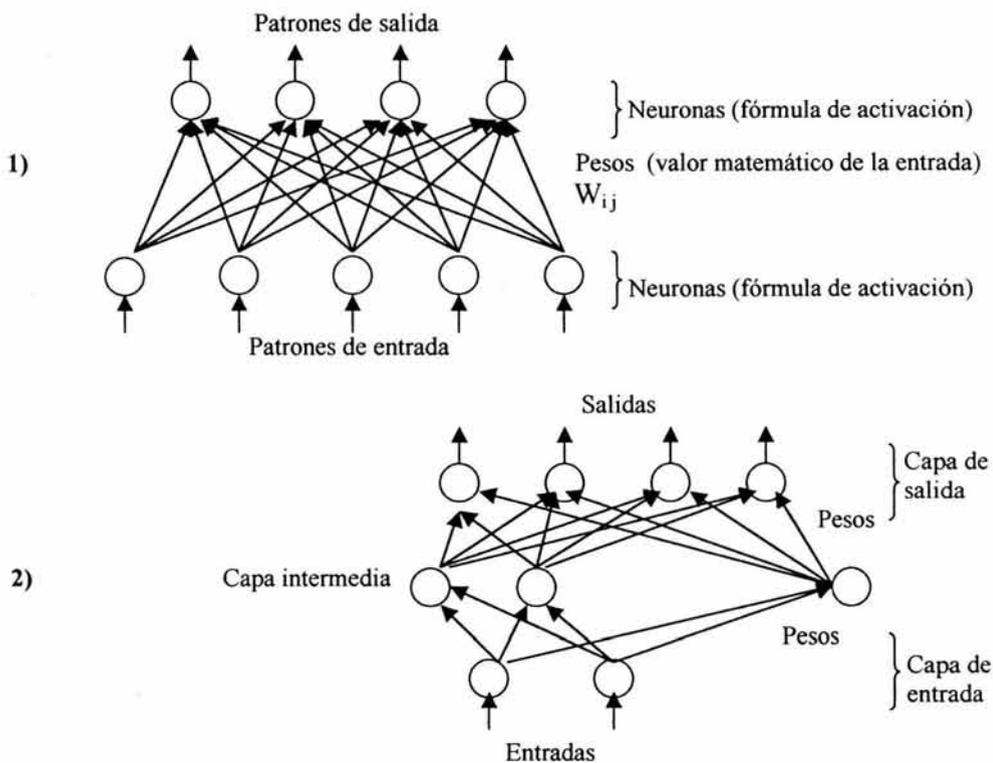


Figura 1.2 Estructura de las redes neuronales.

Por último, las redes neuronales tienen el potencial de heredar algunas de las características humanas para la resolución de problemas que son difíciles de simular usando lo que conocemos como lógica, técnicas de análisis de sistemas expertos y tecnologías de software estándar. Por ejemplo, las redes neuronales pueden analizar grandes cantidades de información para establecer patrones y características en situaciones donde las reglas no se conocen aún o no son conocidas. Las redes neuronales podrían ser útiles en aplicaciones financieras tales como fluctuaciones de capital, es importante mencionar que una red neuronal trae beneficios como tolerancia a errores, generalización y adaptabilidad lo cual amplía su rango de aplicación.

Procesamiento de lenguaje natural

Cuando un usuario decide comunicar algo a un sistema informático es porque desea que éste haga algo. Para establecer esa comunicación, debe generar una declaración y transmitírsela al

ordenador. El sistema debe entonces comprender la declaración, o sea, debe traducirla a un sistema de acciones apropiadas para el ordenador antes de hacer o ejecutar alguna cosa. Por eso la comprensión es un proceso de traducción, en donde una declaración es entendida solamente respecto a un lenguaje particular y un conjunto de acciones.

Los lenguajes naturales son la herramienta de comunicación más poderosa entre las personas; no obstante, la implementación como interfaz en el lenguaje natural plantea numerosos problemas, por lo que es conveniente analizar la necesidad de una interfaz en el lenguaje natural del usuario para decidir su implementación.

Existen una serie de normas o reglas que permiten determinar cuándo es conveniente en un proyecto usar una interfaz en lenguaje natural [Mompín Poblet, 1987], entre otras son: (1) El lenguaje natural es más difícil de interpretar que los lenguajes artificiales de programación, bien sea desarrollando todos sus elementos básicos o adquiriéndolos por separado y adaptándolos a la aplicación, (2) aunque es fácil de aprender, pues todo el mundo conoce su propia lengua, siempre que se use un subconjunto de la entidad completa del lenguaje, el usuario debe conocer cuáles son sus límites de operación, (3) el lenguaje no reconoce declaraciones que estén fuera de su campo de actuación, de su forma de análisis gramatical o de su contexto de interpretación de la declaración, (4) debe ser conciso, para evitar un número excesivo de operaciones para interpretar la declaración, (5) debe ser preciso, pues las ambigüedades y declaraciones con más de un significado son uno de los grandes problemas del lenguaje natural, (6) se distinguen cuatro tipos de procesos sobre el lenguaje: morfológico-léxico, sintáctico, semántico y pragmático.

El análisis léxico constituye el primer paso en el procesamiento de los lenguajes naturales, entendido como el etiquetado de clases de palabras, así como la detección y posible eliminación de ambigüedades en la determinación de dichas clases. En el desarrollo de los lenguajes de programación dicha fase suele tener un tratamiento práctico totalmente independiente de las fases del análisis sintáctico y semántico. Sin embargo, en el caso de los lenguajes naturales esta parte del proceso general de análisis tiene especial importancia en el tratamiento subsiguiente. Es por ello necesario asegurar un tratamiento eficiente del mismo.

La tecnología del lenguaje natural proporciona a los usuarios de ordenadores la habilidad de comunicarse con el ordenador en su lengua nativa. Esta tecnología permite un tipo convencional de interfaz, en contraste con la terminología propia de una computadora u ordenador, sintaxis y comandos. El éxito limitado en esta área es tipificado especialmente por sistemas actuales que reconocen e interpretan sentencias escritas relacionadas a un tópico muy restringido. A pesar de que esta característica puede ser usada como ventaja para algunas aplicaciones, un sistema general de Procesamiento de Lenguaje Natural (NPL) no se ha podido crear como se supone debería ser un NPL.

El procesamiento de lenguaje natural se divide en dos subáreas:

- La *comprensión* de lenguaje natural investiga métodos que permitan a las computadoras comprender instrucciones dadas en un lenguaje ordinario de tal manera que la computadora pueda entender a los humanos fácilmente.

- La *generación* de lenguaje natural trabaja en la obtención de ordenadores que produzcan lenguaje ordinario (como por ejemplo Inglés, Francés, Español, etc.) de tal manera que los humanos puedan entender a los ordenadores fácilmente.

El procesamiento de lenguaje natural se refiere a la comunicación con una computadora en lenguaje natural o como se ha dicho, a la comunicación hombre-computadora en cualquier idioma que sea hablado, en vez de usar comandos especiales, sintaxis, o incluso menús. El procesamiento de lenguaje natural podría ayudar a solucionar el problema de sobrecarga de información, libros, televisión, radio e incluso conversaciones procedentes de humanos.

En resumen, se dice que el objetivo principal de un programa NPL es “entender” y “comprender” información e iniciar alguna acción.

Programación automática

Se entiende como programación inteligente a la aplicación de las técnicas de IA en la construcción y transformación de la programación automática. Para conseguir estos objetivos es necesario que los sistemas de programación automática incorporen dos clases de conocimiento: acerca de los principios generales de programación y sobre el campo específico de la aplicación.

Un propósito de la programación automática es construir programas a partir de las especificaciones rigurosas y no algorítmicas, que describen lo que hay que hacer, probando también el funcionamiento del programa mediante el uso de técnicas matemáticas para mostrar que se comporta de acuerdo con las especificaciones formales.

Mediante compiladores contruidos con técnicas de IA (bases de conocimiento) se consigue que los códigos-máquinas a ejecutar sean más eficientes.

Entre otras cosas la programación automática debe incluir [Mompín Poblet, 1987]:

- a) Síntesis basada en la demostración de teoremas. Esto implica construir programas con teoremas matemáticos y verificar cada paso del programa con demostración.
- b) Síntesis basada en transformaciones de reglas guiadas por deducciones. Así, el sistema desarrolla un programa a partir de las especificaciones dadas por el usuario a través de una transformación de reglas perfectamente definidas.
- c) Síntesis basadas en conocimientos. El sistema traduce preguntas informales realizadas por el usuario, en relaciones formales que puede transformarse en algoritmos.
- d) Síntesis basada en la reducción de problemas. Introduce la noción de sintetizador, que descompone las tareas de un problema original, en especificaciones simples o subproblemas, hasta que se alcanzan las especificaciones primarias.

La programación automática es, en términos simples, indicarle a la computadora exactamente qué es lo que uno quiere hacer. El desarrollo de programas de computadoras frecuentemente requiere de mucho tiempo, un programa o sistema debe ser analizado, probado y evaluado en todos sus elementos como parte del proceso de desarrollo de sistemas de información.

La meta de la programación automática es crear programas especiales que actúen como herramientas “inteligentes” que apoyen a los programadores a facilitar cada fase del proceso de programación. Otro objetivo de la programación automática es un sistema de computadora que pueda desarrollar programas por ella misma, como respuesta y de acuerdo a las especificaciones dadas por el desarrollador de programas [Mompín Poblet, 1987].

Interpretación de imágenes y visión artificial

Los sistemas con esta característica perciben la forma, tamaño, localización, arista o color de los objetos. Procesan e interpretan las imágenes para analizarlas e identificarlas. Han probado ya su utilidad para el análisis de recursos naturales desde sensores remotos, así como en la fabricación de partes escogidas (para ensamblaje y control de calidad) y en medicina para el examen interno del cuerpo.

Los sistemas de visión⁵ de alto nivel usan técnicas de IA (razonamiento simbólico) en su lucha contra las ambigüedades, tales como: identificación de objetos según modelos, comparación de aspectos de los mismos con parámetros almacenados. Estos modelos de alto nivel están equipados con reglas heurísticas acerca del tamaño, forma y relaciones espaciales para su interpretación como imágenes.

El reconocimiento de imágenes ha sido definido como una forma de inteligencia acerca de información visual digitalizada recibida de algún sistema sensorial, en donde la información generada se utiliza para controlar ciertas operaciones como el movimiento de los robots, la calidad en líneas de producción, etc.. El objetivo básico de los sistemas de visión es interpretar imágenes en vez de generarlas. Por ejemplo, interpretar imágenes tomadas por un satélite podría ser útil para detectar áreas dañadas o en el caso de robots identificar anomalías en las partes de ensamblaje y poder arreglarlos o sustituirlos.

Una computadora simula la vista humana en cuatro pasos básicos: adquisición de imagen, procesamiento de imagen, análisis de imagen y comprensión de imagen. Para el primer caso, el ojo de la computadora resulta ser una videocámara, la cámara traduce la imagen o escena a señales eléctricas y éstas a su vez a números binarios con la cual la computadora trabajará. Para el segundo caso que tiene que ver con la manipulación de los datos binarios, es decir, el procesamiento de la imagen ayudará a mejorar la calidad de la imagen de tal forma que pueda ser analizada y entendida de una forma más eficiente. El tercer caso, el análisis de la imagen, que explora la escena o imagen para determinar mayores características del objeto bajo investigación. Por último se tiene la comprensión de la imagen en la cual el objeto específico y sus propias relaciones son identificados plenamente, en esta parte se emplean algunas técnicas de IA.

Aprendizaje y reconocimiento de patrones

El reconocimiento de patrones se considera de forma genérica, como una disciplina de la Inteligencia Artificial. En IA, la adquisición del conocimiento consiste en la transferencia y transformación del conocimiento a un sistema informático y representarlo (expresarlo) de manera

⁵ Hay Sistemas de Visión de dos o tres dimensiones; los primeros interpretan objetos o escenas de dos dimensiones, tales como fotografías aéreas o de secciones al microscopio.

útil para la máquina. El reconocimiento de formas se interpreta como la adquisición de patrones de clase⁶ conocida y su almacenamiento para establecer el patrón prototipo de cada clase.

El aprendizaje implica cambios en el sistema que se adapta para llevar a cabo la misma tarea a partir de las mismas condiciones de un modo más eficiente y eficaz. En un sistema de reconocimiento de formas, y dependiendo del método de aprendizaje, se trata de calcular el patrón o el conjunto de patrones prototipo que caracterizan cada una de las clases a discriminar.

Las aplicaciones en lo que respecta al reconocimiento de patrones es amplia, algunas de las áreas relevantes son:

Reconocimiento de voz.

Algunas agencias de gobierno emplean reconocimiento de voz como la clave de los empleados en áreas restringidas.

Identificación de las huellas dactilares.

Los sistemas de huellas dactilares computarizados han reducido el tiempo de búsqueda de días a minutos.

Identificación de rostros.

Principalmente oficinas federales están interesadas en tales sistemas para escanear grandes archivos como por ejemplo fugitivos.

Análisis de diapositivas biológicas.

El conteo de células de la sangre y cromosomas puede realizarse más rápido y con más precisión usando sistemas de conteo automatizados.

Otras aplicaciones son: reconocimiento de caracteres ópticos, visión en robots, análisis de datos meteorológicos, análisis físicos de alta energía, reducción de datos en la vigilancia satelital, etc.

Un sistema reconocedor de patrones [Firebaugh, 1989] generalmente se compone de:

1. El *Traductor de entrada* que convierte el patrón que está siendo analizado a señales electrónicas.
2. El *Procesador* que va a mejorar las condiciones de la señal que se procesa, es decir, incluye funciones como amplificación, análisis del espectro, conversión analógica a digital, etc..
3. El *Discriminador* que ejecuta acciones como la unión de plantillas, coincidencia espacial, etc..

⁶ Término usado en programación orientada a objetos para designar un grupo de objetos con las mismas características.

4. Los *Selectores de respuesta* que son algoritmos para seleccionar los patrones almacenados y que estos patrones se acoplen a los patrones de entrada, ésto involucra búsqueda, ordenamiento, etc.
5. Los *Sistemas de salida* cuya función es la generación de voz, gráficas o información estándar de salida.

El reconocimiento de patrones es una técnica de acoplar un patrón externo a uno almacenado en la memoria de la computadora, usados en motores de inferencia, procesamiento de imágenes, neuro-computación, reconocimiento del lenguaje, etc.. En la actualidad, las labores de reconocimiento de patrones están siendo objeto de nuevos análisis sobre inteligencia, nuevos algoritmos, e incluso nuevas formas de computación inteligente.

Sistemas expertos

Los sistemas expertos son programas computarizados que intentan imitar los procesos de razonamiento y conocimiento del experto en la solución de problemas específicos. La efectividad de tales sistemas estriba en la cantidad de conocimiento que se le suministre. Se usan a menudo como asistentes o consultores inteligentes de los usuarios humanos para resolver problemas rutinarios.

Entre los enfoques más frecuentes de los sistemas expertos están: actuar como localizador de averías en equipos de enseñanza, asesorar médicamente sobre tratamientos de enfermedades, deducir la localización de grandes depósitos de molibdeno y otras sustancias, configurar sistemas complicados en la fracción de tiempo requerido por el ingeniero experimentado, entre otras.

Para desarrollar un sistema experto de acuerdo a un problema específico, se deben considerar los siguientes puntos [Mompín Poblet, 1987]:

1. La solución del problema debe tener una alta rentabilidad que justifique el desarrollo de un sistema.
2. El problema se resuelve por expertos que dan forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema, y la intervención de estos expertos darán al sistema la experiencia que necesita.
3. El problema se resuelve solamente por conocimiento de expertos en vez de usar algoritmos particulares.
4. Se tiene acceso a un experto que da forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema.
5. El problema puede no tener una solución única. Los sistemas expertos funcionan mejor con problemas que tienen un cierto número de soluciones aceptables.
6. El conocimiento cambia rápidamente, o sus soluciones son las que cambian constantemente.

El desarrollo de un sistema experto no se considera terminado una vez que funcione éste, sino que se continúa desarrollando y actualizando tanto el conocimiento como los métodos de procesamiento, quedando reflejados los progresos o modificaciones en el campo, área o sistema.

Después de haber descrito algunos aspectos sobre Inteligencia Artificial, en el siguiente subtema se trata más a detalle a los sistemas expertos, se describirán algunos conceptos básicos, áreas de aplicación, estructura, así como sus limitaciones.

1.2 Sistemas Expertos

1.2.1 Concepto de Sistema Experto

Los sistemas expertos son una clase de programas de computadora que aplican metodologías de razonamiento para aconsejar o informar de algo como lo haría un experto humano [Rich, 1983].

El nombre de sistemas expertos se derivó del término Sistemas Basados en Conocimiento. Un sistema experto es un sistema que emplea conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que ordinariamente requieren de experiencia humana, también imitan el uso del razonamiento para resolver problemas específicos [Turban, 1992]. Tales sistemas pueden ser usados por inexpertos para mejorar una determinada solución en donde un experto no existe para proporcionar una respuesta al problema. Los sistemas expertos también se utilizan por expertos humanos como asistente del conocimiento.

Este tipo de software también se definen en función de sus características funcionales. Así, se consideran como características más importantes las siguientes: resuelven problemas muy difíciles tan bien o mejor que los expertos humanos. Pueden razonar heurísticamente, usando lo que los expertos consideran que son reglas empíricas e interactúan con los humanos de forma natural. Manipulan y razonan sobre descripciones simbólicas, funcionan con datos que contienen errores. Contemplan múltiples hipótesis, pueden explicar por qué están formulando una pregunta. Pueden explicar su proceso de razonamiento y justificar sus conclusiones [Hayes-Roth, 1983].

Los sistemas expertos son diseñados para comportarse como un experto, sin embargo, los programas convencionales que intentan resolver problemas complejos como los que resuelven los SE, podrían resultar con frecuencia como errores o incorrectos.

1.2.2 Conceptos básicos de Sistemas Expertos

Los sistemas expertos involucran términos que se utilizan para describir el procedimiento de análisis y desarrollo de los prototipos, por lo tanto es importante definirlos. Éstos son algunos de ellos:

Conducta inteligente.

Conducta inteligente es entender y aprender de experiencias, distinguir la información ambigua y contradictoria, responder rápida y correctamente a una nueva situación, usar el razonamiento en la solución de problemas, tratar con situaciones diferentes, entender e inferir en una forma ordinaria y racional, aplicar conocimiento para manipular la situación

presente, adquirir y aplicar conocimiento, reconocer la importancia relativa de los diferentes elementos en determinada situación, etc..

Procesamiento simbólico.

Un símbolo, en el lenguaje específico de la IA es una cadena de caracteres que representa algún concepto del mundo real. Estos son algunos ejemplos de símbolos: producto, (el) acusado, 0.8.

Cuando se desean resolver problemas, particularmente aquellos que se consideran apropiados dentro del campo de la IA, los expertos humanos no lo hacen resolviendo cierto grupo de ecuaciones o realizando cálculos matemáticos complejos. En su lugar, éstos escogen símbolos para representar el concepto del problema y aplicar diversas metodologías y reglas para manipular estos conceptos. Una forma para representar el conocimiento es a través de grupos de símbolos que representan la esencia del problema [Waterman, 1986].

El procesamiento simbólico es una característica fundamental de la Inteligencia Artificial. Por lo tanto se dice que la IA es una parte de la ciencia de las computadoras que trata con símbolos. Esta definición se basa en dos características de los programas de computadoras [Turban, 1992]:

1. *Numérico contra simbólico.* Las computadoras fueron originalmente diseñadas específicamente para procesar números (numeric processing). Los humanos sin embargo, tienden a pensar simbólicamente; la inteligencia parece estar basado en parte, en la habilidad para manipular símbolos en vez de números. Aún cuando el procesamiento simbólico es el centro de interés de la IA, esto no significa que la IA no involucre matemáticas.
2. *Algoritmos contra no-algoritmos.* Un algoritmo es un procedimiento que se ejecuta paso a paso, que tiene bien definido su inicio así como su fin y que de esta forma garantiza alcanzar una solución para un problema específico. Muchos procesos de razonamiento humano de alguna manera tienden a ser no-algorítmicos.

Heurística.

Los humanos a menudo usan heurística consciente o inconscientemente para tomar decisiones. Usando heurística ya no se tiene que volver a pensar que hacer cada vez que un problema similar se presenta.

La heurística (o modo empírico) se incluye como elemento clave de la IA para la siguiente definición: "Inteligencia Artificial es una parte de la ciencia de los ordenadores que trata con formas de representación del conocimiento usando símbolos en vez de números, con reglas empíricas o heurística y métodos para el procesamiento de información" [Turban, 1992].

Webster's New World Dictionary define a la heurística como "ayudar a descubrir o aprender", como adjetivo significa servir para descubrir. Son reglas de decisión que sugieren cómo un problema puede ser solucionado [Turban, 1992].

Conocimiento.

La palabra *conocimiento* tiene varias definiciones. Por ejemplo, de acuerdo al Webster's New World Dictionary of the American Language [Turban, 1992], conocimiento es: una percepción clara y certera de algo, entendimiento, aprendizaje, todo aquello que es percibido o comprendido por la mente, experiencia práctica, habilidad. También es conciencia, reconocimiento e información organizada aplicable a la solución de problemas.

Capacidad de explicación.

Otra característica de los sistemas inteligentes es su capacidad para explicar sus respuestas o recomendaciones e incluso justificar por qué determinada acción no fue sugerida. La explicación y justificación se realiza en un subsistema llamado justificador o *justifier*, o en el componente explicativo. Esto permite al sistema examinar su propio razonamiento y explicar su modo de operación.

Reglas.

La mayoría de los sistemas expertos son sistemas basados en reglas, es decir, el conocimiento se almacena principalmente en forma de reglas. Un ejemplo de regla podría ser de la forma SI... ENTONCES... (IF... THEN...).

Ingeniería del conocimiento.

Se refiere al tipo de ingeniería con la cual el conocimiento es integrado a un sistema de computadora para resolver problemas complejos que normalmente requieren de un alto nivel de experiencia humana. Es conveniente mencionar que la ingeniería del conocimiento tiene cinco actividades principales que son: adquisición del conocimiento, representación del conocimiento, validación del conocimiento, inferencia, explicación y justificación del conocimiento. En seguida se explicarán dichas actividades.

Adquisición del conocimiento.

La adquisición del conocimiento es la acumulación, transferencia y transformación de la información de alguna fuente del conocimiento a un programa de computadora para construir o expandir la base de conocimiento [Prerau, 1990]. La adquisición del conocimiento también se refiere al hecho de obtener información de expertos humanos, libros, documentos, archivos, etc..

Representación del conocimiento.

Es un formalismo para representar en la computadora hechos y reglas acerca de una materia o especialidad, en esta parte el conocimiento adquirido es organizado. Esta actividad involucra la preparación del conocimiento en diagramas (por ejemplo redes semánticas, árboles de decisión, etc., descritos en el capítulo 2) que después serán codificados en la base de conocimiento.

Validación del conocimiento.

El conocimiento en la base de conocimiento se valida (por ejemplo, utilizando casos de prueba) y se verifica hasta que éste sea aceptable. En otras palabras, la validación consiste en una prueba de qué tan cerca están las soluciones del sistema experto con los resultados que un experto humano puede proporcionar.

Inferencia.

Esta actividad desde el punto de vista computacional, se refiere al diseño del software que le permitirá a la computadora hacer deducciones basadas en el conocimiento y así proporcionar respuestas a los usuarios.

La Inteligencia Artificial efectúa un intento de máquinas que presenten capacidades de “razonamiento”. El razonamiento consiste en la inferencia de hechos (lo que se dice de algo) y reglas usando heurística u otras aproximaciones de búsqueda de hechos.

En lo que respecta a sistemas expertos, una característica es la capacidad para “razonar”. Dada la *experiencia* o *conocimiento*, ésta se almacena en la base de conocimiento a la cual el programa tiene acceso, la computadora es programada de una manera que pueda hacer inferencia. La Inferencia se ejecuta en un componente llamado motor de inferencia.

Explicación y justificación.

Esta actividad se enfoca al diseño y programación de todos aquellos aspectos que tienen que ver con la capacidad de explicación, respuestas, preguntas y conclusiones del sistema.

Metaconocimiento.

Es conocimiento acerca del conocimiento. Es el conocimiento en un sistema experto acerca de cómo opera o cómo razona.

1.2.3 Estructura de un Sistema Experto

Los sistemas expertos están formados de dos partes principales: la parte referente a la *creación* donde se construyen los componentes y se introduce conocimiento en la base de conocimiento y la parte de la *consulta* que es utilizada por alguien inexperto para obtener conocimiento.

Los SE forman parte de la informática del conocimiento de los expertos humanos. Esto es posible debido a una arquitectura de sistemas informáticos cuyos componentes se exponen en la Figura 1.3.

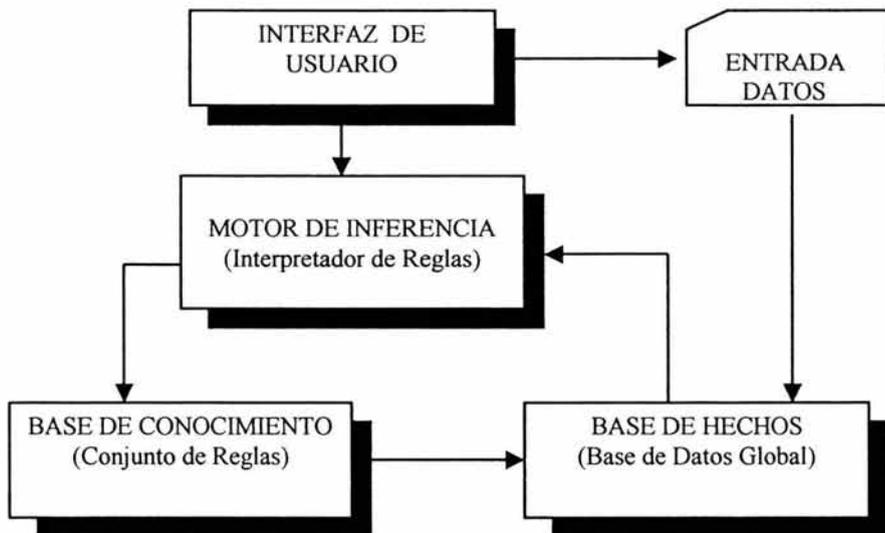


Figura 1.3 Estructura de un sistema experto.

- *La Base de Conocimiento.* En ésta aparece formulada la manera de entender el problema-objeto del sistema, contiene el conocimiento de los hechos y las experiencias de los expertos en un dominio determinado. En otras palabras, la base del conocimiento contiene conocimiento necesario para entender, formular y resolver problemas (representa el universo donde está el sistema). Esto incluye dos elementos básicos: (1) Los hechos, como lo es el problema y la descripción del mismo en su área y (2) la heurística o reglas que fijan el uso de conocimiento para resolver un problema.
- *El Motor de Inferencia.* Éste es capaz de producir las respuestas a partir de los datos existentes y de la base del conocimiento, simula la estrategia de solución de un experto. En cierta manera, esta parte se encarga de organizar el conocimiento tomando las reglas y los datos para dar una solución particular en un caso determinado.

También podría pensarse que el motor de inferencia es el cerebro del SE; en algunas ocasiones a esta parte se le conoce como estructura de control o interpretador de reglas para el caso de sistemas basados en reglas. Este componente es principalmente un programa que proporciona una metodología para el razonamiento de cierta información en la base de conocimiento y así formular conclusiones.

- *La Interfaz de Usuario.* La comunicación entre el SE y el usuario puede realizarse en un lenguaje natural. Este lenguaje natural se reemplaza por menús o gráficas, en otro sentido, sirve para que el usuario realice consultas de una forma más cómoda y sencilla.

- *La Base de Hechos.* Es la memoria de trabajo y desempeña el papel de memoria auxiliar. La memoria de trabajo guarda todos los resultados intermedios permitiendo el seguimiento de los razonamientos llevados a cabo. Al principio del periodo de operación del sistema, la base de hechos dispone únicamente de los datos que le ha introducido el usuario, pero a medida que va actuando el motor de inferencia se van generando las cadenas de inducción y deducción (conocimiento aprendido) que el sistema forma al aplicar las reglas para obtener las conclusiones.

Este tipo de estructura permite obtener las siguientes ventajas [Mompín Poblet, 1987]:

Generalidad.

Un mismo conocimiento es utilizado para obtener respuestas a distintos problemas, lo que no ocurre con la estructura clásica de las aplicaciones algorítmicas en las que, tanto el conocimiento como el procedimiento están integrados en un único programa.

Posibilidad de aprendizaje.

Suponiendo que el conocimiento con que se trabaja es suficiente como para formular un algoritmo capaz de dar respuestas al problema, no sería necesario la utilización de este tipo de estructura; sin embargo, en los casos de conocimiento incompleto resulta de interés su empleo, ya que el sistema puede justificar sus respuestas y a la vez aprender de los usuarios.

1.2.4 Clasificación de los Sistemas Expertos

Los sistemas experto pueden ser clasificados de diversas formas. Una manera es la de categorías generales que hace referencia a las áreas del problema en que éstos se enfocan [Turban, 1992]. Las categorías generales se listan en la Tabla 1.1 (algunos sistemas expertos pertenecen a dos o más categorías).

Sistemas de Interpretación.

Los sistemas de interpretación realizan inferencia a partir de situaciones originadas de la observación. Esta categoría incluye comprensión del lenguaje, análisis de imagen y otras formas de análisis de tipo inteligente. Un sistema de interpretación explica datos observados asignándoles un significado simbólico que describe el tipo de problema que se tiene.

Sistemas de Predicción.

Éstos incluyen pronósticos meteorológicos, económicos, financieros, predicciones demográficas, de tráfico, estimaciones en agricultura, milicia y mercadotecnia.

Sistemas de Diagnóstico.

Están enfocados principalmente a diagnósticos de tipo médico, electrónico, mecánico y de software. Los sistemas de diagnóstico se relacionan con las irregularidades de conducta para

obtener relaciones de causa-efecto. Éstos sistemas buscan las razones del funcionamiento incorrecto de un sistema a partir de la información disponible.

Sistemas de Diseño.

Estos sistemas realizan diseños de objetos o dispositivos que satisfagan las limitantes que presenta el problema en diseño. Tales problemas incluyen diseño de circuitos, diseño de edificios y diseño de instalaciones de diversos tipos.

Sistemas de Planeación.

Se especializan en problemas de planeación, como por ejemplo programación automática. Éstos también tienen que ver con planeación a corto y a largo plazo en áreas como dirección de proyectos, rutinas, comunicaciones, desarrollo de productos, aplicaciones militares y planeación financiera.

Sistemas de Monitoreo.

Comparan observaciones de un sistema en funcionamiento con estándares de operación que parecen ser esenciales para obtener un fin que cumpla con las características deseables. Éstas observaciones corresponden a defectos potenciales en el proyecto o plan de trabajo.

Sistemas de Debugueo.

Los sistemas de debugueo dependen de las capacidades de planeación, diseño y predicción para sugerir especificaciones o recomendaciones que puedan corregir el problema diagnosticado.

Sistemas de Reparación.

Llevan a cabo planes que puedan dar cierta solución a ciertos problemas diagnosticados. Tales sistemas incorporan procesos de debugueo, planeación y dirección de planes.

Sistemas de Instrucción.

Incorporan sistemas de diagnóstico y debugueo que se enfocan específicamente a estudiantes o individuos inexpertos. Generalmente, éstos comienzan su operación de instrucción en una descripción hipotética del conocimiento de las personas inexpertas, de tal manera que puedan hacer una interpretación de la conducta del individuo. Así, dichos sistemas diagnostican debilidades en el conocimiento e identifican soluciones apropiadas para superar las deficiencias.

Sistemas de Control.

Los sistemas de control dirigen la operación de sistemas. Para hacer esto, el sistema repetidamente debe interpretar la situación o información que en el momento se presente,

predecir lo que vendrá, diagnosticar las causas de problemas venideros, formular planes correctivos y dirigir su funcionamiento para asegurar el éxito del sistema.

Tabla 1.1 Categorías generales de los SE.

CATEGORÍA	PROBLEMA A QUE SE ENFOCA
Interpretación	Deducción y descripción de problemas derivados de la observación.
Predicción	Inferencia de consecuencias o resultados a partir de situaciones dadas.
Diagnóstico	Inferencia del funcionamiento incorrecto de sistemas a partir de la observación.
Diseño	Configuración y diseño de objetos bajo ciertas restricciones.
Planeación	Desarrollo de planes para alcanzar metas o propósitos.
Monitoreo	Comparación de observaciones para realizar planes considerando posibles excepciones.
Debugeo	Descripción de soluciones o alternativas para procesos que funcionan incorrectamente.
Reparación	Ejecución de planes para mejorar algo establecido u hecho.
Instrucción	Diagnóstico, Debugeo, y corrección de actividades realizadas por inexpertos.
Control	Interpretación, predicción, reparación, y monitoreo del funcionamiento de sistemas.

No todas las actividades, que generalmente se encuentran dentro de alguna de las categorías anteriores, son las apropiadas para los sistemas expertos. La Tabla 1.2 contiene algunas aplicaciones más específicas de los SE según la clasificación previamente citada.

Como ya se mencionó, los sistemas expertos aparecen en muchas variedades. La siguiente clasificación no es exclusiva de sistemas expertos: sistemas basados en conocimiento, sistemas expertos basados en reglas, sistemas basados en frames, sistemas híbridos, sistemas basados en modelos, sistemas clasificados por su naturaleza, sistemas prefabricados y sistemas expertos de tiempo real.

Los sistemas expertos ofrecen procedimientos para perfeccionar la toma de decisiones por medio de la combinación del conocimiento de los expertos humanos; la clasificación de los SE ayudará para tratar problemas clave de forma efectiva en una área empresarial determinada.

Tabla 1.2 Aplicaciones de los sistemas expertos según la clasificación por sectores.

SECTOR APLICACIÓN	BANCA SEGUROS	INDUSTRIA	COMERCIO SERVICIOS	ENCARGOS ESTATALES
Control de procesos, supervisión	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de tendencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de procesos. • Gobierno de procesos. • Avisos de estados de excepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de tendencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de centrales nucleares o de grandes redes (agua, gas).
Diseño		<ul style="list-style-type: none"> • Configuración. • Instalaciones fabriles. • Diseño de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • De redes de distribución (correos, energía).
Diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> • Concesión de créditos. • Comprobación de hipotecas. • Análisis de siniestros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Motivo de fallo • Mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concesión de créditos. • Cálculo de riesgos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico médico. • Diagnóstico técnico. • (Economía energética).
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgos. • Gestión de valores. • Planificación de inversiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciones lógicas de proyecto. • Proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgos. • Análisis de mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de inversiones. • Planificación de emergencias. • Planificación de la distribución.
Asesoría	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoría a clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoría a clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoría a clientes. • Servicios especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoría a clientes.
Formación	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de colaboradores. • Formación del servicio exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de colaboradores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de colaboradores. • Formación del servicio exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación interna en cuestiones jurídicas.

1.2.5 Áreas de aplicación de los Sistemas Expertos

La aplicación de los sistemas expertos será adecuada donde los expertos dispongan de conocimiento en una área específica, donde no existan algoritmos ya establecidos o en donde los existentes no puedan solucionar los problemas.

Para dar una idea de la variedad de las aplicaciones de los sistemas expertos, se presentan algunos ejemplos [Waterman, 1986]:

Agricultura.

Algunos sistemas expertos de este tipo, auxilian a los humanos de diversas formas, por ejemplo, para los cultivos el sistema suministra y sugiere herramientas que ayuden a mejorarlos e incluso proponen estrategias para la irrigación y aplicación de fertilizantes.

Química.

Algunos sistemas se diseñaron para inferir estructuras en tres dimensiones de ciertas proteínas, para ayudar a la química orgánica sobre la estructura de compuestos nuevos y aislados. También para analizar estructuras de ADN, etc..

Computación.

Ciertos sistemas proporcionan ayuda para detectar partes de los ordenadores que puedan tener problemas. Algunos de ellos ofrecen ayuda como instructores de operación de sistemas de cómputo.

Electrónica.

Hay sistemas de instrucción que simulan a un experto demostrando la operación de gráficos de un subsistema de diseño asistido por computadora para crear circuitos lógicos digitales, y enseñar a los estudiantes cómo localizar problemas en circuitos eléctricos, etc..

Geología.

Algunos programas son capaces de inferir la estructura y composición de determinadas capas de la superficie terrestre, algunos de ellos determinan posibles causas de terremotos. Otros auxilian en la supervisión de la extracción de petróleo y detección de yacimientos.

Control de Información.

Por ejemplo, el sistema FOLIO auxilia en el manejo y selección de portafolios de inversión que mejor se ajusten para obtener un fin deseado. Un programa especialista en materiales tóxicos proporciona ayuda para decidir que información concierne a la manufactura y distribución de químicos tóxicos pueden ser liberados o expuestos al público.

Leyes.

Diversos sistemas auxilian a los abogados en situaciones de impuestos, herencia y bienes. Además ayudan en la investigación de procesos legales y análisis de los mismos. Algunos de ellos muy especializados dan apoyo en aspectos como leyes civiles de un cierto lugar.

Manufactura.

Los sistemas de manufactura brindan soporte en labores como en el manejo de papeles de oficina, elaboración de inventario, determinación de tiempos de inicio y fin en los procesos, reportes y asignación de recursos para cada proceso, etc.

Medicina.

Los sistemas de diagnóstico se especializan en auxiliar a clínicas, hospitales en la detección de posibles enfermedades a través de ciertos síntomas proporcionados al sistema. Auxilian en pruebas de laboratorio, interpretan cardiogramas e incluso asesoran en aspectos de cuidado intensivo. Brindan apoyo a médicos sugiriendo tipos de terapia a seguir con los pacientes y dando sugerencias de rehabilitación, etc..

Milicia.

Cierto número de sistemas se diseñaron para auxiliar en situaciones de combate como batallas o guerras, diseñar estrategias de ataque, sugerir lugares estratégicos para el abastecimiento de armas y demás, reconocer señales y objetos del enemigo.

1.2.6 Beneficios y limitaciones de los Sistemas Expertos

Los SE proporcionan ciertos beneficios a los usuarios. Algunos de ellos son [Firebaugh, 1989]:

Incremento en la productividad.

Los SE trabajan más rápido que los seres humanos. El incremento en la productividad significa menos mano de obra y costos más reducidos.

Incremento en la calidad.

Los SE incrementan la calidad proporcionando soluciones consistentes y reduciendo los niveles de error.

Fácil manejo de equipo.

Los SE hacen que los equipos sean más fáciles de operar. Por ejemplo, STEAMER es un sistema que proporciona capacitación a trabajadores inexpertos para operar máquinas complejas de barcos.

Transferencia de conocimiento a localidades remotas.

Uno de los grandes beneficios de los sistemas expertos es su fácil transferencia a través de fronteras internacionales. Esto es importante para países en vías de desarrollo que no pueden pagar por conocimiento que provenga directamente de un experto humano, es decir, que no cuenten con individuos altamente calificados a causa del tipo de desarrollo que presentan.

Eliminación de necesidades en equipos caros.

En muchos de los casos, el humano depende de instrumentos caros para monitorear y controlar sus actividades. Los SE pueden realizar las mismas actividades a un costo reducido y con instrumentos de bajo costo.

Operación y maniobra en ambientes peligrosos.

Los SE pueden reemplazar al ser humano en lugares peligrosos. Esta característica es importante en conflictos militares; también pueden evitar que los humanos se expongan al fuego, calor, humedad o ambientes tóxicos, tales como plantas nucleares.

Habilidad para trabajar con información incompleta o incierta.

En contraste con sistemas de cómputo convencionales, un SE puede como un experto humano trabajar con información incompleta. El usuario puede responder un “no sé” o un “no es seguro” a más de una pregunta del sistema durante la consulta, el sistema en estas condiciones será capaz de proporcionar una respuesta aún cuando ésta no sea del todo verdadera. Los sistemas expertos pueden trabajar con probabilidades puesto que el motor de inferencia puede tratar con ellos.

Capacitación.

Los sistemas expertos pueden suministrar entrenamiento y capacitación. Inexpertos que trabajan con sistemas expertos llegan a ser más y más experimentados en su aplicación.

Mejoramiento en la solución de los problemas.

Los sistemas expertos mejoran la solución de los problemas por medio la integración de criterios más precisos provenientes de los expertos. También incrementan el raciocinio de los usuarios a través de la explicación de los problemas. Los SE pueden ser usados para dar soporte en la solución de problemas complejos.

En cuanto a las limitaciones, también los sistemas expertos poseen parte de ellas. Las metodologías disponibles sobre sistemas expertos no son del todo fáciles y efectivas.

Una forma de examinar las limitaciones de los sistemas expertos es revisando las áreas en donde fueron ubicados para tener éxito y señalar las dificultades principales que pudieran encontrarse en cada área, ésto se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Actividades representativas de expertos y sus dificultades.

ACTIVIDAD	PROBLEMA
Interpretación: análisis de datos para determinar su significado.	<ul style="list-style-type: none"> • Los datos a menudo son “imprecisos” y con errores. • El significado real de los datos podría estar faltando.
Diagnóstico: arreglos en un sistema basado en la interpretación de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Los defectos puede ser discontinuos. • La presencia de otros defectos podría interferir en el problema. • Los datos contienen errores o son inaccesibles. • El equipo de diagnóstico podría ser no confiable.
Monitoreo: continuamente interpretan signos y causas para intervención.	<ul style="list-style-type: none"> • Las expectativas de señal varían con el tiempo o situación. • Las recaídas a menudo dependen del contexto.
Predicción: prever del pasado y del presente.	<ul style="list-style-type: none"> • La integración de información incompleta. • Información de múltiples hechos futuros. • Contingencias para incertidumbres. • Diversidad de datos, ocasionalmente datos contradictorios.
Planeación: creación de planes para obtener metas.	<ul style="list-style-type: none"> • Muchos cursos alternativos de acción. • Volúmenes excesivos de detalles. • Interacciones entre planes y submetas. • El contexto de la planeación es aproximadamente conocido.
Diseño: elaboración de especificaciones para crear objetos que satisfagan requerimientos particulares.	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en estimar consecuencias. • Diversos tipos de restricciones. • Interacción entre subdiseños.

A continuación se presentan algunos factores que han retrasado la expansión de los sistemas expertos [Turban, 1992]:

- El conocimiento no está siempre disponible, la experiencia es difícil de extraer de los humanos. Además, es difícil aún para un experto experimentado, extraer buenos valores e ideas cuando éste se encuentra bajo presión de tiempo.
- El planteamiento de ideas de cada experto para una situación dada podría ser diferente.
- Los usuarios de sistemas expertos tienen límites cognitivos naturales. Los humanos ven más de lo que en un programa se puede implementar, a menudo lo que está en un espacio de atención definido.
- Los sistemas expertos funcionan bien sólo en un dominio específico.
- El vocabulario o tecnicismo que los expertos usan para expresar hechos y relaciones es limitado y muchas veces no claro para otros.
- La falta de confianza por parte de los usuarios podría ser una barrera para el uso de SE.

Estos factores indican que los SE aún no llegan al nivel que puedan ser descritos del mismo modo como se describe el funcionamiento de la inteligencia humana. Se espera que algunas o todas estas limitaciones desaparezcan con el avance de la tecnología a través del tiempo.

Capítulo 2

Teoría para la construcción de un Sistema Experto

Un sistema experto es básicamente un programa de software y en consecuencia su creación sigue un proceso de desarrollo de software. El propósito de tal proceso es desarrollar un software viable, duradero, dentro de un costo razonable y siguiendo un esquema que permita verificar que tan factible será.

En este capítulo se describirán las fases (con actividades anidadas) para la construcción de un sistema experto. También se explicará la adquisición y la representación del conocimiento y algunos métodos de inferencia, los cuales serán tratados específicamente al final del capítulo.

2.1 Fases para la construcción de un Sistema Experto

La construcción de aplicaciones relacionadas con la IA en ocasiones es un proceso complejo. Cuando se construye un sistema experto, se deben llevar a cabo algunas o todas las actividades involucradas en el proceso de desarrollo. La naturaleza del tipo de aplicación determina que actividades deben realizarse, en qué orden y en qué extensión.

Las diferentes actividades que se tienen al construir un sistema experto están organizadas en cinco fases: inicialización, análisis, diseño, desarrollo e implementación. Independientemente de la fase en que se esté, se puede regresar a cualquier otra fase previa según se aprecia en la Figura 2.1. La explicación de las actividades involucradas en ellas se describen a continuación.

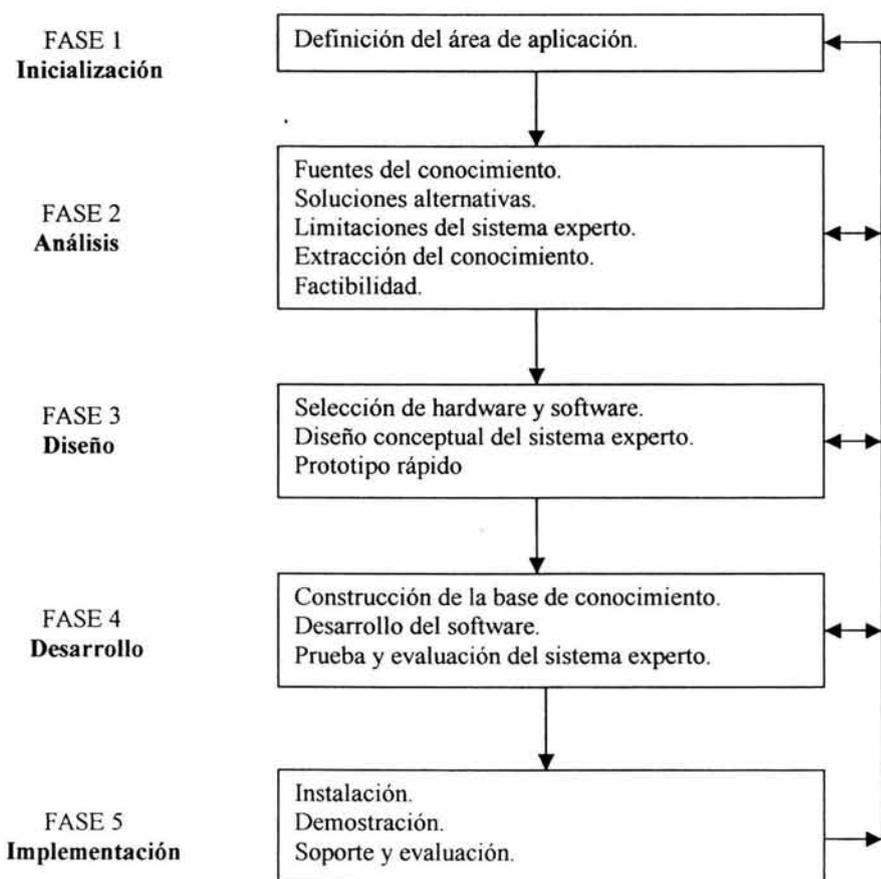


Figura 2.1 Esquema del ciclo de construcción de un SE.

2.1.1 Inicialización

La fase de inicialización es la determinación del campo de aplicación en la que el problema se enfoca. Se dice que la adquisición del conocimiento empieza desde esta fase; más adelante se tratará específicamente a esta parte de la ingeniería del conocimiento, los procesos necesarios para la adquisición del conocimiento y las actividades que tienen que ver con ella.

Definición del área de aplicación

La definición clara del problema simplifica notablemente la cantidad de actividades a realizar. Definir el problema consiste en responder algunas preguntas básicas como ¿cuál es el problema?, ¿cuáles son las necesidades reales?, ¿quién va a construir la aplicación?, ¿en qué forma se construirá la aplicación?, entre otras.

Un problema se resuelve con conocimiento de expertos cuando:

- a) *Con respecto a la solución no hay o no se conoce.* Es impracticable el uso de recetas, rutinas, tecnologías, métodos, procedimientos y en general algoritmos para solucionarlos.
- b) *Con respecto al planteamiento.* No está bien planteado, no puede ser teóricamente definido, y además los datos para su solución son incompletos y su aporte al hallazgo de una solución es incierta.

Muchos de los problemas a los que se enfrenta el proceso de desarrollo de sistemas expertos es la falta de conocimiento por parte de expertos, problemas de tiempo e incluso problemas al momento de tratar la información que utilizará el sistema. Hay que considerar que el objetivo de crear sistemas expertos o sistemas de información es resolver problemas en la mejor manera posible.

El conocimiento en sistemas expertos es en sí una parte esencial del problema a resolver, como consecuencia es necesario saber, por ejemplo lo que los otros saben sobre el problema, experiencia, dominio del experto e incluso si hay expertos disponibles en el área. Si el conocimiento es abundante existe la posibilidad que ese problema sea candidato para un SE.

2.1.2 Análisis

Una vez definida la aplicación, a continuación se inicia un análisis detallado del sistema con la finalidad de obtener una idea de cómo se desarrollará el sistema más adelante. En esta fase se evalúa la naturaleza, la complejidad y el ámbito del problema, también se obtienen todos los requerimientos de información para empezar a construir el sistema experto.

Fuentes del conocimiento

Las diferentes fuentes del conocimiento pueden clasificarse en grupos: conocimiento documentado y conocimiento no documentado (como podría ser el de los expertos).

El *Conocimiento documentado* es el que contribuye en la mayor parte de la base de conocimiento. El conocimiento documentado proviene de las siguientes fuentes: libros de textos (hechos, reglas generales y específicas), bases de datos (datos empíricos, información en tiempo real, estudios, hechos y reglas), otras fuentes (manuales, reportes, imágenes, audio y video).

El *Conocimiento no documentado* es el que se encuentra en la mente de los expertos humanos y muchas veces se adquiere con la experiencia. Los expertos humanos poseen conocimiento en una forma más compleja que la que se encuentra en las fuentes de información.

Soluciones alternativas

Antes de iniciar un proyecto de SE, es importante que se consideren algunas soluciones alternativas al problema.

Las alternativas que se propongan dependen en gran parte de las herramientas que se tengan en el momento para hacer llegar el conocimiento a otros, por ejemplo, habría que considerar la posibilidad de proporcionar capacitación en el área de interés, la existencia de expertos en el área, si es conveniente archivar el conocimiento, crear manuales con figuras, procedimientos, etc.. De esta forma, el conocimiento podría llegar a aquellos que lo necesitan.

Limitaciones del sistema experto

Las limitaciones que tenga un sistema experto es más un aspecto práctico que teórico y depende de los elementos que se incluirán en el sistema al momento de crear la base de conocimiento. También depende del ámbito que se le quiera dar al sistema experto e incluso de su área de aplicación.

En ocasiones, las limitantes que pueda tener el sistema experto se relaciona con el tamaño del mismo, de la base de conocimiento e incluso de las reglas de inferencia que éste tenga. Especificar las limitaciones podría ayudar a aquellos que requieren construir un SE y que no están familiarizados con los sistemas basados en conocimiento, ya que no son sistemas que manejen datos sino más bien conocimiento.

Extracción del conocimiento

La recopilación de información para el sistema experto empieza desde la primera fase. La extracción del conocimiento dentro del análisis se refiere a la información (conocimiento) que se incluirá en la base de conocimiento y que servirá para solucionar el problema. También son los datos que ayudan a formar las reglas de inferencia.

Las metodologías para la adquisición del conocimiento se describen en el subcapítulo 2.2 y en el 2.3 se listan las diferentes formas de representarlo.

Factibilidad

Un resultado importante durante análisis es la determinación de que el sistema a construir sea factible, es decir, si el sistema será utilizado (factibilidad operacional), podrá ser desarrollado con

la tecnología existente (factibilidad técnica) o si al crear el sistema, los beneficios serán los suficientes para aceptar los costos (factibilidad económica).

Este estudio lo puede llevar a cabo un equipo de personas que está familiarizado con técnicas de sistemas de información; dicho equipo comprende parte de la empresa que participará en el proyecto y además es gente experta en los procesos de análisis y diseño de sistemas.

2.1.3 Diseño

El diseño del sistema experto producirá los detalles que establecen la forma en que funcionará el sistema. En algunas ocasiones, esta fase se apoya en el diseño de un prototipo inicial.

Selección de hardware y software

Este paso involucra decisiones acerca del software y hardware. Las posibilidades para ello pueden ser muchas y la selección del software depende de la selección misma del hardware. Algunos puntos a considerar son: los shells⁷, los lenguajes de programación, máquinas LISP⁸ o lenguajes de programación propios de la IA.

La elección del software depende de varios factores por ejemplo, ¿se dispone de conocimientos y habilidades para programar? si es así, ¿qué lenguaje se podría usar?, ¿qué tipo de sistema de cómputo se utilizará para desarrollar el software?, etc.. La selección de la herramienta puede ser afectado por el tiempo, en otras palabras, ¿se usará un shell, un lenguaje de programación de IA, o un lenguaje de programación de tipo convencional?.

Si se cuenta con programadores expertos, identificar los lenguajes factibles y tratar de apropiarlos a las herramientas de hardware en las cuales se ejecutará el programa, es decir, que se adapten a las necesidades propias del equipo de cómputo.

Una forma práctica podría ser a través del uso de un shell siempre y cuando cumpla con las características del problema a solucionar y con los requerimientos de cómputo a usar.

También se pueden utilizar un lenguaje de programación lógico o funcional ideales para crear aplicaciones de Inteligencia Artificial, como PROLOG o LISP. Los sistemas expertos también se pueden programar en COBOL, Pascal y en C.

⁷ Sistemas Expertos que carecen de conocimiento específico.

⁸ Computadoras diseñadas para facilitar el desarrollo de sistemas de IA.

Diseño conceptual del sistema experto

El diseño conceptual de un sistema experto es similar a un esquema arquitectónico de una casa. Éste da una idea general de cómo se verá el sistema y en qué forma resolverá el problema.

El diseño conceptual muestra la robustez del sistema, las interfaces con otros sistemas expertos si existen, las áreas de riesgo, los recursos requeridos, el flujo de efectivo o dinero requerido, la organización del equipo de trabajo entre otros aspectos que ayudan a detallar el diseño.

Prototipo rápido

Un prototipo en sistemas expertos se refiere a un sistema en pequeña escala, es decir, la representación del conocimiento en una forma que permita hacer inferencia y que se puedan visualizar la mayoría de los componentes del SE en forma rudimentaria.

El prototipo ayuda a los desarrolladores de sistemas a decidir la estructura de la base de conocimiento antes de invertir tiempo en la creación de reglas innecesarias. Algunas ventajas de éste son: permite a los desarrolladores obtener una idea de si es factible continuar con el proyecto, suministra un esquema para estudiar la efectividad de la representación del conocimiento y de la implementación del conocimiento, pueden visualizarse con facilidad los problemas en el sistema final, proporciona una idea de lo que hará el sistema final y sus posibles resultados, permite la corrección de errores con anterioridad, proporciona un primer sistema que puede ser probado y ver si tiene o no éxito, etc..

El proceso para un prototipo rápido se muestra en la Figura 2.2. Primero se comienza con el diseño de un sistema pequeño, se determina qué aspectos se deben incluir en el prototipo, cuantas reglas se usarán inicialmente. Posteriormente una parte del conocimiento adquirido se representa en el sistema experto y enseguida se prueba. La prueba puede realizarse hipotéticamente y se le pregunta a un experto para que valore los resultados, en algunos casos se invita a un usuario externo a probar el sistema. Los métodos de representación del conocimiento, el software y hardware también se verifican en esta parte. Así, se justifican los resultados por un ingeniero del conocimiento y si es necesario hacer cambios, el sistema se puede volver a diseñar. Generalmente el sistema pasa por iteraciones haciéndose las correcciones hasta que el prototipo final está listo o en su excepción, si el prototipo no cumple con lo esperado, se abandona el proyecto.

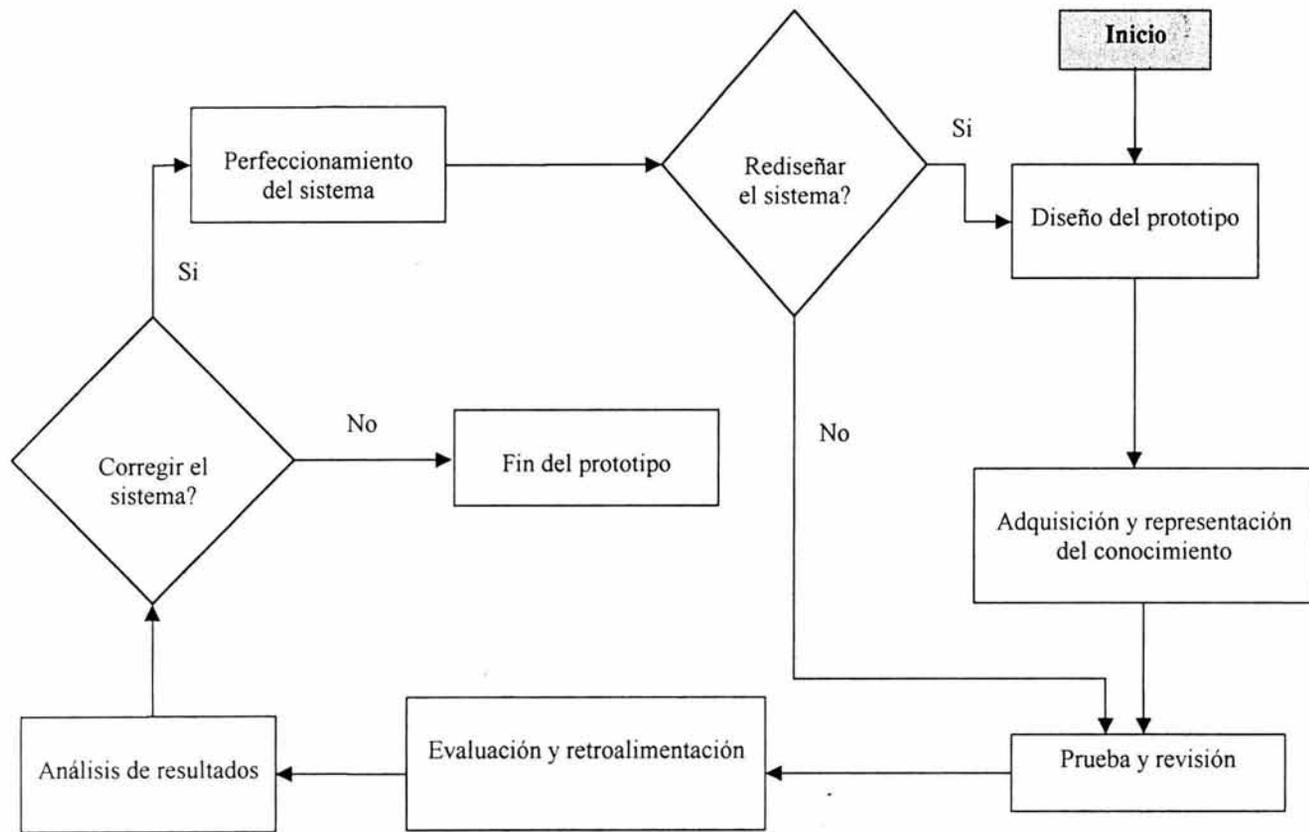


Figura 2.2 Prototipo rápido.

2.1.4 Desarrollo

Una vez que el prototipo está listo y que satisface las necesidades requeridas, se inicia el desarrollo del sistema experto.

Durante esta fase se construye la base de conocimiento, se crean las interfaces y se programa el sistema experto.

Construcción de la base de conocimiento

Construir la base de conocimiento significa adquirir conocimiento y representar este conocimiento en la computadora. A continuación se citan algunos aspectos para organizar el conocimiento de tal manera que sea más fácil su representación.

Definir las soluciones potenciales. Consiste en definir todas las posibles soluciones, resultados, respuestas, alternativas o recomendaciones que el sistema pudiera proporcionar. Se deben de identificar las posibles salidas de información que el usuario recibirá a través de la interfaz. Si se está creando un sistema basado en reglas, es aconsejable que las conclusiones sean del tipo ENTONCES (Then).

Definir la información de entrada al sistema. Se refiere a listar todos los datos que serán requeridos por el sistema, es decir, la información que el usuario introducirá al sistema. Los datos que son ingresados por el usuario se comparan con reglas del tipo SI-ENTONCES (If-Then), de esta manera el sistema proporciona conclusiones.

Otro punto es crear *esquemas* que permitan subdividir, clasificar el conocimiento o realizar diagramas como los de bloque u organigramas.

Desarrollo del software

Esta es la etapa en la que todo el conocimiento adquirido es transformado al lenguaje de programación. Se seleccionan a los programadores del sistema, se programan las interfaces y todos los elementos necesarios para que el software funcione.

Una vez que el conocimiento ha sido representado (algunos modelos de representación del conocimiento se tratan en el subcapítulo 2.3) y que se han escrito las reglas, el siguiente paso es pasar las reglas a lenguaje seleccionado o introducir las reglas a un shell. Por lo general se recomienda introducir algunas reglas, si el prototipo funciona se procede con las demás reglas.

Prueba y evaluación del sistema experto

Durante la prueba y evaluación, el sistema se emplea de manera experimental para asegurarse que el software no tenga fallas, que funcione de acuerdo a las especificaciones del análisis y diseño. Se proporcionan entradas o conjunto de datos de prueba para su procesamiento y después se examinan los resultados.

La prueba de las versiones actualizadas del sistema se puede realizar en dos fases, algunas veces llamadas pruebas alfa y beta [Lindsay, 1988]. La prueba alfa por lo general se realiza en el lugar donde se desarrolló el sistema y con ayuda de los propios desarrolladores. Se corre el programa paso a paso para cerciorarse de que hace lo que debe hacer. Por el contrario, la prueba beta ocurre en el lugar donde el software se pondrá en marcha para su utilización. En esta situación, se prueba con diferentes usuarios revisando los resultados, procesos y el manejo de los datos que son incorporados. Según las revisiones de las diferentes pruebas, se hacen las correcciones al software y nuevamente éste se prueba antes de ser liberado.

2.1.5 Implementación

Como en cualquier sistema de información, la implementación de un sistema de IA no siempre resulta exitoso. La implementación es un proceso que consiste en preparar a una determinada organización para un nuevo sistema y hacer que funcione para que sea exitoso [Turban, 1992].

La implementación también se define como la obtención de un sistema que ha sido modificado *significativamente* para ser utilizado por aquellos que necesitan obtener beneficios con su uso. Algunas actividades a considerar en esta fase son: la prueba de instalación, la demostración, la capacitación y la documentación.

Cuando el sistema esté en operación, se debe realizar el mantenimiento, la actualización y la evaluación del mismo, por ejemplo, en lo que se refiere a la actualización quizás se tenga que integrar nuevo conocimiento al sistema. Para el caso de la evaluación, tal vez se deban hacer revisiones periódicas con el propósito de identificar puntos débiles y hacer los ajustes necesarios.

El proceso de creación de un sistema experto también se divide en tres partes básicas: la adquisición del conocimiento, la representación del conocimiento y la implementación del conocimiento [Prerau, 1990]. La adquisición y representación del conocimiento ya se explican.

2.2 Adquisición del Conocimiento

La adquisición del conocimiento es la extracción del conocimiento y su transferencia a una base de conocimiento, y en ocasiones a un motor de inferencia. La adquisición se realiza en todo el proceso de desarrollo del SE.

El conocimiento se presenta en diferentes niveles: conocimiento superficial y conocimiento en profundidad [Turban, 1992].

El conocimiento superficial se usa con problemas muy específicos, por ejemplo, si el carro no tiene gasolina, el carro no podrá arrancar. Esto se representa como una regla de la siguiente manera:

Si el tanque de gasolina está vacío entonces el carro no arrancará.

Este tipo de conocimiento establece las relaciones de entrada y salida de información del sistema. Como tal, se presta para representarse en reglas del tipo SI-ENTONCES (If-Then).

Por otra parte, está el conocimiento en profundidad que se aplica a diferentes labores y situaciones, se basa en un conjunto completamente integrado y unificado de la conciencia humana que incluye emociones, sentido común, intuición, etc.. Este conocimiento es difícil de representar en computadora.

Así como se tienen niveles del conocimiento, también se tienen tipos de conocimiento. Algunos se explican en seguida [Turban, 1992]:

Conocimiento declarativo.

Es la representación descriptiva del conocimiento. Es expresado en una forma exacta, se considera de nivel superficial y es la información que cualquier experto expresa.

Conocimiento procedural.

El conocimiento procedural considera la manera en la cual las cosas funcionan bajo diferentes circunstancias. Por ejemplo, “calcular la razón de cambio entre el precio de una acción y las ganancias por acción. Si la razón es más de doce, detener la inversión, la inversión podría ser riesgosa. Si la razón es menos de doce, revisar el balance general”. Así, el conocimiento procedural incluye una secuencia paso a paso de los hechos a considerar; también informar sobre cómo usar conocimiento declarativo y como realizar inferencia.

Conocimiento semántico.

Este conocimiento se refleja en una estructura cognitiva que incluye el uso de memoria a largo plazo. Esto se refiere al uso de palabras o símbolos, significado de las palabras o símbolos, uso de reglas, algoritmos de manipulación de símbolos, conceptos y relaciones [Tuthill, 1990].

Conocimiento episódico.

Es información empírica de un caso concreto, se ve como un episodio de algo. Se cree que permanece en memoria a largo plazo y que se organiza por el tiempo y lugar.

Problemas en la adquisición del conocimiento

En general, se dice que transferir conocimiento de una persona a otra es una labor compleja. Se utilizan varios mecanismos para tal transferencia (palabras escritas, voz, imágenes, música, etc.), pero ninguno llega a ser perfecto. La transferencia de conocimiento en IA es aún más difícil y ejemplos de estos problemas son: *expresar el conocimiento, estructurarlo y transferirlo a una máquina.*

Para el caso de expresar el conocimiento, muchas veces resulta poco claro entender las ideas de una persona o en ocasiones es ambiguo o confuso. La transferencia de conocimiento a una

máquina también es complicado porque el conocimiento de un ser humano existe en una forma compleja, además un ser humano puede o no recordar algo, no así en las computadoras. Por otro lado, el estructurar el conocimiento resulta con frecuencia incompleto ya que se olvidan detalles importantes del problema.

Hay otras razones que se suman a la complejidad de transferir conocimiento, por ejemplo, la falta de tiempo o indisponibilidad a cooperar en el proyecto, justificar el conocimiento, obtenerlo de una sola fuente, abstraerlo cuando se encuentra mezclado con información irrelevante.

El proceso de la adquisición del conocimiento

El proceso de la adquisición del conocimiento se visualiza en cinco etapas dentro de la ingeniería del conocimiento [Hayes-Roth, 1983] (Figura 2.3):

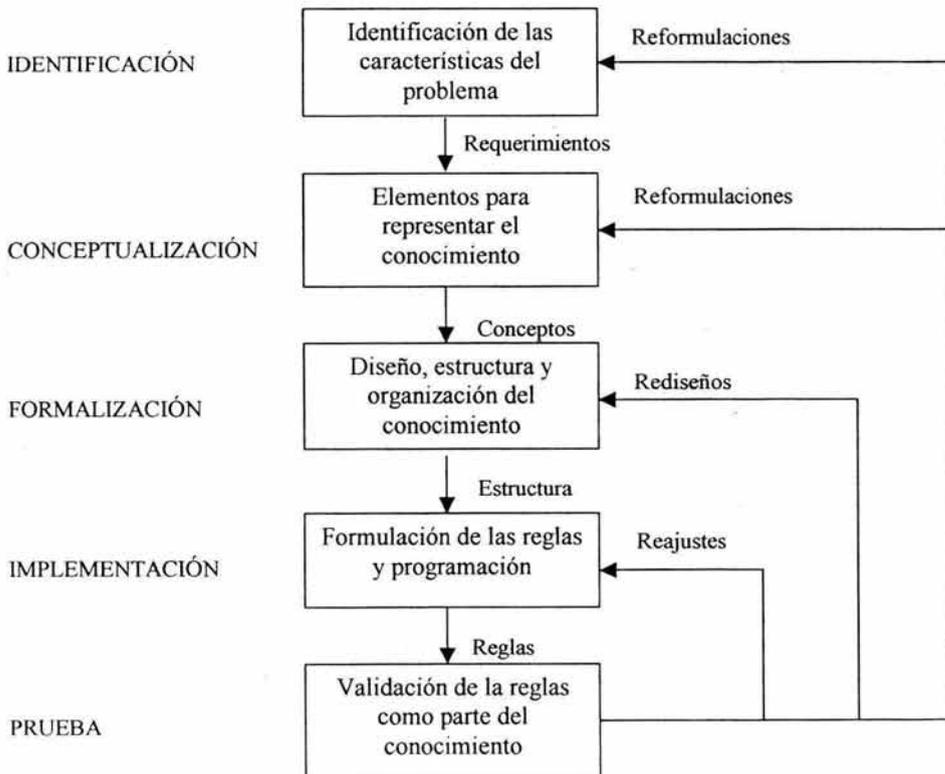


Figura 2.3 Etapas de la adquisición del conocimiento.

1. *Identificación.* Durante esta etapa se identifica al problema y todas sus características. Se divide al problema en subproblemas (si es necesario), se reúne al equipo de trabajo (expertos, programadores, etc.) y se presentan las fuentes del conocimiento.
2. *Conceptualización.* En esta etapa el conocimiento obtenido puede no estar muy claro, por lo tanto es necesario determinar los conceptos y relaciones a usar. Algunas de las preguntas a responder en esta etapa son: ¿qué información se usará y cómo se representará en la base de conocimiento?, ¿si las reglas son la mejor manera para representar el conocimiento?, ¿cómo se obtendrá cierto tipo de conocimiento?.
3. *Formalización.* Se adquiere conocimiento para representarlo en la base de conocimiento. Es conveniente utilizar algunos modelos de representación del conocimiento. Aquí se examina lo concerniente al software y hardware.
4. *Implementación.* Esta etapa tiene que ver con la programación del conocimiento en una computadora y consecuentemente algunos cambios en ello.
5. *Prueba.* En esta etapa final, el ingeniero del conocimiento prueba el sistema, el experto revisa los resultados y se verifican las reglas si es necesario. En otras palabras, se examina que tan aceptable son los resultados del sistema experto.

Métodos de adquisición del conocimiento

Los métodos de adquisición del conocimiento se dividen en tres categorías: manuales, semiautomáticos y automáticos [Turban, 1992], los cuales se muestran en la Figura 2.4.

Los métodos manuales son elaborados por algún tipo de entrevista. Los semiautomáticos se dividen en dos partes: (1) Aquellos que intentan auxiliar al experto permitiéndoles construir bases de conocimiento y (2) aquellos que pretenden ayudar al ingeniero del conocimiento para realizar labores de una manera más eficiente y efectiva. En los métodos automáticos el papel del experto y del ingeniero del conocimiento se minimiza e incluso se descarta.

Otras formas de obtener conocimiento y de ayudar a los expertos e ingenieros del conocimiento son: los editores e interfaces, la facilidad de explicación, revisiones a bases de conocimiento, la adquisición de conocimiento pictórico (en Inglés PIKA). También existen técnicas, por ejemplo KADS (Knowledge Acquisition and Documentation System) que ayuda a los ingenieros del conocimiento a adquirir, estructurar, analizar y documentar conocimiento. Herramientas como KAT (Knowledge Analysis Tool) que convierte el conocimiento en reglas con un formato específico. NEXTRA, una herramienta similar a la anterior para codificar reglas.

Los métodos pasados fueron diseñados para tratar con símbolos, sin embargo se requieren de otros métodos para tratar aquellos que no son del tipo simbólico. Trabajar con la adquisición del conocimiento del tipo numérico involucra desarrollar metodologías específicas para éste último.

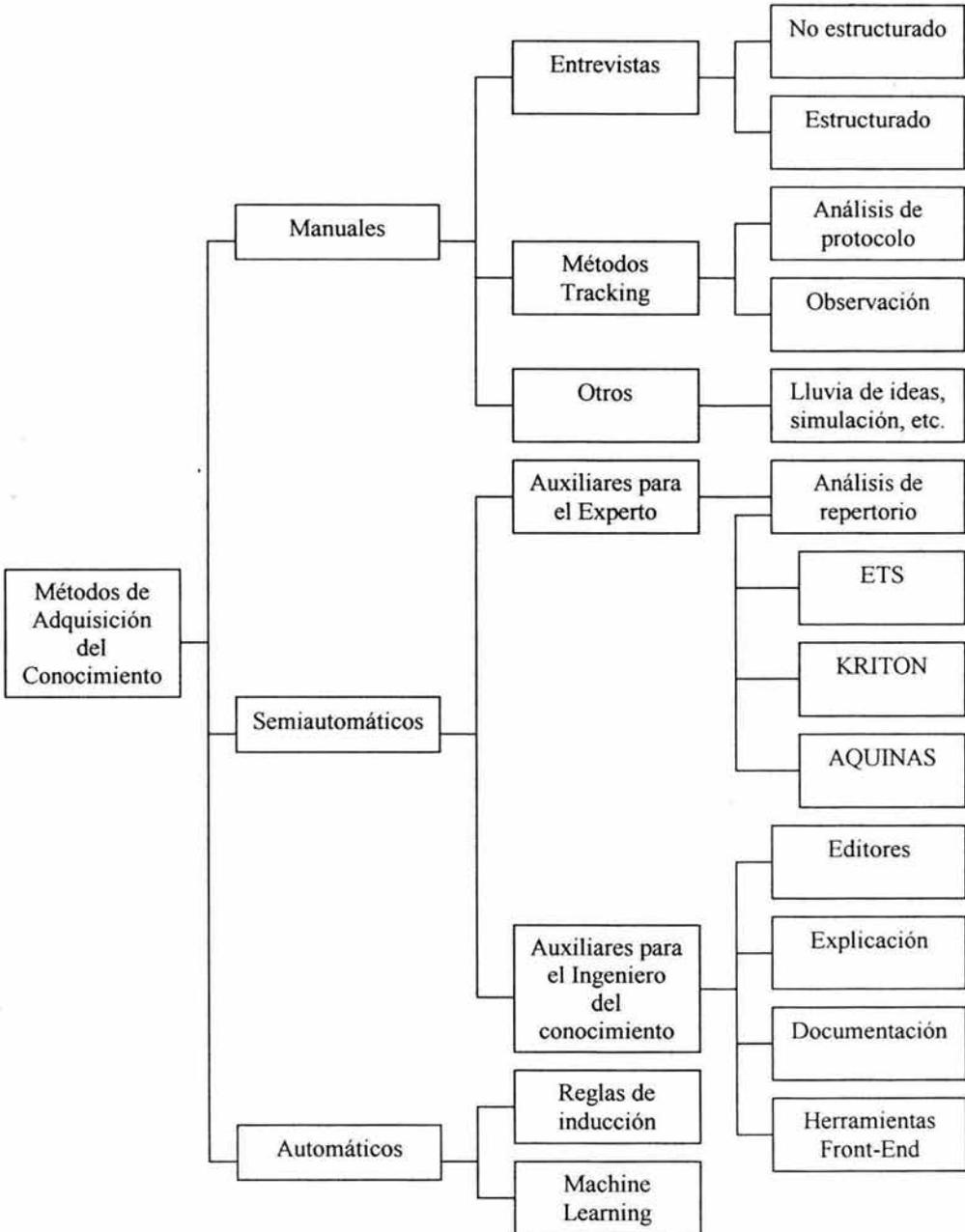


Figura 2.4 Métodos de adquisición del conocimiento.

2.3 Representación del Conocimiento

Hasta el momento, se han desarrollado una gran variedad de esquemas de representación del conocimiento los cuales comparten dos características. Primero, se programan y almacenan en memoria. Segundo, están diseñados de tal forma que permiten realizar inferencia.

En seguida se describirán los esquemas de representación del conocimiento más comunes dentro del campo de los SE [Turban, 1992].

Lógica proposicional

Una proposición lógica es una expresión que puede ser calificada de falso o verdadero. Dicho lo anterior, una proposición podría pasar a ser una premisa⁹ de la que pueden derivarse más proposiciones.

En lógica proposicional se usan símbolos tales como letras del alfabeto para representar proposiciones, premisas o conclusiones. Por ejemplo, considérese las siguientes proposiciones:

Expresión A = Si un hombre es libre, entonces es responsable de su conducta.

Expresión B = Si un hombre es responsable de su conducta, entonces evita realizar acciones negativas.

Conclusión C = Si un hombre es libre, entonces evita realizar acciones negativas.

Los problemas del mundo real involucran muchas proposiciones relacionadas. Para formar premisas más complejas, se combinan dos o más proposiciones usando conectores lógicos. Los conectores y los símbolos que se usan para representarlos se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Operadores lógicos y sus símbolos.

Operador	Símbolo
AND	$\wedge, *, \cap$
OR	$\vee, +, \cup$
NOT	\neg, \sim
IMPLICACIÓN	\rightarrow, \supset
EQUIVALENCIA	\equiv, \leftrightarrow

⁹ Término que se le da en general a una suposición acerca de algo.

Estos símbolos son similares a los utilizados en el álgebra booleana y circuitos lógicos. Los conectores se usan para unir o modificar proposiciones y generar otras nuevas, a continuación se darán algunos ejemplos.

NOT (Tabla 2.2)

P = Hoy está lloviendo.

NOT P = Hoy no está lloviendo.

Tabla 2.2 Valores de verdad del NOT.

P	NOT P
V	F
F	V

AND (Tabla 2.3)

P = El carro es negro.

Q = El carro tiene un motor de seis cilindros.

R = P AND Q = El carro es negro AND tiene un motor de seis cilindros.

En este caso, R es verdadero sólo si P y Q son verdadero.

Tabla 2.3 Valores de verdad del AND.

P	Q	P AND Q
F	F	F
F	V	F
V	F	F
V	V	V

OR (Tabla 2.4)

P = La luna es un satélite.

Q = La tierra es un satélite.

R = P OR Q = La luna OR la tierra es un satélite.

Tabla 2.4 Valores de verdad del OR.

P	Q	P OR Q
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V

Esta forma del OR se le conoce como OR *inclusivo*. Otra forma del conector OR es el OR *exclusivo* que significa que una u otra proposición sea verdadera, pero no ambas.

IMPLICACIÓN (Tabla 2.5)

$$P \rightarrow Q$$

P = El motor del carro no funciona.

Q = No podré manejar.

Una manera de explicar la IMPLICACIÓN es usando la forma SI-ENTONCES (If-Then). En este caso se dice que SI el motor del carro no funciona, ENTONCES no podré manejar.

Tabla 2.5 Valores de verdad de la IMPLICACIÓN.

P	Q	P IMPLICA Q
F	F	V
F	V	V
V	F	F
V	V	V

Otra forma de ver la función IMPLICACIÓN es $\neg P \vee Q$.

Al usar símbolos en las diversas proposiciones y relacionarlas con conectores, se generan grupos completos de premisas. La veracidad o falsedad de una conclusión es determinada por una amplia variedad de premisas.

Cálculo de predicados

A pesar de que la lógica proposicional es una alternativa de representación del conocimiento, ésta no es muy útil en Inteligencia Artificial. El cálculo de predicados es una extensión y generalización de ésta que permite mayor eficiencia para realizar inferencia. La lógica proposicional no considera relaciones o la dependencia entre objetos, como consecuencia de esto, la IA y los SE aplican en su lugar cálculo de predicados.

El cálculo de predicados es una forma más sofisticada de lógica que usa los mismo conceptos y reglas de la lógica proposicional. A éste se le atribuye la capacidad de representar conocimiento en una forma más precisa y detallada. El cálculo de predicados permite dividir una expresión en partes. El resultado es un esquema de representación del conocimiento más consistente y más aplicable a la solución de los problemas en una computadora.

En el cálculo de predicados, una proposición se divide en dos partes, los argumentos (u objetos) y el predicado (o aserción).

Uno de los conceptos fundamentales del cálculo de predicados es el de *predicado*. Un predicado es una función con argumentos que se puede evaluar como falso o verdadero, tiene la forma $P(X_1 \dots X_n)$, donde P es un predicado y $X_1 \dots X_n$ son variables u objetos.

Una de las aplicaciones importantes de éste modo de representación del conocimiento es la especificación formal, la cual permite describir el razonamiento lógico que el sistema experto realizará al momento de inducir o deducir algo, y que posteriormente pueda ser expresado en instrucciones de máquina. De esta manera, las piezas de código especificadas formalmente pueden verificarse con principios matemáticos, incrementando la confiabilidad de todo el sistema.

Algunos elementos y características del cálculo de predicados son:

- En el cálculo de predicados se indican postulados sobre objetos individuales. Por ejemplo:

Juan es alto se puede escribir $Es_alto(Juan)$

Donde Es_alto es un predicado y *Juan* es una constante. Nótese que el predicado anterior se puede evaluar como verdadero o falso.

- En el cálculo de predicados se indican postulados relacionando varios objetos. Por ejemplo:

Juan es tío de María se expresa como $Es_tío_de(Juan, María)$ donde $Es_tío_de$ es un predicado que tiene como argumentos a las constantes *María* y *Juan* que también es evaluado como verdadero o falso.

- En el cálculo de predicados se utilizan los cuantificadores universal (\forall , que se lee “para todo”) y existencial (\exists , que se lee “existe”). Por ejemplo:

Para toda X existe una Y tal que X es menor que Y, se expresa como:

$$\forall(X)\exists(Y), X < Y$$

Esto es verdadero porque dado un número siempre habrá uno mayor que él.

La proposición pasada posee los dos cuantificadores universales, si los cuantificadores no son los mismos para X y Y, no se deben permutar, por ejemplo:

$$\exists(Y)\forall(X), X < Y$$

Esto se vuelve falso porque la proposición dice que existe un número mayor que todos.

En el cálculo de predicados se usan símbolos:

- Símbolo de función, por ejemplo:

Mayor(X, Y)
Padre(X)

- Símbolos de predicados, por ejemplo:

Mayor(Más(X,1),X)

- Constantes, por ejemplo María, México.
- Símbolos de variables, por ejemplo X, Y.

Además, se utilizan términos esto es, cuando se habla de constantes, variables o símbolos de función. Así, la variable X y la constante 1 son términos. Dado el símbolo de función *Más* con dos argumentos, las siguientes expresiones también son términos:

Más(X, 1)
Más(Más(X, 1), 1)

El primero de ellos se refiere a la suma $X + 1$, mientras que el segundo a la suma de los términos $X + 1$ con el término 1.

Se definen términos de la siguiente manera: si P es un símbolo del predicado de 'n' argumentos y 't1, t2,...,tn' términos, entonces $P(t1, t2...tn)$ es un término. Ninguna otra expresión puede ser término.

En el cálculo de predicados se utilizan los átomos que son enunciados simples (predicados). Están conformados por símbolos de predicados, con uno o varios términos como argumentos y que se evalúan como falsos o verdaderos, de manera que no son descompuestos en proposiciones más simples. Las siguientes expresiones son átomos:

Mamífero(X)
Se lee X es mamífero.

Mortal(María)
Se lee María es mortal.

Es_tio(Juan, José)
Se lee Juan es tío de José.

Es_hijo(Cuahutémoc_Cárdenas, Lázaro_Cárdenas)
Se lee Cuahutémoc Cárdenas es hijo de Lázaro Cárdenas.

El cálculo de predicados se forma inclusive de un conjunto de predicados concatenados a través de los operadores lógicos: \wedge (AND), \vee (OR), \neg , \sim (NOT), \rightarrow (Implicación) y los cuantificadores universal (\forall) y existencial (\exists). De esta manera se habla de una Fórmula Bien Formada (FBF):

Una FBF es una secuencia de fórmulas atómicas (o predicados) concatenados por medio de operadores lógicos, por ejemplo:

- a) $P(X) \rightarrow Q(X) \wedge R(X) \wedge \sim(Q(X) \wedge R(X)) \rightarrow \sim P(X)$
- b) Mamifero(Perro) \rightarrow Tiene_sangre_caliente(Perro)

También, se habla de funciones de variables que son muy utilizadas en este tipo cálculo. Supóngase la frase “ para todo profesor de la UNAM, existe un estudiante ‘Z’ inscrito en la UNAM y que tiene profesor”. La traducción a predicado sería:

$$\forall(X)\text{Profesor}(X) \rightarrow \exists(Z)\text{Estudiante}(Z)(\text{Inscrito}(Z, \text{UNAM}) \wedge \text{Tiene}(Z, X))$$

Una vez que el conocimiento está organizado en predicados, éste ya puede emplearse para hacer inferencia. Esta manera de representar expresiones de la vida real ha hecho al cálculo de predicados una técnica útil en campos específicos de la Inteligencia Artificial.

Redes semánticas

Otra forma de representación del conocimiento son las redes semánticas, que están compuestas por nodos y arcos. Las redes semánticas son descripciones gráficas del conocimiento, indican las relaciones jerárquicas entre objetos.

Un ejemplo de red semántica se muestra en la Figura 2.5. Observar que está compuesta de nodos los cuales representan objetos o eventos y los arcos la relación entre objetos. Los objetos son cualquier cosa física como libros, carros, escritorios o incluso personas. Los atributos de un objeto también se usan como nodos, representa el tamaño, color, clase, edad, origen o cualquier otra característica.

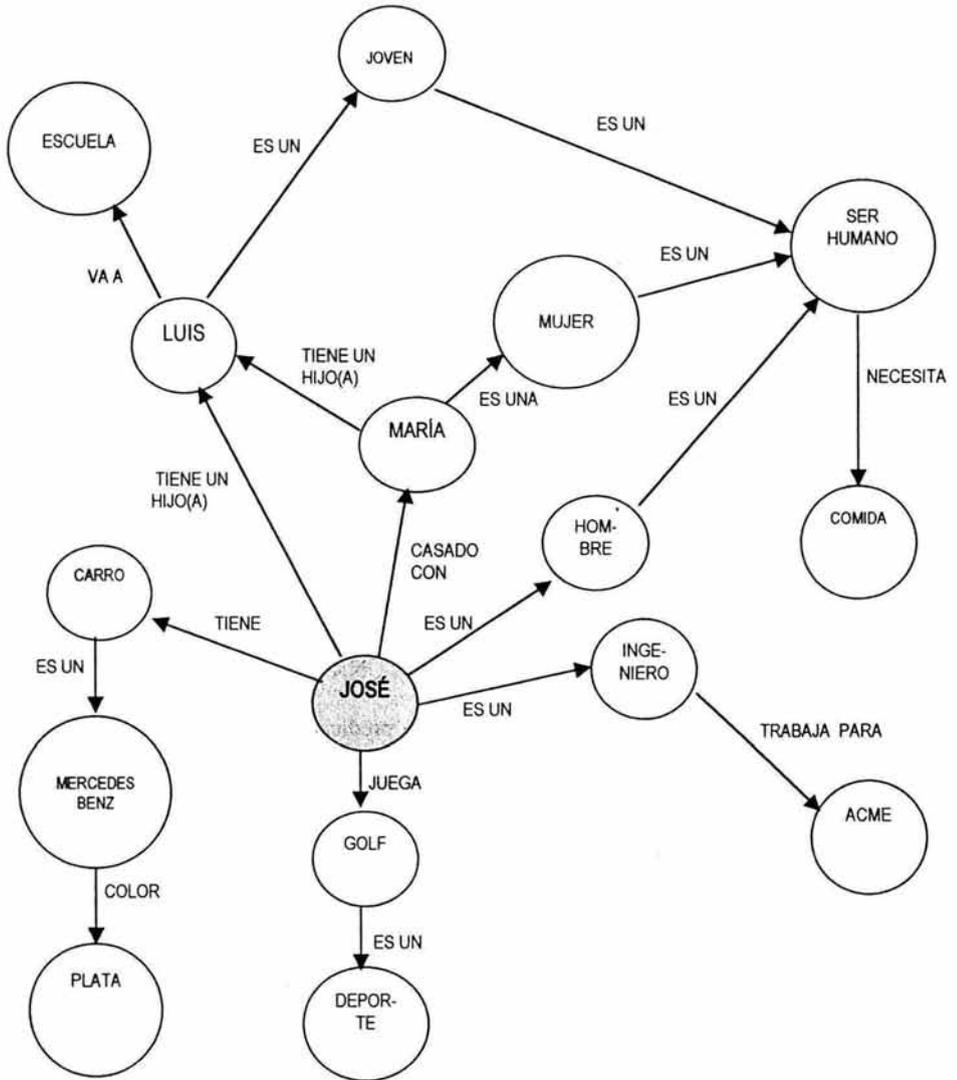


Figura 2.5 Representación del conocimiento en una red semántica.

Refiriéndose al ejemplo de la Figura 2.5, se aprecia que el centro de partida es una persona de nombre José. Un arco muestra que José es un hombre, es un ser humano y que es parte de una clase llamada humanos. Otro arco procedente de José muestra que él está casado con María. La red también señala que María es una mujer y que al igual que José es un ser humano.

Una de las partes interesantes y útiles de las redes semánticas es que éstas muestran claramente el concepto de *herencia*. Dado que las redes semánticas se pueden considerar como una jerarquía, algunas o todas las características de un determinado nodo se heredan a otros objetos, por ejemplo, considerando el arco que muestra José es un hombre y que un hombre es un ser humano, en este caso, José hereda las propiedades de ser humano.

La cantidad de nodos que se puedan incluir en una red semántica depende del tipo de problema a resolver. Si el problema es muy general, menos objetos podrían requerirse. Si el problema tiene muchas partes a desarrollar, entonces más objetos podrían especificarse en la red.

A pesar de que las redes semánticas son meramente gráficas, no es ésta la manera en que aparecerán en una computadora, los objetos y sus relaciones se especifican en términos de literales y éstas se programan en la computadora usando algún tipo de lenguaje. El diseño de este tipo de redes resulta en ocasiones difícil de estructurar, especialmente aquellas que son grandes, esta técnica se usa por lo regular para propósitos de análisis.

Frames

Un frame es una estructura que incluye todo el conocimiento acerca de un objeto, evento, lugar, situación o cualquier otra cosa. Se aplican a la programación orientada a objetos en IA y en particular en los SE. Los frames proporcionan una representación del conocimiento de una manera organizada. En contraste con otras formas de representación, las características que describen un objeto se agrupan en una única unidad llamada frame. Así, un frame cubre objetos complejos, situaciones enteras o problemas extensos como una unidad sencilla.

Un frame es una representación estática, por lo tanto diferentes frames son instancias de escenas estáticas (no cambian), de hecho es posible hacer una red en la que cada nodo es un frame.

En una forma física, un frame es semejante a un esquema con categorías y subcategorías, un ejemplo de un frame se presenta en la Figura 2.6 describiendo un automóvil. Un frame incluye dos elementos básicos: *slots* (ranuras) y *subslots*. Un *slot* es un grupo de atributos que describen al objeto representado en el frame. Por ejemplo, en el frame del automóvil *motor* es un *slot*. Cada *slot* contiene uno o más *subslots*. Los *subslots* describen algún tipo de conocimiento o procedimiento referente al atributo del *slot*, los *subslots* pueden tomar diversas formas.

Una vez que los frames han sido almacenados en la memoria de la computadora o base de conocimiento, se utiliza algún método de inferencia (para referirse a los métodos de inferencia, consultar el subcapítulo 2.4) para responder a las posibles preguntas o para hacer deducciones con el conocimiento que se tiene disponible.

Frame Automóvil
Clase: Transporte
Nombre del fabricante: Audi
Origen: Alemania
Modelo: 5000 Turbo
Tipo de carro: Sedan
Distancia entre ejes: 105.8 pulgadas
Número de puertas: 4 (default)
Transmisión: 3-speed automático
Número de ruedas: 4 (default)
Motor: (Referencia Frame Motor)
• Tipo: In-line, overhead cam
• Número de cilindros: 5
Aceleración (adjunto)
• 0-60: 10.4 segundos
• Cuarto de milla: 17.1 segundos, 85 mph
Consumo de gas por milla: 22 mpg promedio
Frame Motor
Medida de cilindro: 3.19 pulgadas
Carrera del cilindro: 3.4 pulgadas
Razón de compresión: 7.8 a 1
Carburante: Inyección con turbo cargador
Caballos de fuerza: 140 hp
Torsión: 160 ft/LB

Figura 2.6 Frame del automóvil.

Listas

Una lista es una serie de elementos relacionados y organizados que siguen un orden secuencial. Ésta podría ser una lista de nombres de personas, de artículos para comprar en el supermercado, de cosas que hacer durante la semana, productos de un catálogo, etc..

Las listas se usan para representar conocimiento en la que los objetos son agrupados o clasificados de acuerdo a un cierto tipo de orden, relación o criterio. Los objetos se dividen en grupos o clases de objetos, después se especifica su relación a través de una liga. La combinación de dos o más listas crea una jerarquía de listas. Un ejemplo de lista se muestra en la Figura 2.7.

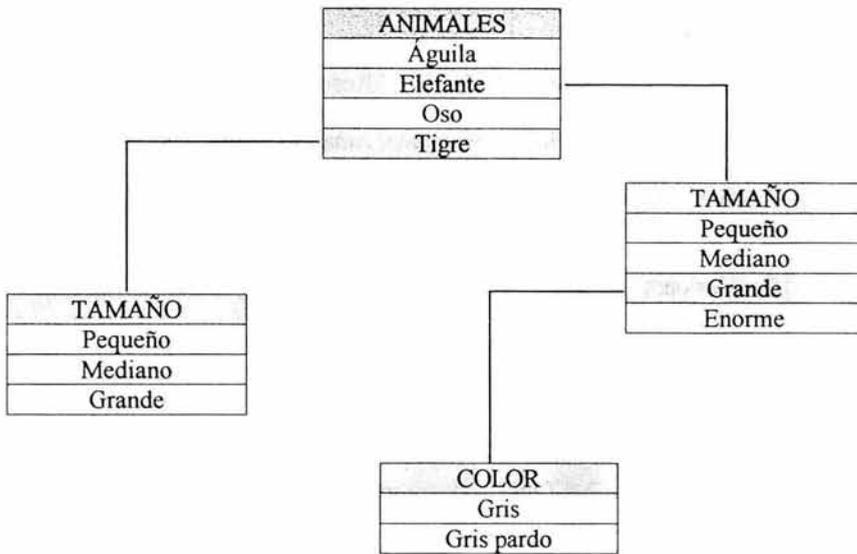


Figura 2.7 Representación del conocimiento en una lista.

De la figura 2.7, tomando como ejemplo al elefante de la lista animales, se obtiene la siguiente expresión: elefante (tamaño (grande), color (gris)) que además se le podría agregar a la lista características como tiene cola, cuatro piernas, trompa, etc. lo cual haría que la información fuera más completa.

Tablas de decisión

Otro método útil en la representación del conocimiento son las tablas de decisión. Una tabla de decisión es una matriz de renglones y columnas que indican condiciones y acciones. La tabla se divide en dos partes: primero una lista de atributos a desarrollar y por cada atributo se especifican todos los valores posibles que puede tomar, después se describe la lista de conclusiones. Finalmente, las diferentes partes de los atributos se enlazan con las conclusiones.

Un ejemplo es el de la Figura 2.8 de algunas frutas y sus características. Según la tabla de atributos y conclusiones se establece que si el fruto tiene forma redonda, si es ácido, si es de color amarillo, si es agrio, si es rugoso y además tiene semillas, entonces se concluye que se trata de una toronja. Los atributos por lo regular resultan ser aquellos aspectos que son comunes a un grupo de objetos como lo es la forma, olor, sabor, etc., para este caso en particular.

Atributos				
Forma	Redonda	Redonda	Redonda	Acorazonada
Olor	Ácido	Ácido	Dulce	Dulce
Color	Amarillo	Anaranjado	Amarillo	Rojo
Sabor	Agrio	Dulce	Dulce	Dulce
Textura	Rugoso	Rugoso	Liso	Liso
Semillas	Si	Si	Si	Si
Conclusiones				
Toronja	X			
Naranja		X		
Manzana			X	X

Figura 2.8 Tabla de decisión [Carrico, 1989].

Scripts

Un script es una forma de representación del conocimiento similar a un frame, sólo que en vez de describir objetos, éste describe una secuencia de eventos. Al igual que un frame, el script muestra un estereotipo de la situación pero en contraparte presenta un contexto particular. Para describir la secuencia de un evento, el script utiliza una serie de espacios que contienen información acerca de personas, objetos y acciones que están involucradas en tal evento. Con los frames, se representan situaciones estáticas, pero con el script se puede representar una acción (que es un conjunto de escenas).

Los scripts son dinámicos y algunos de los elementos más comunes son: las *condiciones de entrada* que describen situaciones que se deben cumplir antes de que los eventos en el script puedan ocurrir y ser válidos, *roles o papeles* que se refiere a las personas o cosas que intervienen en el script, los *objetos* que son utilizados por los diferentes actores o participantes, las *escenas* que describen la secuencia de eventos que se llevan a cabo y los *resultados* que se obtienen después de haber realizado ciertas acciones con las condiciones de entrada, objetos y actores del script.

Los scripts son muy útiles en predecir que pasará en una situación específica. Aún cuando ciertos eventos no han sido observados, el script permite predecir qué le sucederá a quién y cuando. Para usar scripts, se debe almacenar conocimiento en forma simbólica, la forma más idónea para hacer esto es usando el lenguaje LISP o algún otro tipo de lenguaje funcional.

Un ejemplo de script referente a un cliente desde su llegada, ingesta y hasta su partida de un restaurante se expone en la Figura 2.9.

Script Restaurante

Tipo de Restaurante: Restaurante de comida rápida

Roles: Cliente (C)

Servidor (S)

Objetos que intervienen:

Mostrador

Charola

Comida

Dinero

Servilletas

Sal/Pimienta/Catsup/Cubiertos

Condiciones de entrada: Cliente tiene hambre.

Cliente tiene dinero.

Escena 1: Entrada

- El cliente estaciona carro.
- El cliente entra al restaurante.
- El cliente espera en línea en el mostrador.
- El cliente lee el menú y decide qué ordenar.

Escena 2: Orden

- El cliente ordena.
- El servidor llena orden colocando la comida en charola.
- El cliente paga.

Escena 3: Ingesta

- El cliente toma servilletas, cubiertos, sal, etc.
- El cliente se va hacia una mesa desocupada.
- El cliente come.

Escena 4: Salida

- El cliente limpia la mesa.
- El cliente tira la basura y coloca la charola en su lugar.
- El cliente abandona el restaurante.
- El cliente se dirige a otro lugar.

Resultados:

- El cliente no tiene hambre.
- El cliente tiene menos dinero.
- El cliente está satisfecho*.
- El cliente tiene una alteración estomacal*.

*Una de las dos posibilidades.

Figura 2.9 Ejemplo de un script.

Árboles de decisión

Los árboles de decisión están relacionados con las tablas de decisión y a menudo se usan en el análisis de sistemas. Un árbol de decisión es un diagrama que representa en forma secuencial condiciones y acciones. Este esquema de representación también permite mostrar la relación que existe entre cada condición y el grupo de acciones permisibles asociadas a él. Los diagramas de este tipo se parecen a las ramas de un árbol, de aquí su nombre.

El desarrollo de árboles de decisión beneficia a los analistas en la siguiente manera: la necesidad de escribir condiciones y acciones permite identificar de manera formal las decisiones que deben tomarse. De esta forma, es difícil para ellos pasar por alto cualquier etapa del proceso de decisión, sin importar que ésta dependa de variables cuantitativas o cualitativas.

Como ejemplo se tiene el árbol de decisión de la Figura 2.10 que ayuda a identificar algunos animales. Éste árbol muestra que para que se determine si es uno u otro animal deben cumplirse primero ciertas condiciones, es decir, se concluiría que se trata de un hipopótamo si es un animal grande que no tiene cuello largo ni trompa, que sí le gusta estar en el agua, o de lo contrario, es un felino si no es grande y no tiene pico o una ave si tiene pico. De esta manera se obtienen reglas que son codificadas más claramente en algún lenguaje simbólico. Los árboles de decisión expresan las relaciones de causa-efecto, su mayor ventaja es que simplifican el proceso de adquisición del conocimiento.

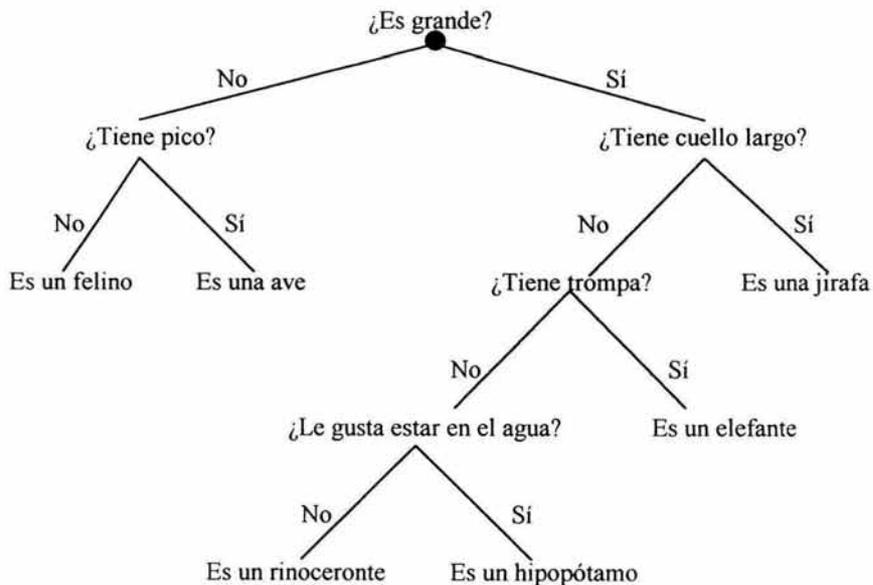


Figura 2.10 Árbol de decisión para la identificación de animales.

Reglas de producción

El proceso de razonamiento en un sistema basado en reglas, es una progresión desde un conjunto inicial de afirmaciones hacia una solución, respuesta o conclusión. Los sistemas basados en reglas son de los más utilizados, su simplicidad y similitud con el razonamiento humano ha contribuido para su popularidad en diferentes dominios. El propósito de las reglas es representar el conocimiento en un formato de condición-acción del tipo SI-ENTONCES (If-Then): “SI esta condición (premisa o antecedente) ocurre, ENTONCES alguna acción (resultado, conclusión o consecuencia) sucederá (o debería suceder)”. Las reglas son un paradigma importante de la representación del conocimiento, se emplean para expresar un amplio rango de asociaciones, por ejemplo:

SI está lloviendo Y voy manejando ENTONCES debo bajar la velocidad Y activar el limpia parabrisas.

SI la temperatura corporal es de 39 °C, ENTONCES se tiene fiebre.

Cada regla de producción en una base de conocimiento suministra una porción de información que puede ser modificada independientemente de otras reglas existentes. Cuando éstas se combinan con el motor de inferencia, el grupo de reglas se comporta de una manera sinérgica¹⁰ proporcionando mejores resultados; estas reglas nunca llegan a ser independientes, de alguna u otra manera al agregar nuevas reglas éstas se vuelven dependientes o interdependientes. Además, las reglas traen consigo una sintaxis sencilla, flexible, fácil de entender y por consiguiente la posibilidad de alcanzar una facilidad de explicación al momento de obtener resultados.

Las reglas se entienden como una simulación del comportamiento cognitivo de los expertos humanos. Desde este punto de vista, las reglas no son solamente un formalismo para representar conocimiento si no que además representan un modelo real de la conducta humana.

Son dos los tipos más comunes de reglas en el campo de la Inteligencia Artificial: el de conocimiento y el de inferencia. Las reglas declarativas del conocimiento son las que van a expresar los hechos y relaciones. Por otro lado, las reglas de procedimiento inferencial aconsejan o proporcionan suficientes elementos para saber cómo resolver el problema. Por ejemplo, si se tiene un problema de salud con el corazón, las reglas declarativas serían como estas:

REGLA 1: SI padezco hipertensión
ENTONCES puedo tener problemas con el corazón.

REGLA 2: SI tengo problemas con el corazón
ENTONCES es necesario visitar un cardiólogo.

REGLA 3: SI el problema diagnosticado es grave.
ENTONCES debo hacer ejercicio y tener una dieta balanceada.

¹⁰ Adjetivo referente a la suma de los esfuerzos de cada uno de los elementos que forman algo con el fin de obtener ciertos resultados.

Las reglas de procedimiento inferencial serían de esta forma:

REGLA 1: SI los datos que se necesitan no están en el sistema
ENTONCES pedirselos al usuario.

REGLA 2: SI más de una regla se aplica
ENTONCES desactivar cualquier regla que no agregue nuevos datos.

Estas reglas también se les conoce como *metareglas*. Las *metareglas* facilitan y aceleran la búsqueda de soluciones.

En contraparte, existen algunos problemas en los sistemas basados en reglas, tales problemas están dentro de uno de los siguientes puntos: encadenamiento infinito, incorporación de conocimiento nuevo contradictorio y la modificación de reglas existentes. Desventajas adicionales son: el conocimiento complejo requiere muchas (miles de) reglas, para muchos desarrolladores de SE es muy factible utilizar reglas lo que reduce las oportunidades para buscar más formas de representación del conocimiento, opacidad (dificultad de establecer relaciones), adaptación al dominio (rápido crecimiento del número de reglas).

La Tabla 2.6 muestra las ventajas y desventajas de algunas técnicas de representación del conocimiento. El uso correcto de ellas depende del grado de complejidad del problema ya que no existe una en especial que se aplique a todos los casos en la representación del conocimiento.

Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de algunas técnicas de representación del conocimiento.

Tipo	Ventajas	Desventajas
Lógica formal	Declaración de hechos independientemente de su uso, se asegura que sólo aspectos y consecuencias válidas se declararán (precisión), integridad.	Separación entre representación y procesamiento, ineficiente con grupos de datos grandes, muy lento con bases de conocimientos grandes.
Redes semánticas	Fácil de seguir una jerarquía, facilidad para trazar asociaciones, flexible.	El manejo de excepciones es difícil, es incomprensible si es muy grande.
Frames	Poder expresivo, facilidad para agregar slots para nuevas propiedades y relaciones, facilidad para crear procedimientos especializados, facilidad para incluir información por default y para detectar valores ausentes.	Dificultad para hacer inferencia, uso de software caro, las relaciones de causa-efecto no son muy evidentes.
Reglas de producción	Sintaxis sencilla, fácil de entender, alta modularidad, flexibilidad (al agregar o modificar reglas)	Difícil de seguir una jerarquía, ineficiente para sistemas grandes, no todo el conocimiento se expresa en reglas.

2.4 Métodos de Inferencia

Hasta este momento se ha descrito la manera en que el conocimiento es adquirido y también la forma en que es organizado en una base de conocimiento, ahora toca el turno a la inferencia.

Existen diferentes tipos de inferencia tales como: intuición, abducción, heurística, monótono, no-monótono, analogía, modus ponens, modus tollens, numérico-procedural, de metanivel, formal, deducción e inducción (Figura 2.11) [Turban, 1992]. Estos dos últimos serán tratados a continuación y de los demás sólo se comentará que la intuición es difícil de automatizar y que la abducción es una mezcla de la inducción y deducción.

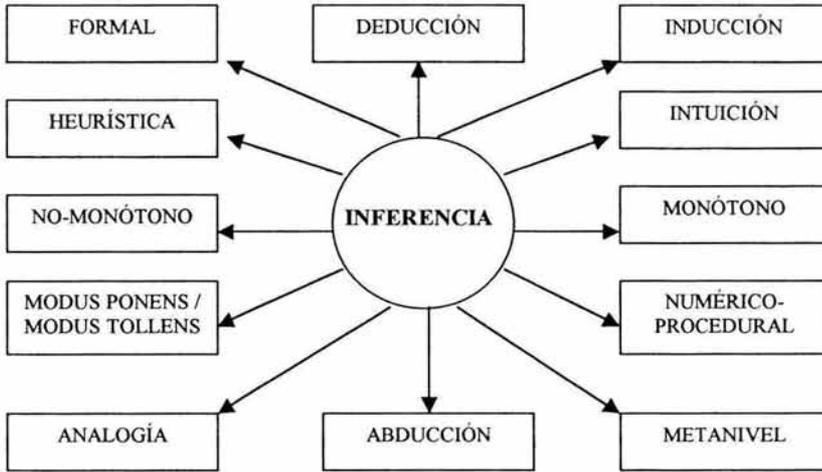


Figura 2.11 Tipos de inferencia.

Dentro de la Inteligencia Artificial, a los mecanismos de inferencia deducción (de lo general a lo particular) e inducción (de lo particular a lo general) se les llaman encadenamiento hacia adelante (Forward Chaining) y encadenamiento hacia atrás (Backward Chaining) respectivamente.

Encadenamiento hacia adelante

Es un tipo de razonamiento dentro de un sistema lógico que avanza desde las premisas o condiciones (datos) hacia las conclusiones (resultados o metas) cuya validez aún no se sabe. Aplica en forma directa la regla del *Modus Ponens*¹¹ genérico [Turban, 1992].

¹¹ De acuerdo a esta regla, si hay una regla "si A entonces B", y si se sabe que A es verdadera, entonces es válido concluir que B también lo es.

En el caso de una computadora, ésta analiza el problema buscando los hechos que más se ajusten a un tipo *SI* del conjunto de reglas *SI-ENTONCES*. El encadenamiento hacia adelante es de la siguiente forma:

SI (condición), *ENTONCES* (conclusión).

Por ejemplo, supóngase que cierta persona se enamora de otra porque ésta confía en esa otra persona, entonces la regla de encadenamiento hacia adelante es de la siguiente forma:

SI persona x confía-en persona y, ENTONCES persona x se-enamora-de persona y.

Parte de la conclusión de una regla puede ser parte de la condición de otra regla. Por lo tanto, ampliando el ejemplo anterior de esta otra forma:

SI persona x se-enamora-de persona y, ENTONCES persona x disfruta-estar-con persona y.

Cuando se tiene un conjunto de datos o de ideas básicas como punto de partida, el encadenamiento hacia adelante resulta una técnica natural para encaminar las soluciones. Si el propósito es descubrir todo lo que se pueda deducir de un conjunto de hechos, se tienen claras las entradas pero no las conclusiones, entonces se usa encadenamiento hacia adelante.

Este método revisa las condiciones de una regla para determinar si éstas se rechazan o se aceptan. Si la condición se acepta, entonces la parte de la acción (consecuencia) de dicha regla también se acepta. Este procedimiento se repite hasta encontrar una solución o punto donde ya no se puedan generar más reglas.

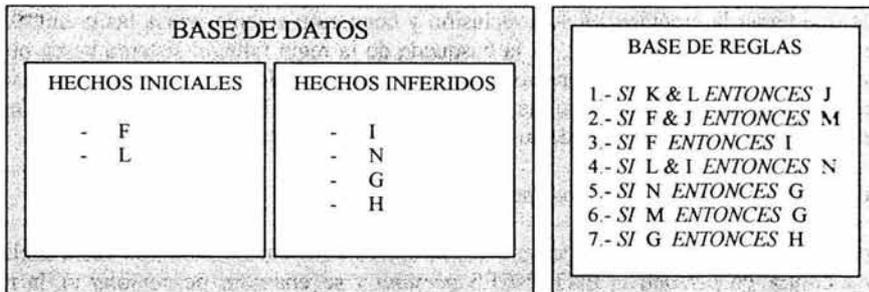
El encadenamiento hacia adelante resulta una de las formas más idóneas para realizar inferencia en aquellas aplicaciones en la cual el usuario desea obtener conclusiones a partir de un conjunto de datos, incluyendo aquellos aspectos que sirven como información de entrada al sistema para formar parte de una posible respuesta. Las aplicaciones que comúnmente presentan respuestas del tipo *SI/NO* pueden ser candidatos para este tipo de encadenamiento.

La ventaja de encadenar hacia adelante es que se parte del material que se posee y todo lo que se descubra se incorpora a la base de datos. La desventaja es que mientras más datos se encuentren, más elementos se tienen para realizar inferencia. El encadenamiento hacia adelante simula el proceso de razonamiento deductivo del ser humano. Es un proceso enfocado a los datos que inicia de lo general y termina en lo específico.

Se explicará el encadenamiento hacia adelante a través de un sistema experto hipotético que se muestra en la Figura 2.12, en donde se tiene una base de hechos inicial (F, L) y un conjunto de reglas, a partir de las cuales se debe llegar a un objetivo H. El proceso consiste en:

Buscar en la base de reglas aquellas que tengan como condición al hecho inicial F, en esta parte se tienen dos reglas, la regla 2 y la regla 3; examinado la regla 2 se observa que hace falta el hecho J que es parte de la regla para concluir M, por lo tanto esta opción se elimina. Tomando ahora la regla 3 en donde dado F se concluye I, entonces el hecho I es agregado a la base de los hechos inferidos. Después de lo anterior se aplica la regla 4, ya que L es un hecho inicial y el

hecho I ya fue inferido, esta regla tiene como conclusión N, la cual también se agrega a la base de hechos inferidos. Pero de N se infiere G (regla 5) y a su vez, en la regla 7, a partir de G se obtiene H. Observar como a partir de un conjunto de hechos iniciales se concluye en H.



OBJETIVO: CONCLUIR EN H.

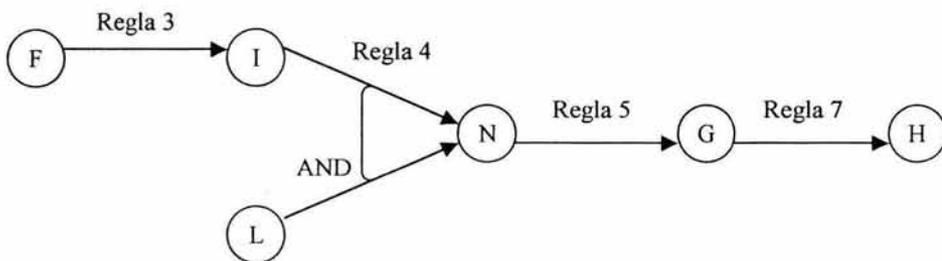


Figura 2.12 Sistema experto hipotético (encadenamiento hacia adelante).

Encadenamiento hacia atrás

Esta forma de razonamiento en un sistema lógico se basa en la regla del *Modus Tollens*¹² para seguir una ruta desde lo que se quiere sustentar en su validez hacia los datos. Se inicia a partir de las conclusiones (metas) hacia las condiciones. Es un tipo de razonamiento enfocado en un objetivo o conclusión [Turban, 1992].

En este tipo de razonamiento, la idea principal es empezar de los posibles resultados (o hipótesis), es decir, partiendo de una hipótesis, se buscan evidencias que apoyen (o contradigan) la hipótesis y que termina con la aceptación o rechazo de la misma. El encadenamiento hacia atrás o *razonamiento hacia atrás* resulta ser efectivo en aplicaciones en la cual hay muchas respuestas posibles de algo y cuando el número de salidas no es tan numeroso. En este caso, dada una

¹² Regla que expone lo siguiente: si se sabe que B es falsa y hay una regla "si A entonces B", es válido concluir que A también lo es.

conclusión el sistema experto trata de determinar qué condiciones se necesitan para obtener esa conclusión.

En lo referente al encadenamiento hacia atrás en una computadora, el programa inicia con una hipótesis que será verificada como falsa o verdadera y un conjunto de hechos iniciales, busca una regla que tenga la hipótesis en su conclusión y consecutivamente revisa las premisas de esa regla con la finalidad de satisfacerla. Si la búsqueda de la regla falla, el sistema busca otra regla cuya conclusión sea la misma de la premisa de la primera regla, de esta forma, se trata de verificar la segunda regla. La búsqueda se continua hasta que todas las posibilidades se verifican o hasta que la primera regla se satisface. El encadenamiento hacia atrás tiene la siguiente forma:

Conclusión, SI (condición de los datos).

Tomando como referencia el ejemplo que se aplicó en el encadenamiento hacia adelante (SI *persona x* confía en *persona y*, ENTONCES *persona x* se enamora de *persona y*), la regla de encadenamiento hacia atrás es:

persona x se enamora de *persona y*, SI *persona x* confía en *persona y*.

Este ejemplo afirma que para enamorarse de una persona se necesita de una condición de confianza. Como se puede apreciar, tal afirmación podría no ser precisa. Si por ejemplo, ochenta por ciento de la población cae en la categoría de la regla previamente citada, entonces se puede asignar cierto nivel de duda a la regla. Así, la regla podría quedar expresada como:

persona x se enamora de *persona y*,
SI *persona x* confía en *persona y* (Factor de Certidumbre¹³ = 0.80).

El encadenamiento hacia atrás a menudo se implementa en los sistemas expertos como un formato de regla de encadenamiento hacia adelante. Para este caso, el objetivo-conclusión se especifica como antecedente de la regla y la condición que lleva a la conclusión se especifica en la parte de la conclusión de la regla [Fabrycky y Mize, 1992]. Siguiendo el ejemplo pasado, el encadenamiento hacia atrás de esa regla se puede escribir como:

SI *persona x* se enamora de *persona y*,
ENTONCES *persona x* debería confiar en *persona y*.

Si el propósito es verificar/negar una conclusión, se tienen claras las metas pero no las entradas, entonces es conveniente usar encadenamiento hacia atrás. Planificación es un ejemplo general de ello ya que la función del planificador es construir un plan para poder alcanzar las metas deseadas, un planificador considerará sus metas sin el consumo excesivo de recursos o violaciones de restricciones. Si hay una meta en conflicto, el planificador tiene que establecer prioridades.

¹³ Porcentaje suministrado por un sistema expertos que indica la probabilidad de que una conclusión generada por el sistema es correcto. También es el grado de creencia de algo si el resultado de una premisa es verdadero.

La ventaja de encadenar hacia atrás es que se sabe a donde se va y el considerar lo que se busca tiende a evitar explorar partes innecesarias. Cuando se explora un problema, sólo se consideran caminos que terminen en una solución. La desventaja de encadenar hacia atrás es que los pasos previos que se van proponiendo pueden no estar garantizados por los datos iniciales. Cualquier conclusión puede ser alcanzada a partir de infinitos estados iniciales distintos, de esta manera se podría estar retrocediendo hacia lugares de los que no se podría partir, considerando solamente los datos iniciales.

La Figura 2.13 muestra un ejemplo de encadenamiento hacia atrás. En esta ocasión se inicia a partir de una hipótesis, la hipótesis para este ejemplo es G y el objetivo de encadenar hacia atrás es ver si se acepta o se rechaza G. En el encadenamiento hacia atrás se inicia buscando una regla que incluya al objetivo G en su conclusión ENTONCES. Puesto que la única regla que califica con esta característica es la regla 5, entonces se inicia con ésta. El proceso se explica a continuación:

Primeramente, el motor de inferencia busca si G se encuentra en la base de datos. Como G no está en la base de datos es necesario encadenar hacia atrás y lo único que se tiene son los hechos A y B que son hechos iniciales.

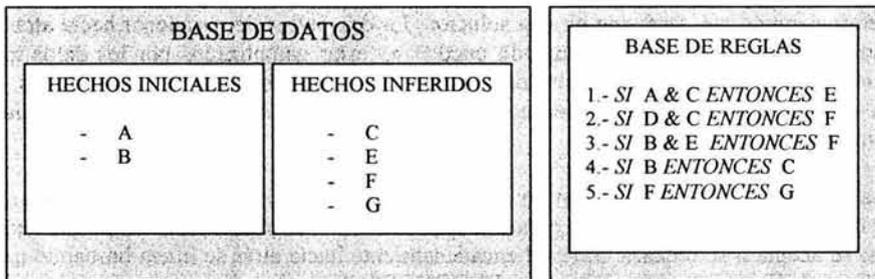
Iniciando con la regla 5, se procede a buscar alguna regla cuya conclusión sea F. Según la base de reglas, hay dos reglas con esta característica, la regla 2 y 3. Tomando la regla 2 dice que si D y C entonces F pero D no es conclusión de otra regla ni es un hecho inicial y en este caso hay dos opciones: moverse a otra regla o que el sistema le solicite más información al usuario para de esta forma concluir G. Para efectos de este ejemplo se desecha la regla 2 y se continúa con otra regla, este proceso se llama *retroceso* (backtracking).

Considerando la regla 3 es necesario examinar que B y E sean conclusiones. Para el caso de B, se dice que es una conclusión aceptable o que existe ya que es un hecho inicial. La regla 1 dice si A y C entonces E, A es un conclusión aceptable puesto que al igual que B es un hecho inicial; sólo falta por ver que C sea una conclusión y la regla que tiene a C como conclusión es la regla 4.

Como B es premisa de la regla 4, hay que ver que sea conclusión, como B se acepta o existe entonces C también. Si A y C entonces E, esto hace que F exista o se acepte.

En conclusión sobre este ejemplo, se dice entonces que G se acepta. Suponiendo que la regla 5 dijera “*Si una persona quiere estudiar alguna ingeniería ENTONCES el área de interés es fisico-matemático*”, se estaría afirmando que dicha área es de interés para la persona. Cualquier respuesta contraria a la regla resultaría en “*fisico-matemático no es de interés para la persona*” que sería la opción para rechazar a G.

Es importante notar que en este tipo de encadenamiento, se comienza de la conclusión a la parte de la condición.



OBJETIVO: ACEPTAR O RECHAZAR G.

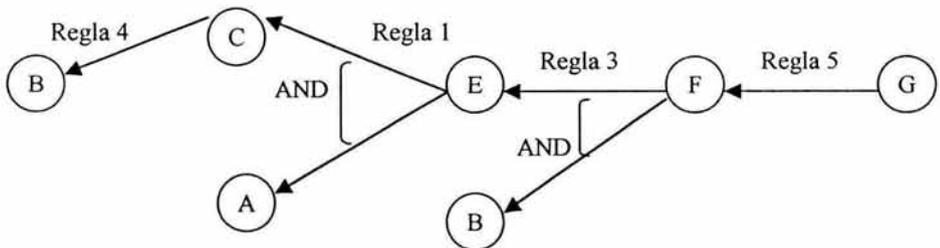


Figura 2.13 Sistema experto hipotético (encadenamiento hacia atrás).

Lo que el sistema experto haga depende de los procedimientos con que cuente el motor de inferencia. En lo que respecta al encadenamiento hacia atrás, en ocasiones se le pedirá al usuario información adicional sólo si no hay información que ayude a probar o negar la hipótesis o si no se pueden deducir las condiciones.

Reuniendo las ventajas que ofrecen los dos tipos de encadenamiento, se puede hacer una combinación de ambas estrategias (técnica de doble búsqueda) o utilizar formas de control más específicas para el problema al momento de realizar inferencia. La selección de la forma de encadenamiento depende de varios factores: el tipo de aplicación (diagnóstico, diseño, etc.), la forma como el experto ataca el problema, etc..

Una forma de hacer que funcione adecuadamente el proceso de consulta y la búsqueda de las soluciones es combinando los métodos de inferencia pasados con algún método de búsqueda. Los métodos de búsqueda que se tratarán son: búsqueda en anchura (Breadth-first Search) y búsqueda en profundidad (Depth-first Search) que ya se describen.

Búsqueda en anchura

El objetivo de este tipo de búsqueda es encontrar un nodo que cumpla alguna condición (llamado nodo objetivo) partiendo de un nodo origen. La idea principal es ir comprobando por niveles el árbol. Primero se verifica si alguno de los nodos adyacentes al nodo raíz es el nodo objetivo, si lo es, se para la búsqueda y se diría que se ha encontrado el nodo objetivo dando un salto desde el nodo origen al nodo objetivo. Si no se encuentra en el primer nivel del árbol, se busca en los nodos adyacentes a los nodos del primer nivel y así sucesivamente.

Un ejemplo de este tipo de búsqueda se presenta en la Figura 2.14. Para éste caso en particular, se examinan los nodos del árbol empezando con el nodo raíz. Los nodos que pertenecen a determinado nivel se examinan antes que se pase al siguiente nivel. El número que identifica al nodo designa la secuencia del recorrido de los nodos. En este ejemplo, se empieza en el nodo 1 y se sigue hacia abajo con el nodo 2. En el nivel donde se encuentra el nodo 2 hay más nodos, se procede a examinar los nodos 3 y 4. Habiendo examinado los nodos del nivel 1 se continúa con los del nivel 2. En el nivel 2 se encuentran los nodos 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Suponiendo que el objetivo es alcanzar el nodo 7, se tienen que examinar primero los nodos 5 y 6 para posteriormente pasar al 7. Así, se han visitado los nodos por niveles hacia abajo.

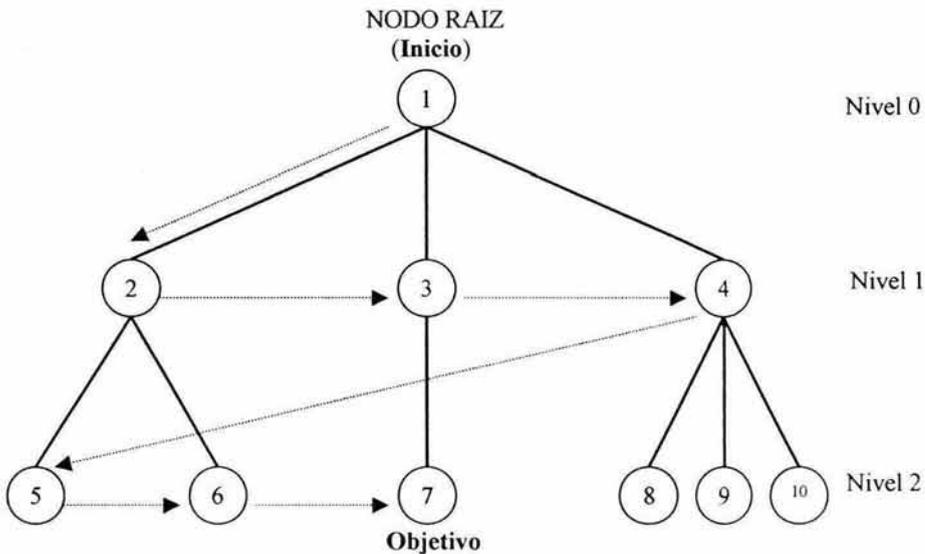


Figura 2.14 Búsqueda en anchura en un árbol de búsqueda.

Generalmente el proceso empieza considerando un nodo inicial y recorriendo cada nodo del árbol hacia abajo de izquierda a derecha hasta obtener o llegar al nodo final que represente una solución. Este tipo de búsqueda resulta efectivo cuando el número de ramas que salen de cada nodo no es numeroso y cuando el número de niveles por cada nodo es de profundidad diferente.

Búsqueda en profundidad

Una búsqueda en profundidad comienza en un nodo raíz y recorre los nodos hacia abajo pasando sucesivamente por los diferentes niveles del árbol. Este proceso se enfoca en encontrar el nodo del nivel más inferior que se ajuste a un determinado objetivo. En la búsqueda en profundidad siempre se intenta bajar de nivel, en el momento en que no se pueda bajar más, se sube a aquel nodo que permita seguir bajando de nivel.

La Figura 2.15 ilustra una búsqueda en profundidad. Como en el caso de la búsqueda en anchura, los números de los nodos representan la secuencia de la búsqueda. La búsqueda se sigue hacia abajo y de izquierda a derecha. Empezando por el nodo raíz se pasa al nodo 2 del nivel 1, como el nodo 2 es no terminal se examina el nodo de más a la izquierda del siguiente nivel (nivel 2) que es el nodo 3, el nodo 3 tiene una rama hacia el nodo 4 que es un nodo terminal pero no es el objetivo. El proceso de retroceso (backtracking) se empieza al llegar al nodo 4 con el propósito de encontrar otras alternativas con los niveles superiores, esto conlleva nuevamente al nodo 3 del nivel 2, como no hay opción a otros nodos se pasa al nodo 2 donde se encuentra una alternativa al nodo 5. Ya que el objetivo es el nodo 13, se repite el proceso de retroceso en el nodo 6 al 5 para llegar al nodo 7 y del 7 se retrocede hasta el nivel donde haya otra alternativa de búsqueda. que es el nodo 8, este nodo tiene como única alternativa el nodo 9 y éste al nodo 10. El nodo 10 es terminal por lo que nuevamente se retrocede a buscar otro nodo de algún nivel superior, en este caso el más próximo es el nodo 11 del primer nivel, este nodo lleva al nodo 12 que tiene dos alternativas, el nodo 13 y 14. Tomando la rama de la parte izquierda se llega al nodo 13 que es el nodo objetivo o en su excepción regresar al nodo 12 para concluir en el nodo 14 si es que se quiere analizar todo el árbol, en cuya caso sería una búsqueda exhaustiva.

Este tipo de búsqueda por lo general garantiza una solución, pero a diferencia de la búsqueda en anchura, éste es más largo ya que en muchas veces pasa dos veces por el mismo nodo, situación que no sucede con la búsqueda en anchura. La búsqueda en profundidad también depende del tamaño del árbol y de los niveles que éste tenga.

Para problemas con muchas soluciones, la búsqueda en profundidad es más rápida que la búsqueda en anchura ya que existe la posibilidad de encontrar una solución después de explorar una parte del espacio de búsqueda. Este tipo de búsqueda resulta ni completo ni óptimo y debe evitarse en árboles de profundidad muy grande o infinita, es decir, es favorable en los casos donde los caminos o alternativas a recorrer son cortos.

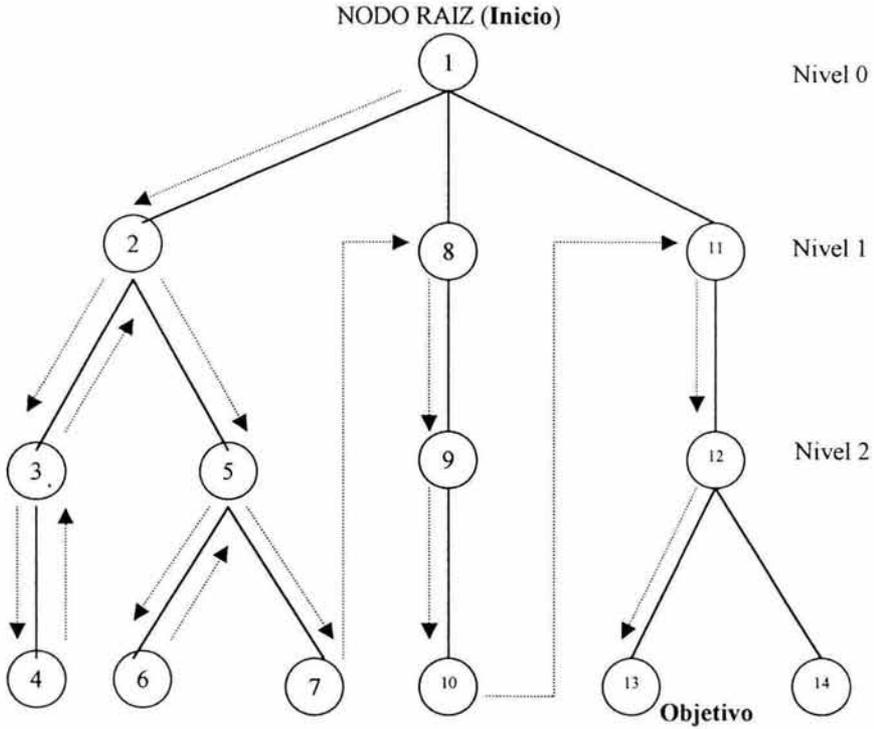


Figura 2.15 Búsqueda en profundidad en un árbol de búsqueda.

Las áreas de estudio de la IA generalmente se asocian con la búsqueda y evaluación de pasos para encontrar soluciones. El objetivo es automatizar tales pasos por lo que los métodos de búsqueda son una alternativa.

Capítulo 3

Inicialización, Análisis y Diseño del Sistema Experto BACO

Es el momento de comenzar la realización del sistema experto BACO, que está orientado a identificar los órganos del cuerpo humano, aún sin la presencia de un experto. Para su elaboración se seguirá el ciclo de construcción expuesto en el capítulo 2 y que consiste de una fase de inicialización, análisis, diseño, desarrollo e implementación; hay que recordar que en ellas se abarca un conjunto de actividades que van desde la comprensión del problema hasta la puesta en marcha del sistema experto. En este capítulo se desarrollarán las tres primeras fases.

3.1 Fase de Inicialización del Sistema Experto BACO

En esta fase se debe definir el área de aplicación para construir el SE. Para facilitar el proceso es conveniente responder a la siguiente pregunta:

¿Cuál es el problema o las necesidades reales?

Hasta el momento en México no existen muchos sistemas expertos que apoyen a la enseñanza y aprendizaje de la anatomía humana. De hecho los sistemas de educación en nuestro país no han explotado al máximo los avances tecnológicos computacionales, que pueden convertirse en una herramienta poderosa en la educación. La enseñanza y aprendizaje de la anatomía humana a través del uso de un SE podría ser novedoso y podría captar la atención del estudiante, despertando su curiosidad y con ello invitarlo al conocimiento. La interactividad que BACO propone, consiste en permitir que el usuario introduciendo hechos iniciales, tales como partes o características de un órgano, el sistema experto, llegue a la conclusión de que es un determinado órgano, o dada una hipótesis y hechos iniciales BACO trate de verificarla, dando la respuesta de falsa o verdadera. Obviamente que durante el proceso, el SE podría preguntar al usuario información que le haga falta para lograr formular una respuesta que se apegue lo más posible a lo que el experto contestaría. Lo anterior, seguramente ocasionará una gran aceptación en quienes lo utilicen.

Como se estableció al inicio, la creación de un sistema experto que identifique los órganos del cuerpo humano está orientado al aprendizaje y enseñanza de los mismos, sin que la presencia física del experto sea obligatoria. Este sistema también presentará una breve descripción del posible órgano, o si la información fue insuficiente, proporcionará un conjunto de posibles respuestas que se ajusten a la información incompleta que el usuario proporcionó.

La creación de este prototipo implica conocer la anatomía del cuerpo humano, tener conocimiento de los sistemas existentes, así como el conjunto de órganos que los componen. Es importante mencionar que el cuerpo se divide en secciones, aparatos y sistemas, los cuales están formados por órganos. Todo esto se describirá más adelante.

Otros aspectos para emprender la construcción de este sistema experto son los siguientes:

La interactividad permite que la búsqueda de información sea un proceso dinámico, hay quienes prefieren en definitiva el uso de la computadora, ya que en ocasiones resulta más entretenida y rápida. También el sistema podría sustituir o servir como apoyo cuando el experto no se encuentra disponible, en la actualidad hay pocos sistemas expertos en el área educativa. Con los sistemas expertos se pretende fomentar el uso de las computadoras en la enseñanza.

Por otra parte, hay cierta tendencia del uso de software a un nivel de estudios de primaria y secundaria por lo que un sistema experto de este tipo resultaría de gran utilidad para la enseñanza y aprendizaje. En general, un sistema experto y en especial el sistema BACO puede ser utilizado por todas las personas que tenga gusto por el software educativo.

La especificación de las partes de los órganos son la base principal de conocimiento en la cual se apoyará dicho sistema. En otras palabras, BACO es un SE que funciona al utilizar una base de conocimiento especializada en los órganos del cuerpo humano.

De la definición del área de aplicación se marca el inicio para reunir el conocimiento, esclarecer una metodología o seguimiento de investigación, e incluso para proponer soluciones.

3.2 Fase de Análisis del Sistema Experto BACO

El objetivo de esta parte es analizar e identificar los requerimientos del sistema y determinar las características generales del problema.

3.2.1 Fuentes del conocimiento

Una vez que se tiene bien definido el área de aplicación, es preciso destacar algunos aspectos sobre la parte del conocimiento: el conocimiento es abundante, existe una gran variedad de expertos en el área y más concretamente en anatomía del cuerpo humano, la disponibilidad tanto de los expertos como de las fuentes no son difíciles de consultar. El tema de los órganos del cuerpo humano no es un tema extraño que pueda causar confusión entre una fuente y otra, además la opinión de diferentes expertos, respecto a los órganos enriquece el conocimiento.

Las fuentes principales del conocimiento utilizadas para crear este sistema son: los libros de anatomía, expertos en el área de la medicina, manuales sobre el cuerpo humano y en menor proporción los datos empíricos principalmente para responder y contestar preguntas acerca de los órganos del cuerpo, mismos que podría utilizar el sistema. Estas fuentes son conocimiento documentado a excepción de los datos empíricos que se encuentran en la mente de los humanos y cuyo conocimiento es no documentado.

3.2.2 Soluciones alternativas

Antes de pasar a la creación del prototipo, es conveniente citar algunas soluciones alternativas al sistema experto en construcción.

Si se cuentan con expertos en la materia, se podrían dar cursos que instruyan sobre los órganos del cuerpo humano, crear seminarios que capaciten y formen a nuevos expertos. La difusión de conferencias sobre órganos del cuerpo humano quizás sea de importancia en los lugares donde se necesita este tipo de conocimiento y en donde los interesados puedan acudir a ellas. Los cursos, seminarios, las conferencias, etc., son formas comunes de obtener conocimiento del experto directamente, por lo que en ocasiones podrían ser caros y poco frecuentados.

Una alternativa más para hacer llegar el conocimiento, es a través de la creación de manuales sobre los órganos, cursos, bases de datos y tutoriales en línea. Adquirir el conocimiento de esta manera resulta a menudo más sencillo que otras formas, pero en contraparte carecen de

interactividad y generalmente tienen que ser actualizados por algún experto en un determinado intervalo de tiempo. Otra solución serían las videoconferencias aunque éstas quizás requerirían de equipo de cómputo más sofisticado que un SE. El sistema experto BACO como una alternativa a la obtención de conocimiento sobre los órganos del cuerpo humano ofrece interactividad, capacidad de aprendizaje y más aún permite obtener conclusiones sin requerir la presencia de expertos.

Quizás existan muchas opciones que ayuden en el aprendizaje de los órganos del cuerpo humano, pero la decisión entre escoger una u otra forma, tal vez dependa de las aptitudes del que vaya adquirir conocimiento sobre los órganos.

3.2.3 Limitaciones del Sistema Experto

Antes de pasar al tema donde se escribirá el conocimiento que tendrá el sistema experto, se mencionarán algunos puntos que avisen sobre la información que se utilizará, su ámbito, el dominio que tendrá la aplicación, de tal manera que no se preste a posibles confusiones al momento de crear la base de conocimiento.

El sistema experto BACO está orientado a la enseñanza de los órganos del cuerpo humano, él mismo almacenará información referente a las partes de los órganos como ya se mencionó al inicio de este capítulo, pero aún así es necesario aclarar algunos puntos sobre este enfoque del sistema experto. Por ejemplo, qué partes se consideran órganos en el cuerpo humano, cuántos órganos tiene el cuerpo humano o qué es un órgano o si un órgano está compuesto de órganos como ocurre en muchos casos.

De acuerdo con lo descrito en la fase de inicialización y tomando en cuenta el propósito de este sistema experto, se proporcionará en seguida una breve reseña de los sistemas y órganos que conforman el cuerpo humano. Por lo tanto se presentan las siguientes definiciones, desde el punto de vista de la anatomía.

- Un *sistema* es el conjunto de órganos con un mismo fin funcional [Higashida, 1996].
- Un *órgano* es el conjunto de tejidos que hacen una entidad anatómica [Higashida, 1996].

El cuerpo humano está compuesto de órganos estructurados para cumplir una función determinada. Todos los órganos que tienen una estructura análoga constituyen un sistema, y todos los sistemas que concurren en una misma función forman un aparato [Rouvière y Delmos, 1987].

Hasta hace algunos años se diferenciaba un sistema de un aparato, pero en la actualidad se ha preferido utilizar el nombre de sistema [Higashida, 1996]. Aún cuando un aparato es un conjunto de sistemas que concurren en una misma función, aquí se manejará el término sistema y aparato indistintamente uno de otro.

Bajo estos dos conceptos hay que examinar qué sistemas y qué órganos se considerarán. El cuerpo humano como un sistema cumple con tres funciones principales: nutrición, relación y reproducción (algunas veces dividido en aparato de la nutrición, de la reproducción y de relación). La Tabla 3.1 muestra cada una de estas funciones y los sistemas que involucran.

Tabla 3.1 División del cuerpo humano por funciones [Higashida, 1996].

FUNCIONALIDAD	SISTEMA(S)
RELACIÓN	Sistema óseo. Sistema muscular. Sistema nervioso. Sistema endocrino. Sistema de las articulaciones. Órganos de los sentidos.
NUTRICIÓN	Sistema digestivo. Sistema circulatorio o Angiológico. Sistema respiratorio. Sistema urinario. Sistema endocrino *.
REPRODUCCIÓN	Sistema reproductor (masculino y femenino). Sistema endocrino *.

BACO tomará en cuenta los mostrados en la tabla 3.1, los cuales formarán la base de conocimiento por ser considerados como los sistemas mas relevantes por un amplio grupo de expertos en la materia. Analizando cada uno de ellos habría que ver cuales están conformados por órganos y cuales no. BACO se limita a aquellos sistemas más conocidos del cuerpo humano cuya funcionalidad y estudio sean relevantes a nivel primaria, secundaria y bachillerato. Los siguientes puntos marcan los límites de BACO:

- 1) Sólo se considerarán sistemas dentro de la clasificación previamente descrita.
- 2) Sólo se considerarán sistemas que verdaderamente contengan órganos de acuerdo al concepto ya establecido.
- 3) Sólo se considerarán sistemas que estén dentro de la enseñanza de la anatomía humana a niveles escolarizados como primaria, secundaria o bachillerato.

Haciendo una clasificación sobre los sistemas que no entran en este proyecto, el único por mencionar es el sistema de las articulaciones (ver Tabla 3.1). Se llaman articulaciones al conjunto de elementos por medio de los cuales los huesos se unen entre sí y no son estrictamente órganos que unen a los huesos. De esta manera, los que sí se consideran son: el sistema endocrino, óseo, reproductor, urinario, digestivo, nervioso, respiratorio, circulatorio, muscular y órganos de los sentidos o sistema sensorial.

En lo que respecta a los órganos, también es preciso decir qué órganos se contemplarán para el sistema experto. Sólo se incluirán aquellos órganos que cumplan con los siguientes puntos:

- 1) Los órganos que se encuentren en los sistemas anteriormente especificados.
- 2) Las partes que constituyan a un determinado sistema y que cumplan con el concepto de órgano ya citado.

- 3) Los órganos que estén compuesto de órganos y que cumplan con el primer punto.
- 4) En determinado momento se podrían considerar órganos que no estén compuesto de órganos y que cumplan con el primer punto.

En contraparte se tiene que:

- 1) No se considerarán aquellas partes de los sistemas que más que ser un órgano son un tejido específico del cuerpo humano, articulación, vasos o conductos membranosos incluyendo algunas partes del sistema nervioso.
- 2) No se considerarán aquellas partes que puedan ser órganos pero que estrictamente no pertenezcan a un sistema o aparato específico, por ejemplo las extremidades.
- 3) No se considerarán en todos los casos aquellos órganos que su estudio sea muy minucioso o que la ciencia del cuerpo humano no lo haya especificado claramente, como es el caso del cuerpo o glándula pineal, a excepción del timo.
- 4) No se considerarán órganos que estén dentro de un mismo sistema y que su estudio es particular o característico como son las glándulas exocrinas.
- 5) No se considerarán aquellos órganos o partes en la que su estructura sea la misma a otros, con excepción, sólo aquellos que estén definidos en los sistemas citados.
- 6) No se considerarán aquellos órganos que se refieran más específicamente a una parte de un órgano y que su estudio sea específico del órgano al que pertenecen, como por ejemplo los alvéolos, los bronquiolos, los bronquios, el tálamo, la córnea, la cóclea, etc..

Además, es importante señalar que existen dos tipos de órganos que tampoco serán considerados como tal, estos órganos son los músculos¹⁴ y los huesos¹⁵. Ya que tanto los músculos y los huesos forman un número considerable de órganos en la anatomía del cuerpo humano, únicamente se presentarán como parte del sistema muscular y sistema óseo respectivamente.

Al considerar las anteriores especificaciones, las ventajas serían las siguientes: desde el punto de vista del diseño del sistema, no se manejarán reglas en exceso, se podrá controlar de alguna manera el conocimiento con la finalidad de evitar ambigüedades entre reglas, la información de la base de conocimiento podría ser bastante preciso, así como los resultados. Desde el punto de vista funcional, el conocimiento es divergente dentro de un mismo dominio lo que permite presentar un prototipo con características de inteligencia, el ámbito de los datos es adecuado para los niveles primaria, secundaria e incluso bachillerato, sin presentar terminología que requiera de un nivel muy alto de abstracción, para los neófitos en anatomía resultaría de mucha utilidad ya sea como material didáctico, de apoyo o como entretenimiento.

Reunir todo el conocimiento sobre el dominio especificado o sobre algún órgano es una labor difícil. Si existe algún órgano no incluido en la base de conocimiento, BACO debe ser capaz de sugerir una solución, avisar de que el órgano no cumple con ciertas características, o aprender cuando la información requerida no se encuentra en su base de conocimiento.

¹⁴ Los músculos son órganos formados de fibras con la propiedad de contraerse, pueden ser lisos, estriados, cardiacos. Su área de estudio es la miología [Rouvière y Delmos, 1987].

¹⁵ Los huesos son un tipo especial de órganos blanquecinos y duros que pueden ser compactos o esponjosos o por su forma largos, planos y cortos. La ciencia que los estudia es la osteología [Higashida, 1996].

3.2.4 Extracción del conocimiento para el Sistema Experto

La recopilación de la información que utilizará el SE para realizar inferencia, es la base de su conocimiento. A continuación se presentan los detalles que debe reunir el sistema experto.

Empezar a comprender las partes del cuerpo humano a un nivel básico es fundamental. La comprensión de dichas partes sobre el cuerpo ayudarán a formar un primer plano sobre lo que tendrá en un inicio el SE, así como para identificar aquellos puntos que sean necesarios de agregar. La Figura 3.1 presenta al cuerpo humano como un conjunto de sistemas, órganos y ejemplos de ellos como parte general de la creación de este prototipo. Se observa que del cuerpo humano se derivan ciertas partes y como elementos finales se encuentran los órganos, también se podría iniciar con los órganos y culminar con el cuerpo humano. Ambas partes o extremos se interrelacionan a través de los aparatos o sistemas, por lo que los sistemas serán una parte esencial de agregar a la base de conocimiento.

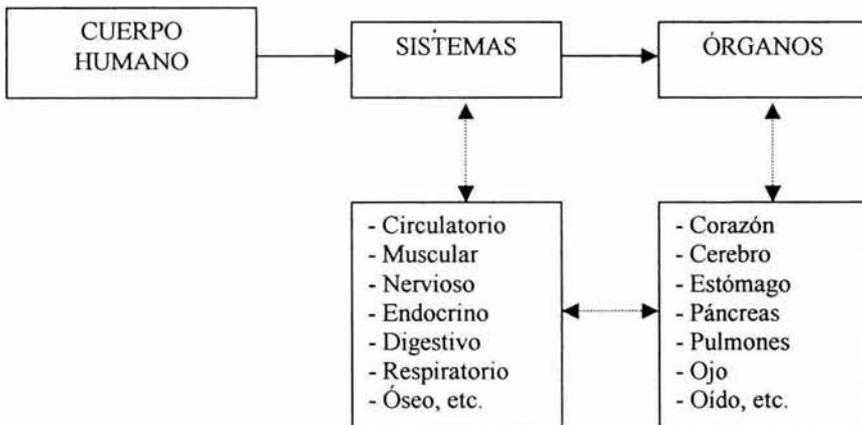


Figura 3.1 El cuerpo humano visto como un conjunto de sistemas y órganos.

De esta manera y según la figura pasada, los conceptos de *órgano* y *sistema* están muy relacionados: *órgano* es el conjunto de tejidos que tienen una función específica y *sistema* es el conjunto de órganos que contribuyen a un mismo fin funcional. Hasta este punto, se han especificado algunos elementos claves del problema, desde qué plano se visualiza para su estudio así como aquellos conceptos que son fundamentales para el sistema.

La anatomía humana estudia la conformación y la estructura del cuerpo humano. Para describir la parte de la adquisición del conocimiento en lo que respecta a BACO, sólo se hace referencia a la anatomía descriptiva, topográfica y funcional enfocada a los sistemas y órganos. La anatomía como rama de la biología estudia a los seres vivos, por lo que no se expondrá todo lo referente al cuerpo humano, sólo la información que se utilizará para construir el sistema experto.

El estudio morfológico del cuerpo humano se ha efectuado con base al conocimiento de los aparatos y órganos. La Tabla 3.2 presenta una clasificación que resume los intentos por englobar los componentes del cuerpo humano. El sistema experto BACO se basa en esta clasificación.

Tabla 3.2 Clasificación de los aparatos o sistemas del cuerpo humano.

Aparato de relación	Aparato de la Locomoción	<ul style="list-style-type: none"> { Sistema óseo { Sistema articular { Sistema muscular 	
	Sistema nervioso (Ap. de la inervación)	<ul style="list-style-type: none"> { Sistema nervioso Cerebroespinal o de la vida de rel. { Sistema nervioso Autónomo u organovegetativo 	<ul style="list-style-type: none"> { Sistema nervioso central { Sistema nervioso periférico { Simpático { Parasimpático
	Sistema endocrino		
	Aparato de la fonación		
	Aparato sensorial (Org. de los sentidos)	<ul style="list-style-type: none"> { Sensibilidad externa { Sensibilidad profunda 	<ul style="list-style-type: none"> { Tacto { Olfato { Audición { Visión { Gusto { Equilibrio { Cinestésico
Aparato de la nutrición	Aparato digestivo	<ul style="list-style-type: none"> { Tubo digestivo { Órganos anexos 	<ul style="list-style-type: none"> { Dientes { Glándulas salivales { Hígado y vías biliares { Páncreas
	Aparato respiratorio		
	Aparato circulatorio	<ul style="list-style-type: none"> { Central(corazón) { Periférico 	<ul style="list-style-type: none"> { Arterias { Venas
	Sistema reticuloendotelial		<ul style="list-style-type: none"> { Linfáticos
	Sistema hemopoyético	<ul style="list-style-type: none"> { Médula ósea { Bazo 	<ul style="list-style-type: none"> { Nodos { Vasos
	Aparato urinario		
Aparatos de la generación	<ul style="list-style-type: none"> { Genital masculino { Genital femenino 		

Para hacer más evidente la identificación de los órganos, hay que considerar que todo órgano se compone de células, cualquier cosa que no tenga células no se considera en un principio órgano o tejido. La célula es la unidad morfológica más pequeña con capacidad de vida propia. Así, las células se organizan para integrar tejidos y los tejidos en órganos y éstos en aparatos o sistemas. Dicho lo anterior, se obtienen las siguientes relaciones:

Cuerpo humano. Conjunto de sistemas
Sistemas/Aparatos. Conjunto de órganos
Órganos. Conjunto de tejidos
Tejidos. Conjunto de células
Celulas. Parte esencial de todo ser vivo, el cuerpo humano se forma de células

Estas relaciones son importantes para identificar sistemas, órganos, etc.. Se aclara que los tejidos no forman parte de BACO, únicamente se mencionan como parte de la estructura de los órganos. En el siguiente capítulo se visualizan estas relaciones en las redes semánticas.

La Figura 3.2 muestra la estructura de los aparatos urinario y endocrino. La Figura 3.3 describe la estructura del oído, la laringe y el corazón. Además, se citan los sistemas o aparatos con sus respectivos órganos a incluir en el diseño, desarrollo e implementación. Para conocer más de la estructura de los órganos dirigirse al anexo I al final de este trabajo.

Sistema endocrino.

Consta de las siguientes partes: la hipófisis, la tiroides, la paratiroides, las glándulas suprarrenales, el páncreas, los ovarios, los testículos, el hipotálamo y el timo.

Aparato reproductor.

Se divide en dos, el aparato reproductor masculino conformado por el epidídimo, la vejiga, la próstata, las vesículas seminales, los conductos deferentes, el pene, el escroto, la uretra, los testículos y los uréteres. El aparato reproductor femenino conformado por la vejiga, las trompas de Falopio, la vagina, los uréteres, el clitoris, la uretra, los ovarios, el útero o matriz.

Aparato urinario.

Está formado de las siguientes partes: el riñón, la vejiga, la uretra y los uréteres.

Aparato digestivo.

Está constituido por la epiglotis, el esófago, la tráquea, el hígado, la vesícula biliar, el páncreas, el intestino grueso, el intestino delgado, la apéndice, el diafragma, el bazo, el estómago, la boca, las parótidas, el recto y el duodeno.

Aparato respiratorio.

Lo forman las siguientes partes: la epiglotis, la tráquea, la laringe, la nariz, los pulmones, el diafragma, la faringe y las fosas nasales.

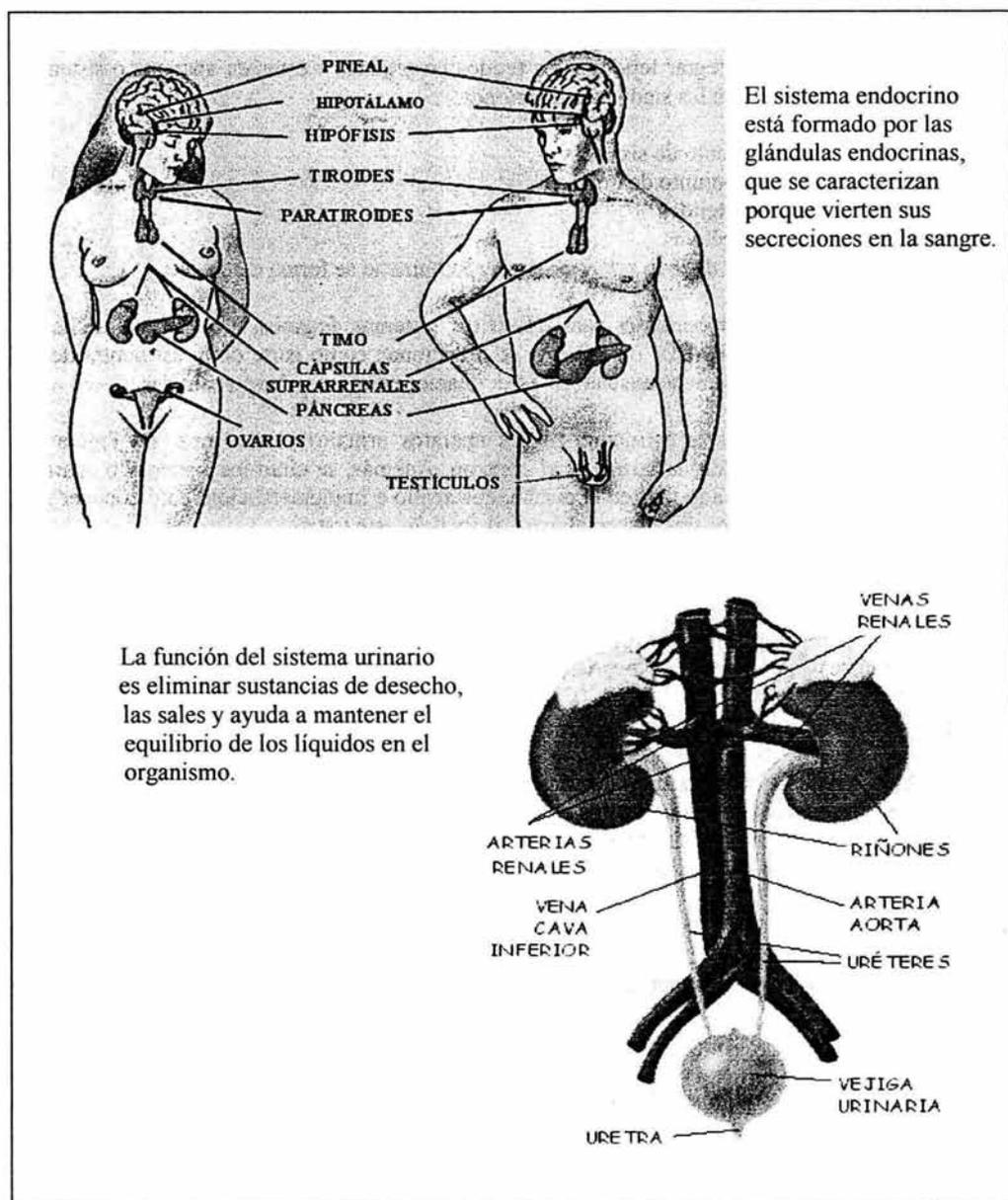


Figura 3.2 Estructura y función del sistema endocrino y urinario.

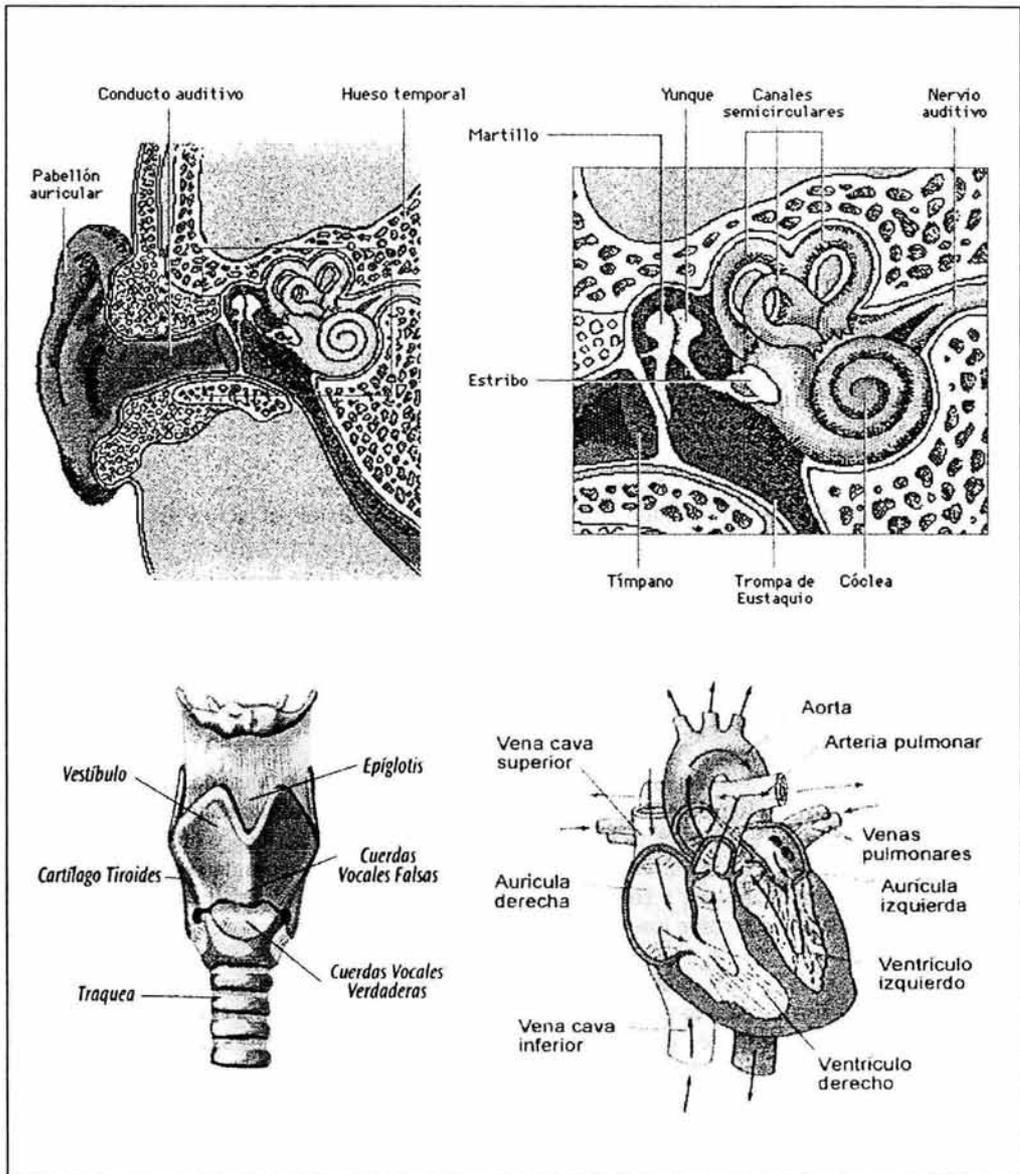


Figura 3.3 Estructura del oído, la laringe y el corazón.

Sistema óseo.

Está formado por los huesos.

Sistema nervioso.

Consta de las siguientes partes: el cerebro, la hipófisis, el cerebelo, la médula espinal y las meninges.

Sistema muscular.

Está formado por los músculos.

Aparato circulatorio.

En este aparato sólo se considerará el corazón.

Aparato sensorial

Este aparato lo forman los sentidos: la vista, el olfato, la audición, el tacto y el gusto.

Hasta aquí se han especificados los órganos del SE. No hay que olvidar que lo anterior es el proceso que debe seguirse en la fase de identificación y conceptualización de la aplicación, según las etapas de la adquisición del conocimiento vistos en el capítulo 2.

3.2.5 Factibilidad

Refiriéndose a la factibilidad técnica, hoy en día se cuenta con una gran variedad de herramientas que facilitan la construcción de sistemas expertos. El lenguaje de programación y el equipo de cómputo a utilizar, debe tener la capacidad de soportar los datos requeridos y ofrecer garantía de exactitud, confiabilidad y facilidad de acceso a la información. Por lo tanto, la factibilidad técnica está relacionada con el hardware y software que se utilizarán para el desarrollo de BACO, por lo que los detalles sobre la selección estos elementos se exponen en el siguiente subtema.

En cuanto a la factibilidad operacional, cuando el SE esté en marcha, debe ser lo suficientemente amigable para que los usuarios no requieran de capacitación exhaustiva ni tediosa. Además, los resultados que el usuario obtendrá de BACO, será a través de una interacción conversacional hombre-máquina y viceversa, ya que el usuario introducirá cierta información de los órganos (de acuerdo a un formato establecido que el sistema interpretará y que se le dará a conocer al usuario) y el sistema lo procesará e inferirá el órgano relacionado con esa información, e incluso preguntará elementos adicionales que garanticen una solución exacta o muy aproximada. De esta forma, se pretende ampliar el conocimiento sobre los órganos del cuerpo humano.

3.3 Fase de Diseño del Sistema Experto BACO

El diseño del sistema experto se basa en el análisis desarrollado en el subtema anterior, en seguida se justifica la selección de requerimientos.

3.3.1 Selección de hardware y software

Otro aspecto dentro del proceso de creación de este sistema experto es elegir el hardware y software adecuado para la aplicación. Existen muchos lenguajes y existen diversos recursos computacionales para implementar sistemas, pero la buena funcionalidad del sistema dependerá en gran medida de aquellas herramientas que se tengan en mano.

Los avances tecnológicos también han proporcionado herramientas útiles para crear sistema cada vez mas atractivos. Los aspectos a considerar sobre el hardware y software en BACO es una selección de tecnología que ofrece ciertas ventajas que ayudarán para su elaboración.

Software

Existen diversos lenguajes para la programación de sistema, por ejemplo el lenguaje C, C++, LISP, PROLOG, etc.. Pero los más recomendados para programar sistemas relacionados con Inteligencia Artificial son los lenguajes lógicos, como PROLOG y los lenguajes funcionales como LISP.

Para el sistema experto BACO se utilizará PROLOG ya que es un lenguaje conversacional, lo que significa que el usuario y la computadora pueden entablar una conversación. En general la programación en PROLOG consiste en:

- Declarar algunos hechos sobre los objetos y sus relaciones.
- Definir algunas reglas sobre los objetos y sus relaciones.
- Realizar preguntas sobre esos objetos y relaciones.

Existen numerosas versiones de PROLOG, por ejemplo, PROLOG 86, PROLOG 1 y 2, Turbo PROLOG, Micro-PROLOG, Sigma PROLOG, PROLOG/P, Visual PROLOG, etc..

Para desarrollar el sistema se puede usar cualquiera de las versiones anteriores. Aquí se usará Visual PROLOG en su versión 5.2, que cuenta con un entorno visual de desarrollo (VDE).

A continuación se especificarán algunas características que se consideraron para escoger a este lenguaje para el desarrollo e implementación de este sistema experto:

- Primeramente, es un lenguaje lógico y que por sus características (maneja problemas lógicos, permite tomar decisiones, permite la inferencia, etc.) es apropiado para crear sistemas expertos.
- El programa se ejecuta en una PC con sistema operativo Windows.
- Si se desea aprovechar las características gráficas como la del sistema operativo Windows, Visual PROLOG cuenta con las herramientas para crear una interfaz gráfica.

- Con Visual PROLOG es permisible crear proyectos y no únicamente programas individuales.
- Visual PROGLOG cuenta con las mismas herramientas que las otras versiones a excepción de algunos operadores que son distintos.

Las características que presentó la programación lógica durante sus inicios, hizo que este tipo de programación fuese escogida como un lenguaje idóneo para crear sistemas expertos.

Hardware

En cuanto al hardware y considerando algunos aspectos del software, el programa se implementará utilizando el siguiente equipo de cómputo:

- Una computado personal con sistema operativo Windows.
- Un procesador Intel Pentium, en este caso un Pentium III.
- En cuanto a la memoria RAM, se recomienda como mínimo 64 Megas.
- La velocidad de procesamiento y utilizando un Pentium III es de 560 Mhz.

Existen otros equipos de cómputo disponibles, por ejemplo, las Silicon Graphics, las de Sun Microsystem con sistema operativo Unix, las Macintosh, pero que son en su mayoría equipos más costosos que las computadoras personales. Los equipos ya mencionados se crearon con una finalidad, para trabajar gráficos, problemas en tiempo real, etc. y existen muy pocas versiones de PROLOG para estas plataformas, además, las primeras versiones de PROLOG se crearon para trabajar en un ambiente de microcomputadoras lo que hace más fácil la obtención de una versión de este lenguaje para las PC's.

Estos son los aspectos considerados para iniciar la implementación del sistema experto. En seguida se pasará al diseño conceptual.

3.3.2 Diseño conceptual

El diseño conceptual del SE BACO da una idea de cómo se ve, cómo resuelve los posibles problemas y en general la capacidad que tiene el programa. También ayuda a obtener información que pueda ser necesaria para la implementación del conocimiento o para algún diseño posterior.

Antes de iniciar con las especificaciones del diseño, hay que recordar que la creación de un SE requiere de pruebas consecutivas. La realización de un diseño conceptual, al menos para el sistema experto BACO, no es una fase de prueba y error, más bien se refiere a un proceso que plantea un esquema de lo que es el sistema experto.

Como en todo sistema experto y de información, la entrada y salida de datos, así como su procesamiento, requiere de un tratamiento particular dentro del diseño del software. En un principio, el sistema será capaz de aceptar cierta entrada de información, de procesar esa información apoyándose en una base de conocimiento la cual contiene la información que se ha recopilado durante el análisis. La verificación de esta información se realiza mediante un

mecanismo llamado inferencia el cual utiliza alguna metodología o modelo para ésta. El tipo de salida o solución depende en gran medida de las capacidades del sistema, es decir, de la base de conocimiento y del motor de inferencia. Este proceso se visualiza gráficamente en la Figura 3.4.

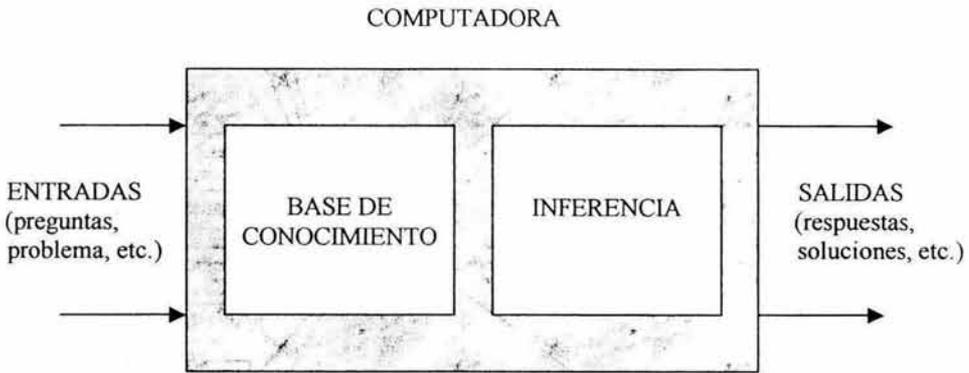


Figura 3.4 Inteligencia Artificial en un sistema de computadora.

La base de conocimiento contiene todo el conocimiento referente a las partes de los órganos. Así, si se da un conjunto de entradas sobre un cierto órgano, se infiere una determina salida de dicho órgano.

Para empezar a visualizar la relación existente entre los órganos y aparatos que tendrá el sistema experto, una forma de hacerlo es con una estructura de árbol, esto es, especificar cada uno de los elementos del sistema de tal manera que permita visualizar la dependencia y la interdependencia de los órganos del cuerpo humano. Esto se visualiza en el diagrama de árbol de las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7.

Según se podrá apreciar en tales figuras que, los nodos más inferiores del árbol están representados por todos los órganos del cuerpo humano que tiene el sistema experto, estos órganos forman parte de un aparato o sistema y que en conjunto forman el cuerpo humano que es el nodo padre del árbol. También se ve en estos diagramas que existen órganos que están repetidos pero que se ubican en diferentes sistemas, casos en los cuales el sistema experto tendrá que diferenciar entre uno y otro utilizando algún tipo de regla.

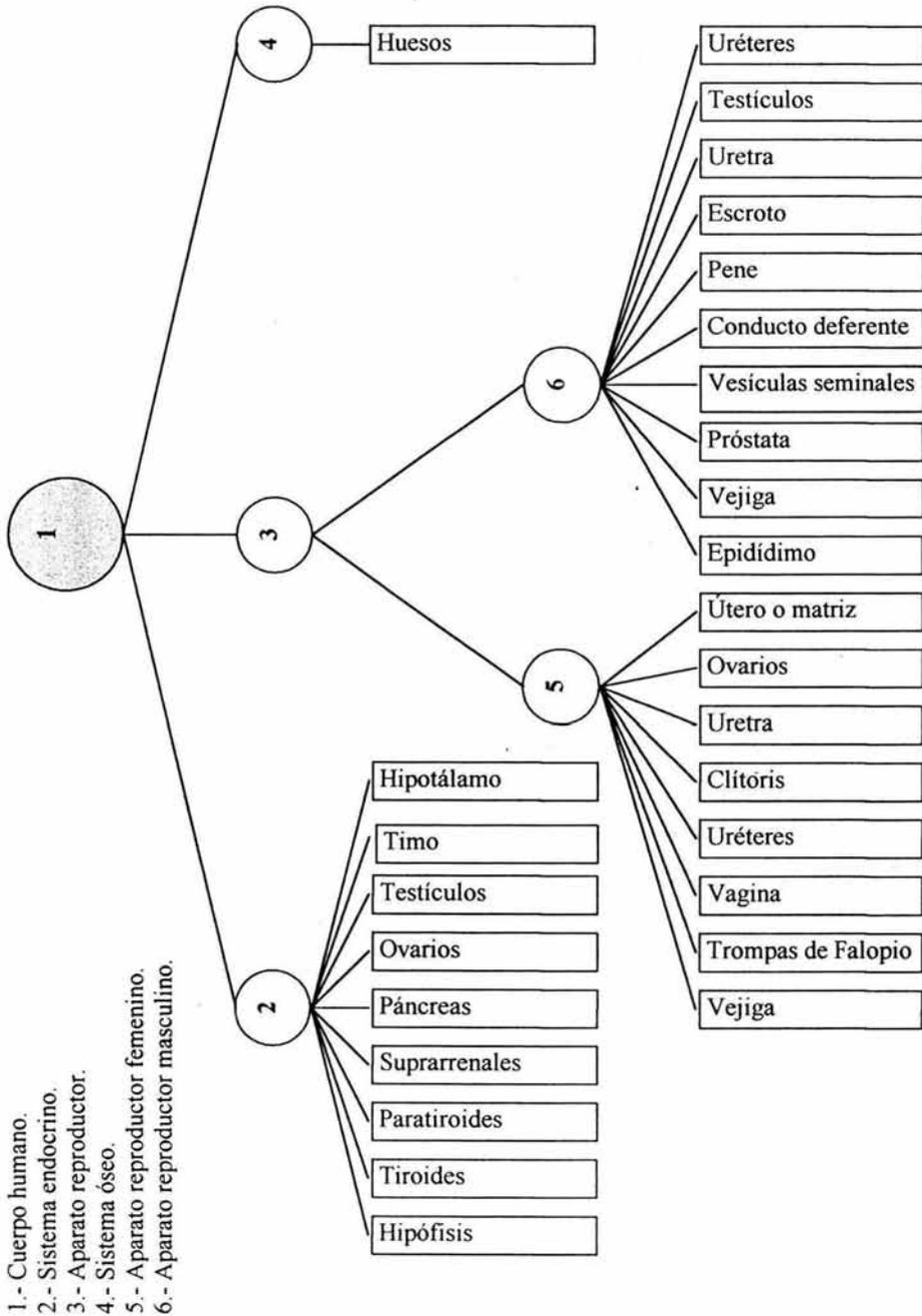


Figura 3.5 Diagrama de árbol del cuerpo humano (endocrino, reproductor, óseo).

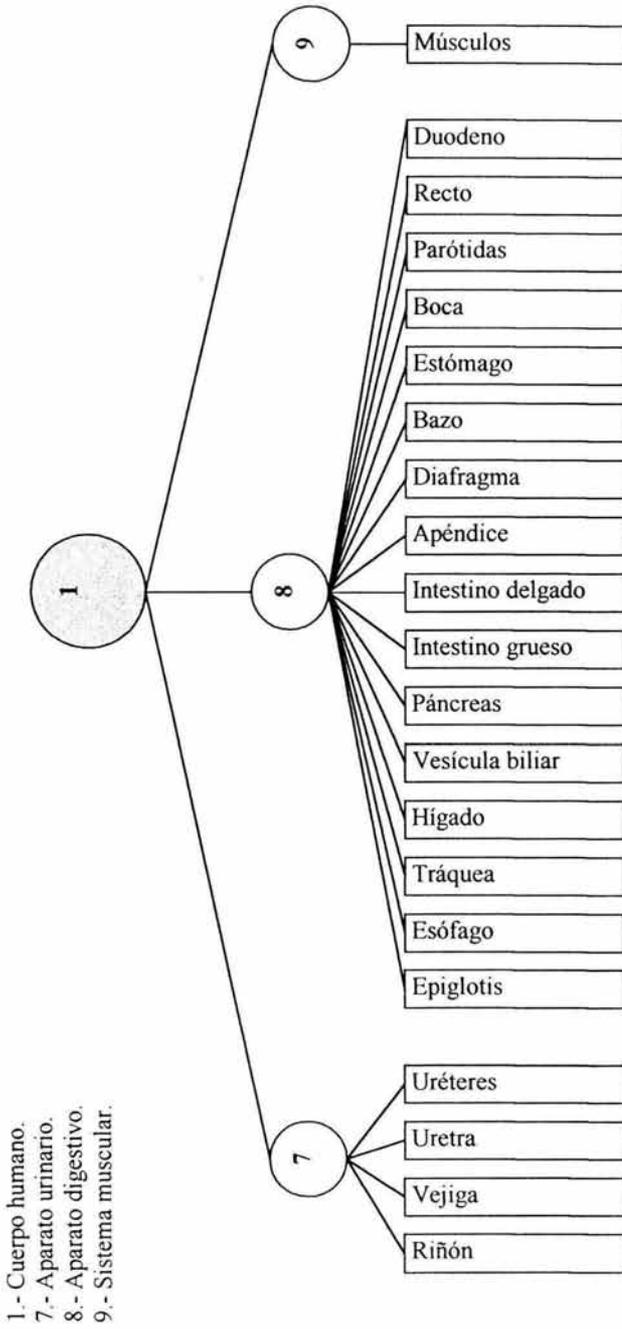


Figura 3.6 Diagrama de árbol del cuerpo humano (urinario, digestivo, muscular).

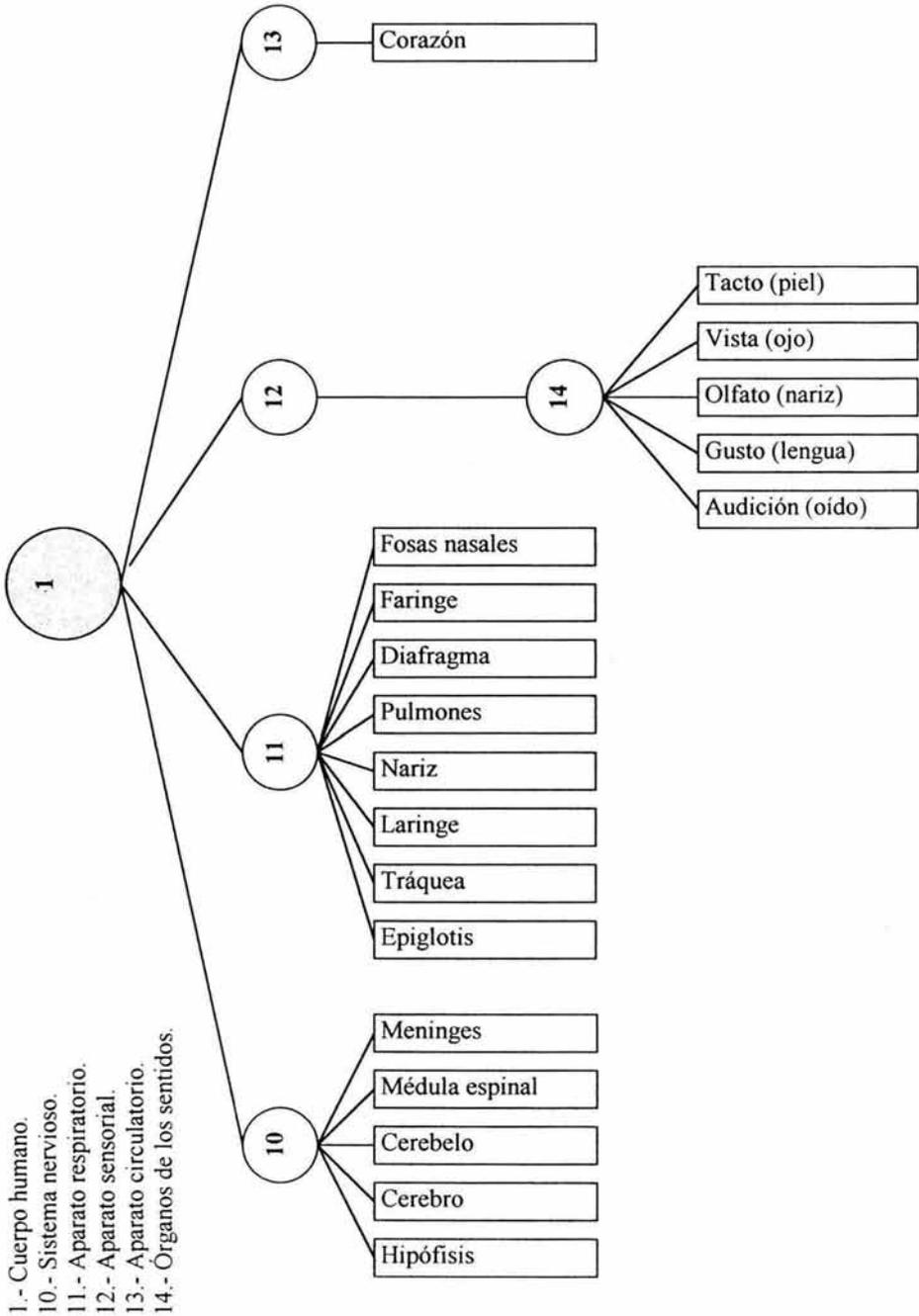


Figura 3.7 Diagrama de árbol del cuerpo humano (nerviosos, respiratorio, sensorio, circulatorio).

Las partes que ayudan a identificar cada uno de los órganos, aparatos o sistemas se especifica en una red semántica (capítulo 4). La Figura 3.8 presenta una forma para identificar un determinado órgano. Para que el sistema pueda concluir o verificar de qué órgano se trata, deben cumplirse algunas reglas, por ejemplo, si se dice que una entrada al sistema fue que tiene pericardio, tiene vena aorta podría concluirse que se trata del corazón si es que ya no se ha introducido más información.

- 1.- Cuerpo humano.
 - 2.- Aparato circulatorio.
 - 3.- Aparato sensorial.
 - 4.- Corazón.
 - 5.- Tacto o piel.
 - 6.- Olfato.
 - 7.- Gusto
 - 8.- Vista.
 - 9.- Audición.
-
- a.- Vena cava superior.
 - b.- Aurícula derecha.
 - c.- Vena cava inferior.
 - d.- Pericardio.
 - e.- Vena aorta.
 - f.- Aurícula izquierda.
 - g.- Ventrículo izquierdo.
 - h.- Ventrículo derecho.

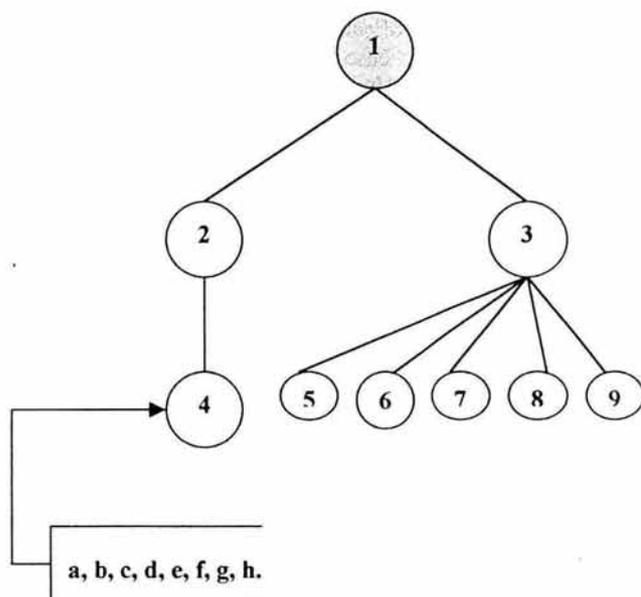


Figura 3.8 Diagrama de árbol para la identificación de un órgano.

El sistema experto BACO aplica la búsqueda en profundidad y en anchura a la solución de problemas. Para explicar ambos tipo de búsqueda se utilizará como referencia la Figura 3.9. Esta figura toma una parte del árbol general del sistema experto, por ejemplo, suponiendo que el objetivo es verificar qué órgano(s) tiene(n) una parte llamada cola. En una búsqueda en profundidad, BACO empieza en el nodo 1 y se desplaza hacia abajo con el nodo 2 (sistema endocrino) y examina todos los nodos que forman el sistema endocrino empezando por el de más a la derecha. El páncreas es un órgano que tiene una parte llamada cola según se aprecia en la figura con el símbolo de base de datos, BACO encuentra el primer objetivo y sigue buscando en todo el árbol para verificar si hay otro órgano con esa característica; después de haber recorrido el nodo 2 en profundidad se pasa al nodo 3 (aparato reproductor) y examina el nodo 5 (aparato reproductor femenino) y sus ramas (útero, ovarios, etc.). Posteriormente se pasa al nodo 6 (aparato reproductor masculino) y visita nuevamente el nodo más a la derecha (epididimo) y encuentra que este órgano también tiene una parte llamada cola. Del árbol analizado se obtiene que hay dos órganos con una

misma característica por lo que el SE guarda en su base de datos temporalmente ambos órganos para realizar alguna operación posterior con ellos. La búsqueda finaliza al examinar el último sistema de más a la derecha del árbol con sus respectivos órganos.

Ocurre el mismo caso con los órganos que tienen una parte llamada fondo. Si se considera ahora una búsqueda en anchura, BACO recorre el nodo 1, analiza las ramas de este nodo (nodo 2, 3 y 4), si no encuentra el objetivo en este nivel se pasa al nivel 2. Se empieza con el páncreas, la tiroides, etc.. El aparato reproductor femenino y masculino se analizan junto con los órganos del sistema endocrino y digestivo puesto que se encuentran en el mismo nivel (nivel 2). Siguiendo la búsqueda en anchura el SE encuentra el primer objetivo, el estómago (tiene una parte llamada fondo) y lo guarda en su base de datos, se sigue con el hígado, esófago, etc., hasta terminar la búsqueda en dicho nivel. Ahora se examina el nivel 3 empezando por el útero, los ovarios, etc., el útero también tiene una parte llamada fondo por lo que de igual manera se guarda temporalmente. La búsqueda ha encontrado dos objetivos diferentes que comparte una misma característica.

- 1.- Cuerpo humano.
- 2.- Sistema endocrino.
- 3.- Aparato reproductor.
- 4.- Aparato digestivo.
- 5.- Aparato reproductor femenino.
- 6.- Aparato reproductor masculino.

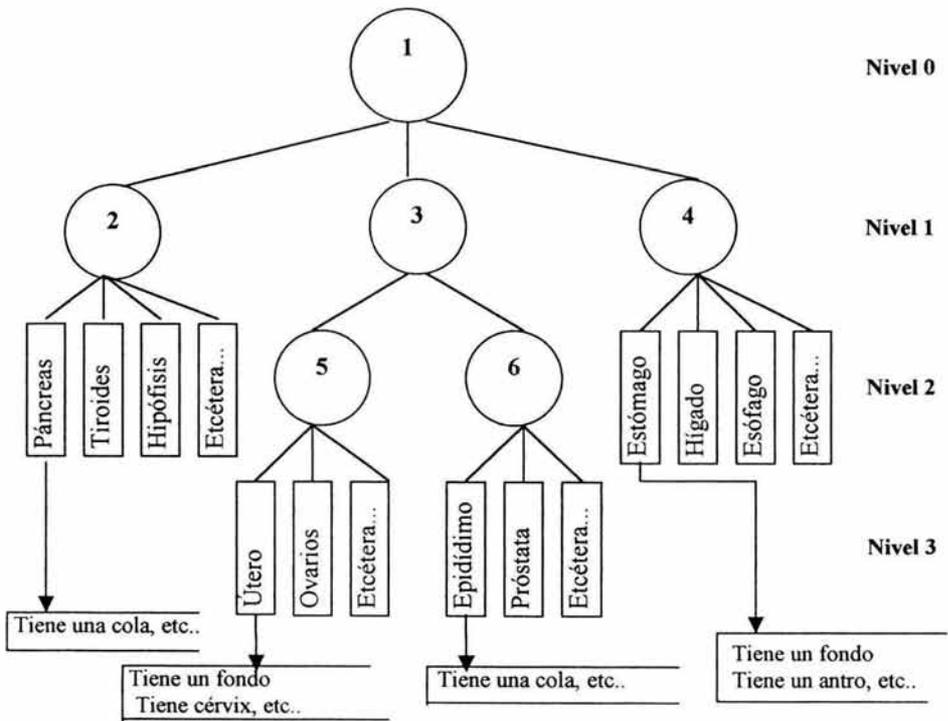


Figura 3.9 Ruta a un determina objetivo.

La importancia de recorrer todo el árbol es que puede existir más de un objetivo, por lo tanto la búsqueda no se detiene con el primero que encuentra. Si el usuario desea saber que órgano tiene un fondo, el sistema respondería que el estómago y el útero, y no solamente diría que el estómago (primer objetivo encontrado en la búsqueda en anchura) lo cual no es una respuesta muy completa. Si el objetivo fuera verificar qué órgano tiene cervix, únicamente guardaría el útero ya que no hay otro órgano con esa característica y la búsqueda de igual forma tendría éxito.

La relación que se pueda dar entre un conjunto de entradas y un posible resultado requiere de un proceso de búsqueda y encadenamiento de reglas. Si una de las entradas no es suficiente para obtener una conclusión, entonces se verifican las otras entradas o en su excepción se solicita información para volver a verificar las opciones que se tengan en la base de conocimiento. Por ejemplo, considérese la Figura 3.10. Si el nodo padre A representa la entrada de información y esta información es “*tiene glotis*” y se desea saber qué órgano es, entonces el sistema procederá de la siguiente manera: se recorre el árbol de izquierda a derecha y busca en su base de hechos los posibles órgano que tengan glotis, en este caso existen dos órganos, *la lengua y la laringe*. Como hasta este punto no se sabe de qué órgano se trata, entonces el sistema toma alguno de los dos órganos previamente identificados y procede a realizar una secuencia de preguntas, *¿tiene cartilago tiroideo?*, *¿tiene cartilago cricoideo?*, *¿tiene pliegue vestibular?*, etc. (para el caso de la laringe), *¿tiene úvula?*, *¿tiene tonsila?*, *¿tiene papila fungiforme?*, etc. (para el caso de la lengua). De esta forma se podrían obtener dos conclusiones básicas: que sea la lengua o la laringe o que sean ambos órganos.

Si el usuario niega completamente algunas de las partes del órgano, es decir, el sistema pregunta por ejemplo *¿tiene úvula?* y la respuesta es *no* entonces se descarta la posibilidad de que sea la lengua y como consecuencia toma el nodo derecho siguiente del árbol. Como el único órgano que queda es la laringe, BACO diría que posiblemente se trata de la laringe. El caso es similar cuando se niega alguna pregunta referente a la laringe, así la conclusión sería la lengua.

Existe la posibilidad que el usuario sólo sepa que el órgano tiene glotis y las preguntas hechas por el sistema experto se respondan con un “*no sé*”, en estos casos el sistema recorre el árbol (ver Figura 3.10) preguntando las características C1, C2 y C3 de la lengua, posteriormente se pasa con el nodo del siguiente órgano que es la laringe con sus características C4, C5 y C6. Como ya se dijo, las respuesta fueron *no sé*, el sistema no puede decidir entre uno u otro órgano. Con esta información BACO guarda en su base de hechos ambos órganos y responde diciendo que tal vez sea la laringe o la lengua. Si la lengua fuera el único órgano con glotis, al final BACO respondería únicamente con la lengua sin tener que hacer preguntas de otros órgano.

A.- Tiene glotis.

B1.- La lengua.

B2.- La laringe.

C1.- Tiene úvula.

C2.- Tiene tonsila.

C3.- Tiene papila fungiforme.

C4.- Tiene cartilago tiroideo.

C5.- Tiene cartilago cricoideo.

C6.- Tiene pliegue vestibular.

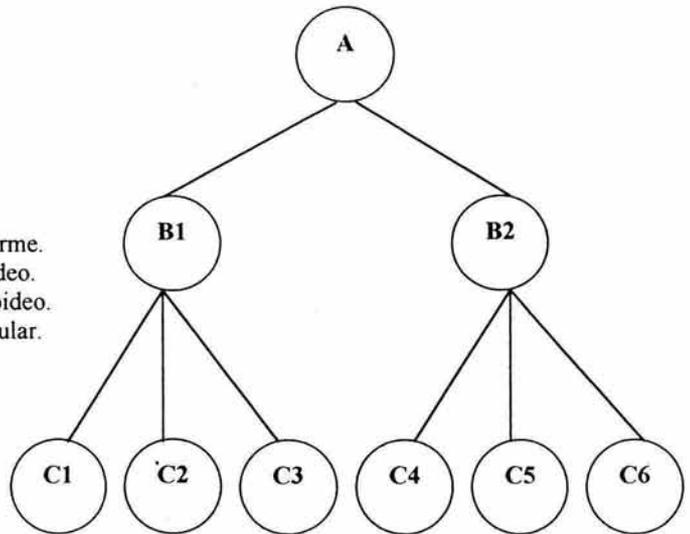


Figura 3.10 Ruta para obtener una conclusión a partir de un hecho inicial (tiene glotis).

Otro caso es cuando el usuario desea averiguar si determinada parte constituye al cuerpo humano o si un órgano tiene determinada estructura. Por ejemplo, se desea saber si el *corazón es parte de algo* o si *la boca tiene dientes*. Haciendo un recorrido ya sea en profundidad o en anchura el sistema obtiene el objetivo de la siguiente forma: Tomando en cuenta el árbol de la Figura 3.11 y considerando una búsqueda en anchura, BACO empieza por el nodo A de izquierda a derecha, hacia abajo y busca el objetivo *corazón*. Cuando analiza el nodo A, guarda la información del nodo del cual se deriva A, en este caso sería un nodo vacío, si no encuentra el objetivo en B1 y B2 pasa a los nodos del último nivel (nivel 2). Ya habiendo examinado A, B1 y B2 llega al nodo C1 (corazón) que es el objetivo y como consecuencia tiene guardado lo que está en B1 (por ser C1 una rama de B1). Por último, como sólo se desea saber si el corazón es parte de algo, es suficiente con encontrar al menos un objetivo por lo que BACO respondería que el corazón es parte del cuerpo humano ya que pertenece al aparato circulatorio.

Ahora para verificar si la boca tiene dientes, se procede exactamente igual al caso anterior. Busca en la base de hechos el órgano que *tiene dientes*, hace el mismo recorrido que con el corazón y una vez encontrado el objetivo aplica el mismo proceso que de la Figura 3.10 de la lengua y la laringe, excepto que en esta ocasión el SE no pregunta información adicional ya que sólo desea probar una entrada.

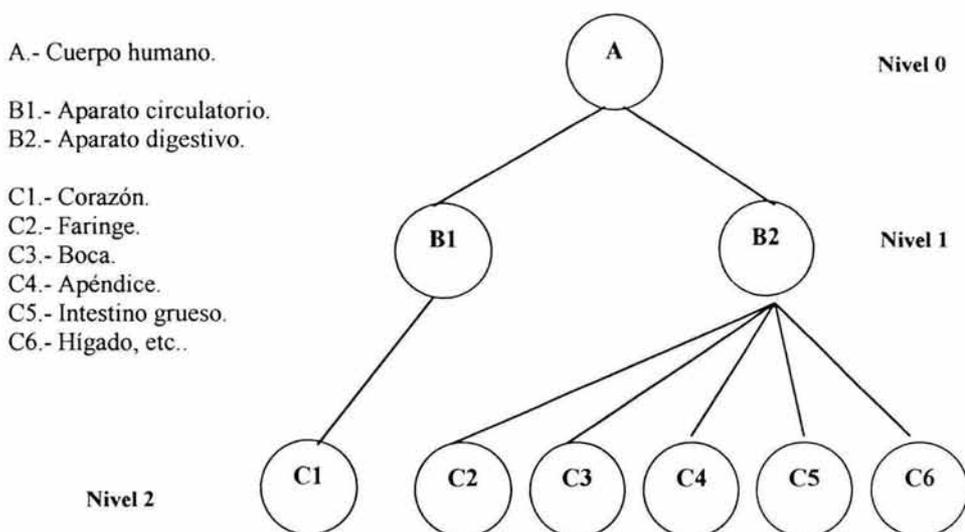


Figura 3.11 Ruta para verificar la estructura de un determinado órgano.

De las figuras 3.10 y 3.11, los nodos con las letras B1, B2, C1, C2, C3, C4, C5 y C6 forman la base de conocimiento y de hechos del sistema experto.

Hay que notar que si estos procesos (Figuras 3.10 y 3.11) se aplican a los siguientes casos: *tiene glotis* (averiguar un determinado órgano), *la boca tiene dientes* (verificar una entrada), pues es de igual manera aplicable para los casos *se constituye de la faringe* o *lo forma el corazón* que se refiere ya no a los órganos sino a los sistemas del cuerpo humano. Así, si el usuario pregunta *¿a qué parte constituye el corazón?*, BACO respondería *tal vez sea el aparato circulatorio*.

Con este diseño, se espera que el sistema manipule las opciones que incluso no estén contempladas en la base de conocimiento, si se aplica adecuadamente el modelo para realizar la inferencia con los datos que el usuario introduzca y siguiendo los modelos de las figuras pasadas, cuando no exista la parte u órgano en su base de conocimiento, el sistema agregará el nuevo dato a su base de aprendizaje (base de hechos) y podrá utilizarla posteriormente. Así, siempre existirá un objetivo final que será verificado con un conjunto de datos previamente almacenados.

Bajo estos esquemas, el sistema experto realiza tres pasos importantes:

- **Definición:** El usuario introduce la información, de acuerdo a un formato de entrada que deberá saber y que el sistema interpretará posteriormente.
- **Razonamiento:** Aquí las comparaciones entre las entradas y la base de conocimiento son evaluadas, el proceso de inferencia es fundamental en este paso. La búsqueda del dato

que se ajuste más a una solución está directamente relacionado con la capacidad que tenga el sistema para realizar la inferencia.

- **Presentación:** De la evaluación obtenida para alcanzar una solución, el último paso es mostrar o recomendar una solución que es presentada textualmente al usuario.

En el capítulo 1 se trató la teoría sobre la base de conocimiento, el motor de inferencia, la interfaz de usuario, etc.. Cada uno de ellos tiene una función específica que hace que el sistema experto BACO funcione de manera inteligente. Así, la interfaz de usuario permite interactuar con el sistema. El motor de inferencia se representa o se implementa con los modelos ya conocidos como encadenamiento hacia adelante y hacia atrás y, por último, la base de conocimiento que contiene las reglas y los hechos (Figura 3.12).

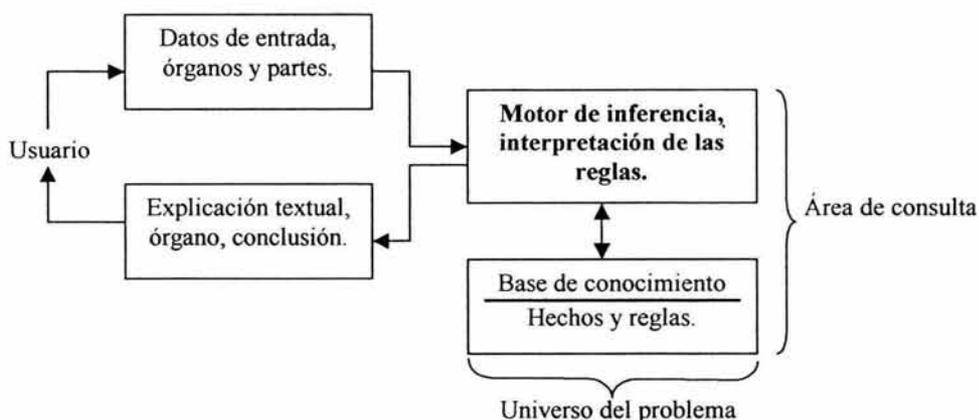


Figura 3.12 Esquema de las partes del sistema experto BACO.

En la Figura 3.12, la base de hechos está vacía o tiene sólo información que ha introducido el usuario, y conforme se hagan consultas al sistema se irá ampliando; no es una base de reglas, es mas que nada una memoria de trabajo que va guardando cadenas de información para que posteriormente se puedan obtener otras conclusiones. El proceso de realizar una consulta en el sistema experto es repetitivo, es decir, se introduce información (el usuario pregunta sobre algún órgano o parte de él) y se genera una posible respuesta (o el sistema le pregunta al usuario). Este proceso se repite hasta que el usuario obtenga una solución. La base de conocimiento también es de gran importancia, en esta parte se especifica tanto el conocimiento como las reglas de inferencia que el sistema utiliza.

Si se considera que las reglas tienen una condición y terminan en una conclusión, habría que tomar en cuenta los conceptos y elementos vistos durante las primeras fases de la adquisición del conocimiento para este sistema, el cual presentó la siguiente relación: el cuerpo humano está constituido por aparatos o sistemas, los sistemas a su vez de órganos y los órganos de partes

específicas, como: tejidos, músculos, células o incluso de otros órganos de menor tamaño. Por ejemplo, tratándose de reglas de producción:

SI tiene oído, nariz, ojo ENTONCES podría tratarse de los órganos de los sentidos, del aparato sensorial o incluso del cuerpo humano.

SI tiene cristalino, iris ENTONCES es el ojo.

De esta manera se podrían implementar reglas que consideren lo siguiente:

1. Empezar por el cuerpo humano y averiguar los sistemas que éste tiene.
2. Empezar por el cuerpo humano y averiguar los órganos principales que éste tiene.
3. Empezar por un sistema o aparato y averiguar que órganos le pertenecen.
4. Empezar por un sistema o aparato y averiguar las partes o estructura del órgano perteneciente a dicho sistema o aparato.
5. Empezar por alguna de las estructuras de un órgano y averiguar a qué órgano le pertenece.
6. Empezar por alguna de las estructuras de un órgano y averiguar en último caso si es que es parte del cuerpo humano.

Otra forma de visualizar los resultados que proporciona el sistema es utilizando premisas o proposiciones lógicas.

Expresión A: El corazón constituye al aparato circulatorio.

Expresión B: El aparato circulatorio es parte del cuerpo humano.

Conclusión C: El corazón es parte del cuerpo humano.

Expresión A: El corazón tiene aurícula derecha.

Expresión B: El corazón tiene ventrículo derecho.

Conclusión C: El corazón tiene aurícula derecha y ventrículo derecho.

De esta manera se estructuran proposiciones que permitan crear reglas para realizar inferencia. Con las reglas se pueden evaluar las proposiciones para ver si son falsas o verdaderas.

Así, por ejemplo si se cumple que el razonamiento lógico da como conclusión el corazón entonces se puede formular una regla de producción de la siguiente forma:

SI la conclusión es el corazón ENTONCES preguntar si se desea hacer otra operación.

En este caso se habla de reglas de inferencia o también conocidas como metareglas. Las reglas del sistema experto son tratadas en el siguiente capítulo ya que forman parte de la representación e implementación del conocimiento.

Las decisiones tomadas para alcanzar objetivos específicos dependen de las condiciones que prevalezcan en la base de conocimiento, el motor de inferencia y muchas veces de la base de hechos. La naturaleza de las soluciones del sistema también depende de las acciones que sean implementadas.

Interfaz usuario-sistema experto

El sistema experto BACO está formado por una interfaz gráfica para usuario creada en el lenguaje Visual PROLOG. Esta interfaz aloja toda la información relacionada con el sistema experto, introducción, indicaciones, ayuda, fecha de creación, etc..

Para que el usuario pueda obtener información sobre BACO, es necesario abrir esta interfaz. Toda la información sobre el sistema experto es accesada a través de menús los cuales invocan cuadros de diálogos o ventanas para mostrar la información. Los detalles sobre la forma en que aparecen tales controles (la interfaz, los menús, las ventanas, etc.) se exponen en el capítulo 4 en la sección del desarrollo del software.

Las partes que conforman dicha interfaz son: la barra de título que contiene el nombre del sistema experto y el logo del mismo incluyendo los botones para minimizar, maximizar y cerrar la aplicación. La siguiente parte es la barra de menús la cual muestra las cinco opciones que le permiten al usuario acceder a diferente tipo de información sobre BACO.

En cuanto a los menús, se tienen los siguientes: el menú *Principal*, que contiene una única opción que permite cerrar por completo la aplicación, también se termina la sesión con el botón *cerrar* de la parte superior derecha de la barra de título. El siguiente menú es *Baco* que despliega opciones que dan a conocer los fundamentos del sistema experto tales como qué es BACO, instrucciones de uso, acceso a la ventana de diálogo de BACO, etc.. Otro menú es *Window*, debido al lenguaje de programación, este menú se agrega automáticamente a la interfaz de usuario por lo que éste aparece en el idioma inglés.

Para aquellos interesados en los sistemas expertos, se ha agregado un menú que lleva por nombre *General*, el cual presenta información sobre la IA y los sistemas expertos. Por último se ha creado un menú *Ayuda*, éste describe la información sobre cómo se debe utilizar BACO; básicamente contiene la descripción de ejemplos que puedan orientar al usuario o algunas reglas estrictas que se deben tomar en cuenta para interactuar con el sistema.

Capítulo 4

Desarrollo e Implementación del Sistema Experto BACO

El desarrollo e implementación son las últimas fases de la construcción del sistema experto. La creación de la base de conocimiento está relacionada con la representación del conocimiento y la forma de realizar inferencia. Una vez capturada la información en la base de conocimiento según las especificaciones previas de hardware y software, se realizan algunas pruebas para asegurarse de que el software no tenga fallas o que los errores sean mínimos. Es decir, que funcione de acuerdo a las especificaciones del análisis y diseño. Como fase final se tiene la instalación y demostración del programa.

4.1 Fase de Desarrollo del Sistema Experto BACO

El desarrollo del sistema experto BACO se compone de la siguiente manera: primero, la construcción de la base de conocimiento, de acuerdo a la información que se recopiló de las fuentes bibliográficas y expertos, que posteriormente será transformada en expresiones e instrucciones de lenguaje de programación PROLOG, e interpretadas y ejecutadas por la computadora. Segundo, la justificación y validación de las reglas, con la finalidad de ver si dados los hechos iniciales las conclusiones de BACO coinciden con lo que el experto inferiría. También se decide si es necesario agregar más reglas o si hay que reorganizar el conocimiento.

4.1.1 Construcción de la base de conocimiento

Construir la base de conocimiento es identificar las entradas y salidas del sistema y aplicar algún modelo de representación. El propósito de esta representación es organizar el conocimiento para que el sistema pueda accederlo de forma rápida.

Los modelos de representación del conocimiento que se presentan para la fase de desarrollo del sistema experto son las redes semánticas, las reglas de producción, los árboles de decisión y los frames, ya que son herramientas útiles en la organización y extracción de información.

Las redes semánticas del sistema experto BACO representan el conocimiento de los órganos del cuerpo humano, al mismo tiempo permiten visualizar las relaciones entre los objetos (órganos). A través de estas redes semánticas es sencillo observar la necesidad de agregar, modificar o borrar algún objeto, según convenga al momento de introducir el conocimiento a Visual PROLOG. También ayudan para realizar inferencia entre los diferentes elementos de la red o entre las jerarquías de los objetos.

Los nodos (llamados objetos o hechos) están relacionados por medio de arcos (relaciones). Algunas de las relaciones entre objetos la red semántica de este sistema son:

El cuerpo humano está-formado-de sistemas.

El cuerpo humano se-compone-del aparato, digestivo, respiratorio, endocrino, etc..

El sistema muscular es-parte-del cuerpo humano.

El sistema nervioso está-compuesto-por el corazón.

El corazón tiene arteria aorta.

El ojo es-un órgano.

El aparato urinario está-formado-por el riñón, la vejiga, la uretra, los uréteres.

El páncreas es-parte-del sistema endocrino.

Una red semántica grande podría ocasionar algunos problemas para entender el conocimiento es su totalidad, por lo que es necesario fraccionar la red semántica del sistema experto. La Figura 4.1 muestra la red semántica general del sistema experto BACO, en ella se tienen algunas relaciones entre el cuerpo humano, los sistemas, los órganos y las partes de los órganos. De esta red se podrían obtener otras subredes que permiten ver otras subclases de objetos o relaciones que ayuden a responder preguntas acerca de los órganos.

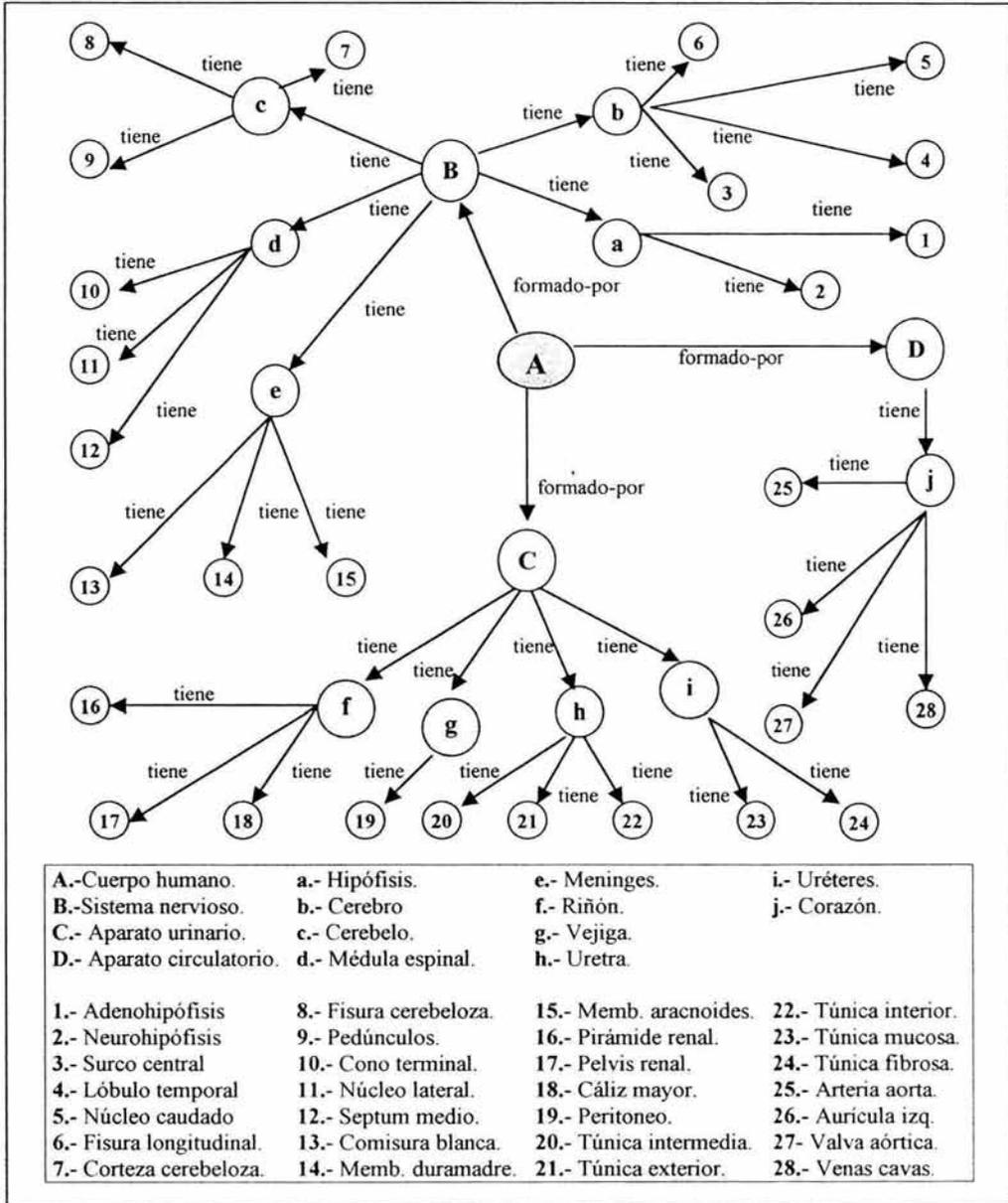


Figura 4.1 Red semántica general del cuerpo humano (sistema nervioso, urinario y circulatorio).

Una subred de la Figura 4.1, es la Figura 4.2, que muestra las relaciones entre algunos objetos del sistema BACO. Por ejemplo, *Sistema circulatorio* y *corazón* son objetos que se relacionan por *formando-por*. La red semántica muestra que el cuerpo humano está compuesto de sistemas y un sistema en consecuencia se forma de órganos. De esta manera, se dice que el cuerpo humano se forma de órganos y sistemas. También es de asumir que el nodo *cuerpo humano* es el inicio de la red.

En tal figura sólo se describen las relaciones de algunos aparatos o sistemas; por el momento no se ha de mostrar en esta red los nombres de los órganos y las partes de los mismos ni la relación por ejemplo sistema circulatorio *constituye-el* cuerpo humano (caso inverso a cuerpo humano *está-compuesto-de-un* sistema circulatorio).

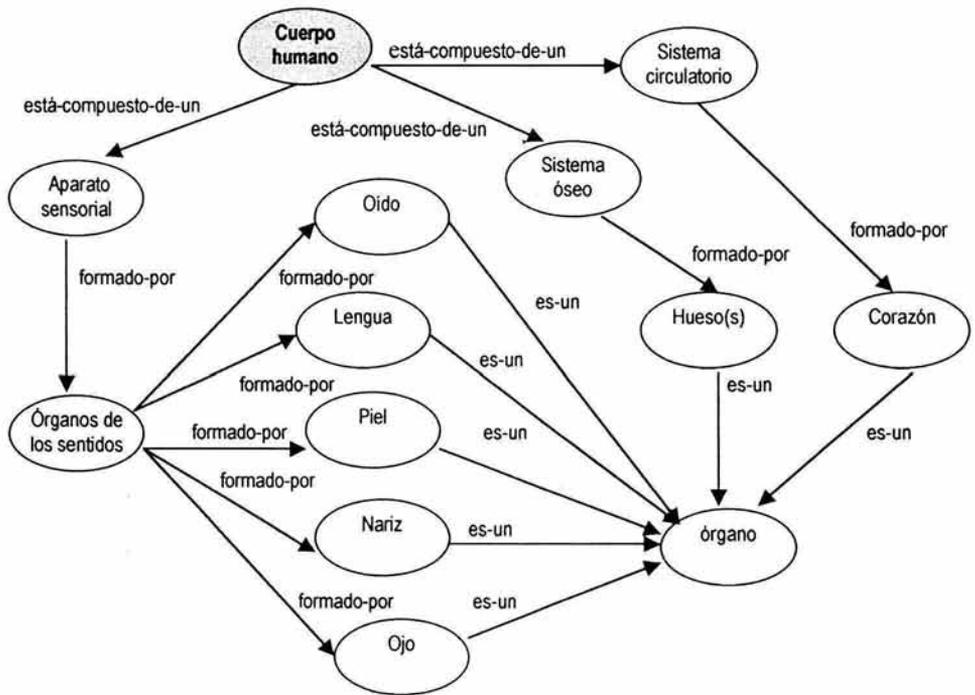


Figura 4.2 Red semántica de algunas relaciones entre sistemas y órganos.

Pasando a la estructura de los órganos del cuerpo humano, para crear la red semántica que empiece de las partes que forman un órgano hay que considerar dos aspectos: cuando el usuario empieza por introducir algunos hechos iniciales, propone una hipótesis y el sistema la verifica si es falsa o verdadera (Figura 4.3), y la otra cuando da algunos hechos iniciales y el sistema proporciona una conclusión, es decir, propone alguna parte específica del cuerpo (Figura 4.4).

La siguiente red semántica (Figura 4.3) muestra la composición del cuerpo humano a partir de los aparatos, órganos y sus partes. Según las relaciones (arcos) y los objetos o nodos, el cuerpo humano está integrado de ciertos aparatos cuyas partes resultan ser órganos del cuerpo humano. Por ejemplo, el sistema circulatorio lo forma el corazón que es el único órgano de este sistema (para el caso de BACO), de manera que tanto el sistema circulatorio como el corazón forman al cuerpo humano.

Por otra parte, se visualiza que la red empieza con el nodo cuerpo humano y se extiende hasta algunas de las partes que forman un órgano. Se observa que en el aparato digestivo y en el respiratorio se encuentra la tráquea, la cual a su vez tiene las siguientes partes: herraduras cartilaginosas, cartilagos de la tráquea, entre otras partes. Así se podría verificar si la tráquea tiene, por ejemplo tejido muscular liso lo cual, siguiendo la red, es verdadero. Otro ejemplo es la del mismo cuerpo humano, si el usuario desea verificar si el cuerpo humano tiene dermis y pasando primero por aparato sensorial, órganos de los sentidos y piel se verifica que es cierto. Esta misma red responde al caso cuando se quiere conocer las partes de la piel, en cuya solución es: *tiene dermis, tiene epidermis*.

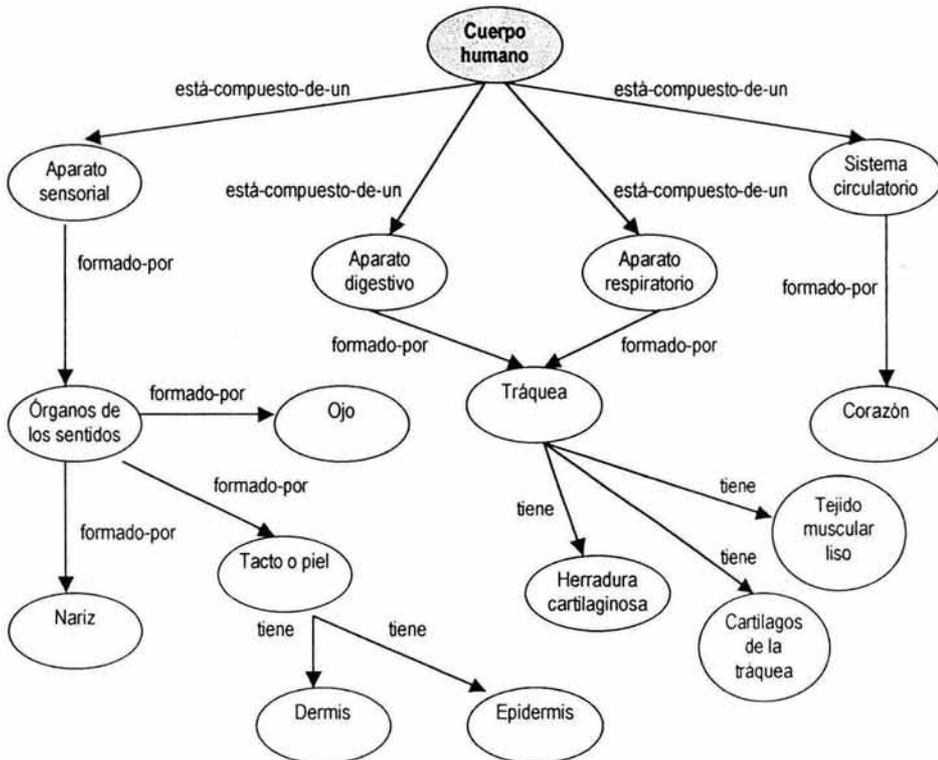


Figura 4.3 Red semántica para encontrar un determinado órgano.

Ahora considerando el aspecto contrario a la red de la Figura 4.2 y Figura 4.3, en la que el nodo cuerpo humano no es precisamente el inicio de la red. Para ello se tiene la siguiente red semántica (Figura 4.4). El usuario le interesa saber qué órgano tiene dermis, de acuerdo a la red el resultado es el tacto. Es el mismo caso para saber que parte tiene sistema circulatorio, aparato sensorial, etc., cuya respuesta es el cuerpo humano.

Suponiendo que *tonsilas linguales*, *amígdalas palatinas* y *amígdalas faríngeas* son las únicas partes de la faringe, el usuario desea saber que órgano tiene tonsila lingual y tiene tejido muscular (éste último no existe en la base de conocimiento), entonces BACO procede a preguntar las otras dos partes restantes para concluir en un órgano específico, en este caso la faringe. Si las redes semánticas ya citadas forman parte de la base de conocimiento y si hay un hecho inicial desconocido para el sistema como por ejemplo *tiene manos* que no es considerado en BACO (ver restricciones del sistema experto), entonces el sistema contestaría en un principio que no lo tiene registrado en su base de conocimiento.

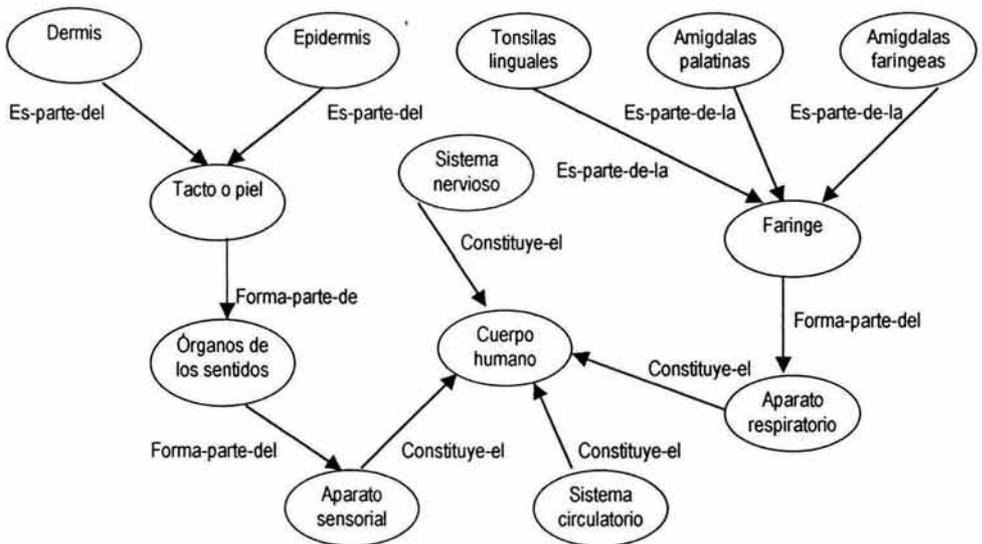


Figura 4.4 Red semántica para identificar órganos y sistemas a partir de hechos iniciales.

La creación de estas redes ayudan a definir algunas salidas y entradas del sistema. De esta manera, se obtiene que el usuario podría hacer las siguientes preguntas: ¿de qué partes está formado el corazón?, ¿a qué sistema o aparato pertenece el corazón?, ¿qué sistemas forman al cuerpo humano?, ¿qué órganos conforman el aparato sensorial?, ¿la piel tiene dermis?, entre otras.

Con las redes semánticas se identifican nuevos objetos (nodos) o incluso se eliminan aquellos que sean innecesarios en la programación, además ayudan en la creación de reglas que permiten realizar inferencia.

Ahora se procederá con algunas reglas de producción que representan parte del conocimiento que BACO utiliza. Las reglas de producción son esquemas comunes en la representación del conocimiento, proporcionan una manera formal de representar recomendaciones, directivas o estrategias. Para empezar a crear las reglas de producción del sistema, se utilizarán como apoyo las redes semánticas. Inicialmente se tienen algunas preguntas sobre los órganos, como son:

- 1.- ¿Cuáles son las partes del oído? (preguntas acerca de los órganos y sus partes).
- 2.- ¿El oído tiene cóclea? (verificar un órgano).
- 3.- ¿Qué órgano tiene tímpano y cóclea? (obtener una conclusión sobre un posible órgano)

Para las cuales se tiene las siguientes respuestas:

- 1.- Las partes del oído son el tímpano, el martillo, la cóclea, el yunque, la oreja, etc..
- 2.- La cóclea forma parte del oído.
- 3.- El órgano que tiene tímpano y cóclea es el oído.

Se tomarán estas preguntas y respuestas para iniciar la creación de las reglas de producción.

R1: SI es el oído
ENTONCES tiene tímpano
Y tiene martillo
Y tiene vestíbulo
Y tiene cóclea
Y tiene trompa de Eustaquio
Y tiene yunque
Y tiene oreja
Y tiene ventana coclear
Y tiene conducto auditivo.

Con esta primera regla, se observa que si se cumplen con la condición, entonces se obtiene una conclusión precisa (se pregunta sobre las partes del oído). Un ejemplo contrario a la R1 es cuando sólo se desea identificar un órgano.

R2: SI tiene tímpano
Y tiene martillo
Y tiene vestíbulo
Y tiene cóclea
Y tiene trompa de Eustaquio
Y tiene yunque
Y tiene oreja
Y tiene ventana coclear
Y tiene conducto auditivo
ENTONCES es el oído.

Para verificar si el oído tiene cóclea, una forma de describir las reglas de producción es sustituyendo el operador lógico Y por O en la regla 1. Si se desea verificar si el oído tiene cóclea y tímpano, se crean en forma general dos reglas que digan:

A.- SI se cumple que el oído tiene X
ENTONCES aplicar regla A con la siguiente X .

B.- SI la regla A es cierta para toda X
ENTONCES la hipótesis es cierta
DE LO CONTRARIO es falsa.

En el caso de la regla 2, sólo se llega a la conclusión si se cumplen todas las condiciones. Si el usuario proporciona algunas partes pero no todas y se quiere ser tan preciso como sea posible, habría que tomar en cuenta la regla 3.

R3: SI tiene tímpano
Y tiene cóclea
ENTONCES preguntar las otras partes del órgano.

Si no se está seguro de una determinada conclusión o meta, habría que solicitar más información al usuario, por ejemplo ¿tiene oreja?, ¿tiene yunque?, etc.. Para este motivo se utilizarán las metareglas.

R4: SI el usuario “no responde nada”
ENTONCES sugerir órgano o aparato.

De alguna forma, las reglas 3 y 4 garantizan una solución que varía según la información que el usuario proporcione. Otra forma parecida de expresar la idea pasada es de la siguiente manera:

R5: SI tiene tímpano
O tiene cóclea
ENTONCES aplicar regla 6.

R6: Tal vez sea el oído
SI respondió *no sé* a las preguntas del sistema (¿tiene oreja?, ¿tiene yunque?, etc.).

De esta forma se concluye de que se trata del oído. Hasta cierto punto es sencillo obtener cierta conclusión, ya que son pocos los órganos que están formados por partes cuyos nombres sean los mismo, o que pertenezcan aún mismo aparato y que tengan las mismas partes.

A continuación se muestran otros ejemplos de reglas de producción de los aparatos y órganos del cuerpo humano utilizadas en el sistema experto:

R7: SI está compuesto de la epiglotis
 Y está compuesto de la tráquea
 Y está compuesto de la laringe
 Y está compuesto de la nariz
 Y está compuesto de los pulmones
 Y está compuesto del diafragma
 Y está compuesto de la faringe
 Y está compuesto de las fosas nasales
 ENTONCES es el sistema respiratorio.

R8: SI está compuesto del riñón(es)
 Y está compuesto de la vejiga
 Y está compuesto de la uretra
 Y está compuesto de los uréteres
 ENTONCES es el aparato urinario.

R9: SI tiene túnica mucosa
 Y tiene túnica muscular
 Y tiene túnica exterior fibrosa
 ENTONCES son los uréteres.

R10: SI está compuesto del oído
 Y está compuesto de la lengua
 Y está compuesto de la nariz
 Y está compuesto del ojo
 Y está compuesto de la piel
 ENTONCES son los órganos de los sentidos.

R11: SI tiene túnica mucosa interior
 Y tiene túnica intermedia
 Y tiene túnica exterior muscular
 ENTONCES es la uretra.

R12: SI tiene amígdalas faríngeas
 Y tiene amígdalas palatinas
 Y tiene tonsilas linguales
 ENTONCES es la faringe.

R13: SI tiene el esfínter de Oddi
 Y tiene el conducto colédoco
 Y tiene ámpula de Vater
 ENTONCES es el duodeno.

R14: SI tiene túnica mucosa
 Y tiene túnica media
 Y tiene un conducto cístico
 ENTONCES es la vesícula biliar.

R15: SI tiene lámina cribosa del etmoides
 Y tiene conchas nasales
 Y tiene mucosa olfativa
 Y tiene tracto olfativo
 Y tiene nervio olfativo
 Y tiene bulbo olfativo
 ENTONCES es el olfato.

R16: SI tiene cartilago tiroideo
 Y tiene cartilago cricoides
 Y tiene cartilago epiglotis
 Y tiene pliegue vestibular
 Y tiene pliegue vocal
 Y tiene glotis
 ENTONCES es la laringe.

R17: SI tiene fibras nerviosas
 Y tiene plexo nervioso submucosa
 Y tiene plexo nervioso mientérico
 Y tiene músculo liso longitudinal
 Y tiene músculo liso circular
 Y tiene muscularis mucosae
 Y tiene mucosa
 Y tiene submucosa
 Y tiene microvellosidades
 ENTONCES es el intestino delgado.

R18: SI tiene ciego
 Y tiene apéndice ileocecal
 Y tiene colon
 Y tiene canal anal
 ENTONCES es el intestino grueso.

R19: SI tiene lóbulo inferior
 Y tiene lóbulo superior
 Y tiene bronquiolo terminal
 Y tiene vaso linfático
 Y tiene vénula
 Y tiene arteriola
 Y tiene conductos alveolares
 Y tiene alvéolos
 Y tiene pleura
 ENTONCES son los pulmones.

R20: SI tiene folículos tiroideos
 Y tiene un istmo
 ENTONCES es la tiroides.

También se tienen que considerar todas aquellas metareglas que hagan referencia ya sea a un órgano o a un aparato. Las metareglas para estos casos son:

R21: SI el usuario pregunta sobre las partes de un sistema o aparato
ENTONCES desplegar lista de órganos.

R22: SI el usuario pregunta sobre las partes de un órgano
ENTONCES desplegar lista de partes.

R23: Es un sistema o aparato
SI está formado de órganos.

R24: Es un órgano
SI está formado de tejidos.

R25: X forma parte del cuerpo humano
SI X es un aparato
O SI X pertenece a un sistema o aparato.

R26: Si la hipótesis sobre algún órgano es cierta
ENTONCES desplegar las partes del órgano.

R27: SI se aplica la regla 25
O X es un órgano de la base de hechos
ENTONCES presentar la descripción del órgano.

Las reglas de producción ya descritas son una extensión de las redes semánticas anteriormente expuestas. Algunas o todas las reglas pasadas se derivan de esas redes semánticas.

Otras reglas de gran utilidad para el sistema experto en construcción son:

R28: SI tiene cartilago epiglótico
ENTONCES es la epiglotis.

R29: SI es la epiglotis
ENTONCES forma al aparato respiratorio.

R30: SI forma al aparato digestivo O forma al aparato respiratorio, etc..
ENTONCES es parte del cuerpo humano.

R31: SI es un órgano Y es parte del cuerpo humano
ENTONCES está constituido de tejido.

Las reglas 28 a la 31 no son estrictamente metareglas, ya que no describen cómo utilizar otras reglas, pero sin embargo son reglas que se enlazan unas con otras, por ejemplo, la regla 28 concluye con un órgano; a través de ella se obtiene otra conclusión como se especifica en la regla 29 y a su vez con ésta se obtiene una nueva conclusión con la regla 30. Si bien se observa, una determinada conclusión es alcanzada encadenando una regla con otra.

Falta considerar aquellas reglas que ayuden a manipular el conocimiento cuando las entradas por parte del usuario no corresponden a aquellas que se encuentran en la base de conocimiento. Para estos casos, se consideran los siguientes puntos:

- El usuario desea obtener respuesta sobre algún órgano que no está en la base de conocimiento.
- El usuario desea saber sobre alguna parte de algún órgano, el cual no ha sido considerado en la base de conocimiento.
- El usuario por inacción, desea saber sobre cualquier otro aspecto relacionado con los órganos del cuerpo humano.

Para estos puntos se plantean las siguientes reglas de producción:

R32: SI X es un órgano
 Y X no está en la base de conocimiento y de hechos
 ENTONCES agregar el órgano a la base datos aprendido.

R33: SI X es un órgano
 Y X no está en la base de conocimiento y de hechos
 ENTONCES preguntar si pertenece a algún sistema específico
 Y aplicar regla 34.

R34: SI X pertenece a algún sistema
 ENTONCES guardar en la base de datos el nuevo sistema.

R35: SI X es un órgano
 Y X no se encuentra en la base de conocimiento y de hechos
 O no pertenece a algún aparato de la base de conocimiento
 ENTONCES mandar mensaje que el órgano no es estudiado por BACO.

R36: SI X es alguna parte de un órgano
 Y X no está en la base de conocimiento
 ENTONCES pedir más información sobre otras partes del órgano.

R37: SI aplica la regla 36
 Y X no está en la base de conocimiento y de hechos
 ENTONCES mandar mensaje "No puedo identificar el órgano".

R38: SI X es un sistema o aparato
Y X no está en la base de conocimiento
ENTONCES enviar mensaje que el sistema no es objeto de estudio para BACO.

R39: SI X no es un órgano
O no es un sistema
O no es parte de un órgano
ENTONCES enviar mensaje de dato equivocado
O X no es estudiado por el sistema BACO.

Estas reglas hacen referencia a otras reglas e incluso sobre la forma en que opera el sistema.

A continuación se presenta un ejemplo de encadenamiento hacia adelante basado en las reglas de producción aplicadas al sistema experto BACO durante su construcción. Para tal efecto se interpretará la imagen de la Figura 4.5. Hay que recordar que el principio del encadenamiento hacia adelante consiste en dado un hecho inicial el sistema debe llegar a una conclusión.

En el ejemplo, a priori se sabe que partiendo del hecho inicial *Tiene cola*, la conclusión es el páncreas debido a que ya se cuenta con ese conocimiento, pero ahora se verá el comportamiento de BACO para llegar a esta conclusión.

Dado el hecho inicial *Tiene cola*, BACO procede a buscar aquellas reglas que cumplan con tal hecho, enseguida encuentra en su base de conocimiento que hay dos órganos con la misma característica, el páncreas y el epidídimo (regla 3 y 4), dado que en un principio no se sabe si se trata de un órgano u otro, el sistema experto procede a realizar preguntas que permitan llegar a una conclusión. Como a cada órgano le corresponde un conjunto de partes, BACO infiere que si *podría ser el páncreas* entonces tiene además de cola, una parte llamada cabeza, un cuerpo y tiene células acinos (regla 5, 6 y 7), por lo tanto el sistema realiza las siguientes preguntas al usuario para verificar si es el páncreas: *¿tiene cabeza?*, *¿tiene cuerpo?* y *¿tiene células acinos?*, en donde se espera una de tres posibles respuestas: *sí* (si el usuario está seguro de que el elemento o característica, preguntado por BACO, conforma al órgano en cuestión), *no* (si el usuario está seguro de que el elemento o característica, preguntado por BACO, no conforma al órgano en cuestión) y *no sé* (si el usuario no tiene conocimiento previo de lo que le pregunta el sistema).

Si las respuestas fueron afirmativas en todos los casos, se busca otra regla que encadene hacia adelante en la parte de la condición, como es el caso de la regla 1. Para obtener la conclusión de esta regla, es necesario que se cumpla que el órgano tenga todas las características que se mencionan en la condición de dicha regla. Considerando que las respuestas por parte del usuario son del tipo *sí* el sistema concluye que efectivamente se trata del páncreas ya que *tiene cabeza*, *tiene cuerpo*, *tiene celulas acinos* y *tiene cola* (hecho inicial).

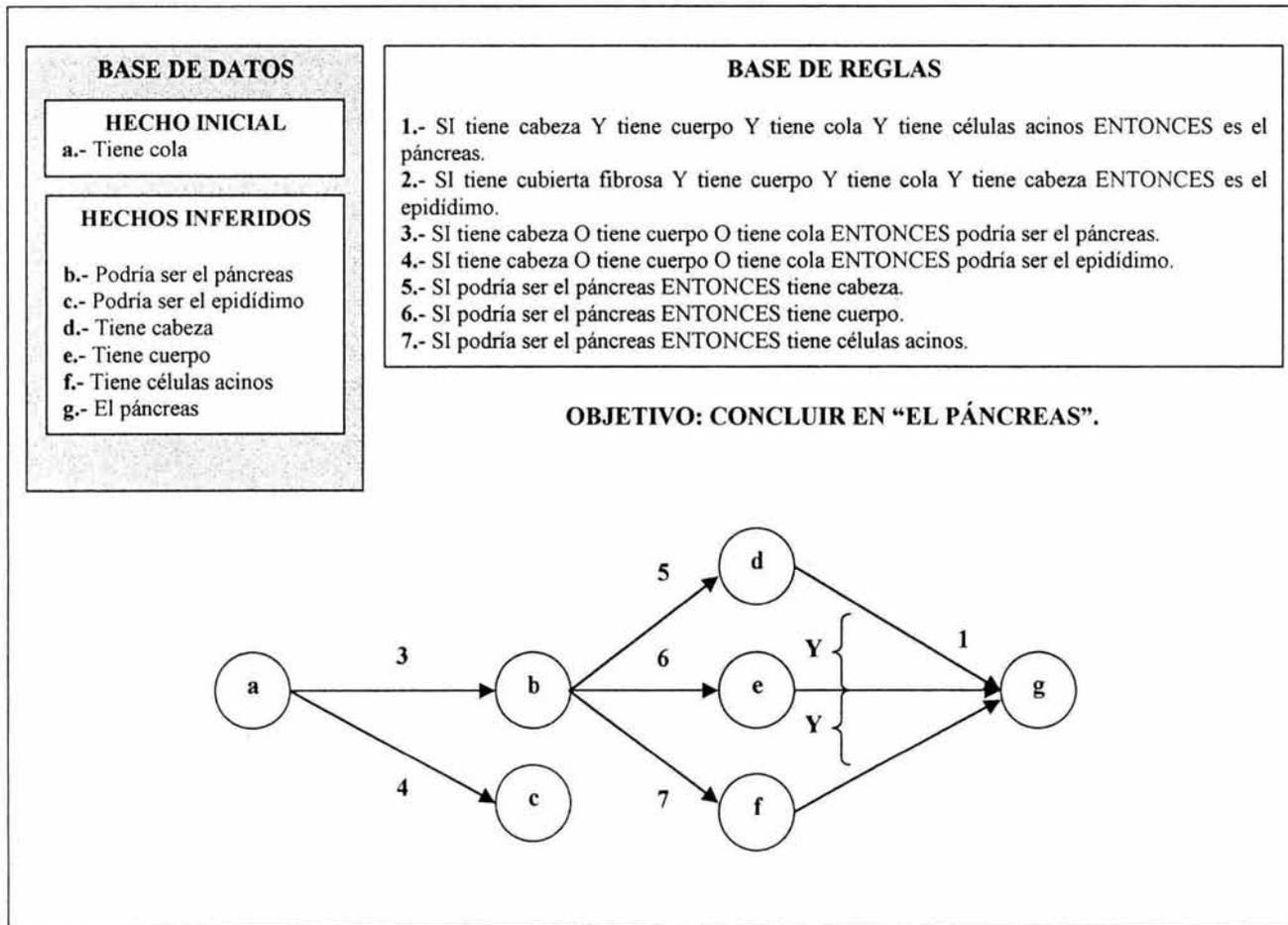


Figura 4.5 Encadenamiento hacia adelante para concluir en el páncreas en el sistema experto BACO.

El proceso de encadenamiento hacia adelante para cuando el usuario responde *no*, *no sé* o variaciones de éstos es muy similar. Por ejemplo, si se toma el mismo hecho inicial del ejemplo pasado y si el usuario responde *no sé* a todas las preguntas sobre el páncreas o del epidídimo (que no existan afirmaciones de las partes de los órganos), BACO sólo aplicaría las reglas 3 y 4, ya que la regla 1 no se cumpliría, de esta forma, el sistema podría responder de la siguiente manera: no puedo saber con exactitud el órgano, podría ser el páncreas o el epidídimo.

Por otra parte también está el encadenamiento hacia atrás cuyo principio se basa en la obtención de elementos o medios que validen una conclusión o hipótesis dada. La Figura 4.6 muestra un ejemplo de ello, el proceso se describe de la siguiente manera: el objetivo es verificar si es cierto o falso que el cuerpo humano tiene una parte llamada corazón y una parte llamada dermis. Para que la hipótesis sea cierta se debe cumplir que el cuerpo humano tenga ambas partes; empezando por la regla 5 que tiene como conclusión *cuerpo humano* se va a encadenar hacia atrás, la regla 5 se compone de dos condiciones (*es el sistema circulatorio*, *es el aparato sensorial*). Tomando la parte de *es el aparato sensorial*, habría que averiguar una regla que tenga en su conclusión dicha condición, tal regla es la 4 cuya condición es *órganos de los sentidos*. Se busca otra regla que tenga en su conclusión *órganos de los sentidos*, esto corresponde con la regla 3 con condición *es la piel*. La regla 3 encadena con la regla 1 que tiene a *es la piel* como conclusión. Ahora, como la regla 1 tiene la condición de *tiene dermis*, no hay necesidad de encadenar nuevamente hacia atrás ya que *tiene dermis* es un hecho inicial y se da por aceptado, de esta manera, las otras partes se aceptan (se infiere *es la piel*, *órganos de los sentidos*, *es el aparato sensorial*). La otra parte de la regla 5 con la condición *es el sistema circulatorio* también habría que verificarla, esta condición es conclusión de la regla 2 en cuya condición aparece *tiene corazón*. Al igual que *tiene dermis*, *tiene corazón* también es un hecho inicial y queda verificada. Por lo tanto, encadenando hacia atrás se concluye que es cierto que el cuerpo humano tiene corazón y tiene dermis.

Mientras más claras sean las reglas que tendrá el sistema, mejor será su capacidad para resolver problemas; de la manera en que se estructuren tales reglas también dependerá la eficiencia del sistema al momento de realizar la inferencia.

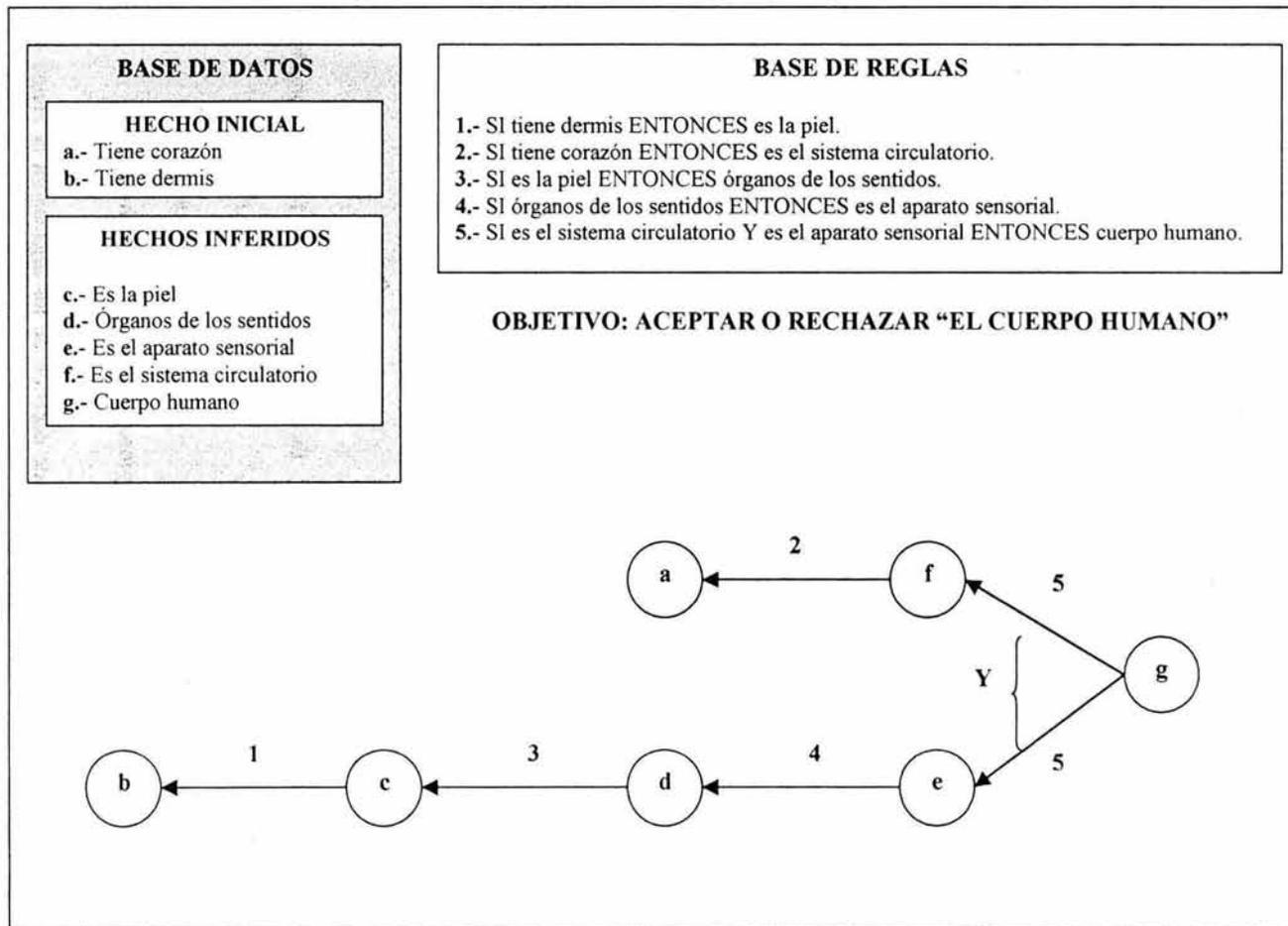


Figura 4.6 Encadenamiento hacia atrás para aceptar o rechazar el cuerpo humano en el sistema experto BACO.

Ahora se pasará a otro modelo de representación del conocimiento, los árboles de decisión. Para representar el conocimiento del sistema experto BACO en un árbol de decisión, es necesario considerar un árbol binario que tiene como alternativas en sus arcos *sí* (el órgano posee la característica) y *no* (el órgano no tiene la característica señalada).

El árbol de decisión de la Figura 4.7 muestra una parte de todo el árbol, las características que aparecen en los nodos hacen preguntas de los aparatos del cuerpo humano. Para explicar este árbol, se comenzará con el nodo de más arriba. La pregunta es *¿Lo forma el riñón?*, si se cumple que *sí*, pregunta *¿Lo forma la vejiga?* y así sucesivamente hasta concluir con el aparato urinario (las ramas de más a la izquierda), los nodos que tienen una conclusión *no se sabe* es porque se preguntó si se formaba de riñón y la respuesta fue *sí*, por lo que no existe otro aparato que tenga riñón y que no tenga vejiga, uretra o uréteres, en estos casos no hay una respuesta precisa.

Tomando el lado derecho del árbol donde se pregunta *¿Lo forma el riñón?* y la respuesta es *no*, se pudo haber preguntado por cualquier otro aparato y no exactamente sobre el aparato digestivo o respiratorio a los cuales la tráquea pertenece. La pregunta es *¿Lo forma la tráquea?*, si la respuesta es *sí* se procede con otra pregunta por ejemplo *¿Lo forma el hígado?* y de esta forma se estaría averiguando si es el aparato digestivo. Las líneas que están punteadas o entrecortadas significan que el árbol sigue con otras características (otras conclusiones de otros aparatos). Ahora por la parte de la respuesta *no* (*¿Lo forma la tráquea?*), se tiene que se pregunta *¿Lo forma los huesos?*, si la respuesta es *sí*, simplemente se concluye que es el sistema óseo, de lo contrario se pregunta que si lo forma el corazón en cuya conclusión es el sistema circulatorio.

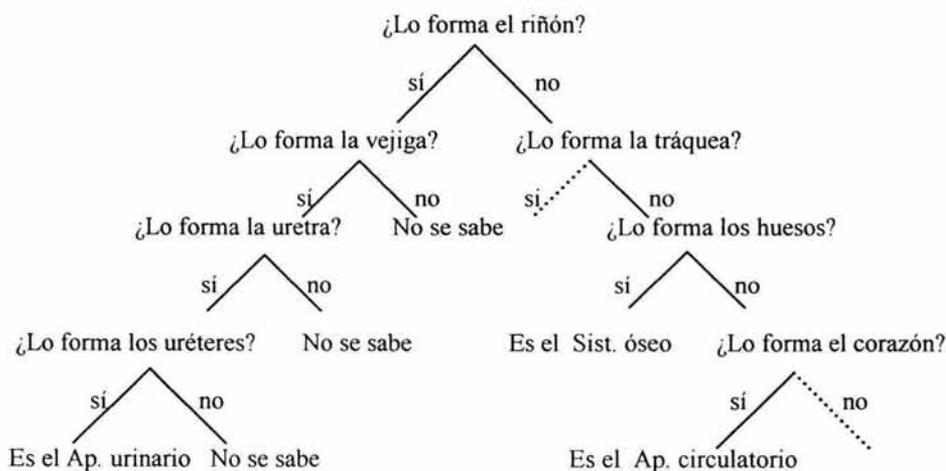


Figura 4.7 Árbol de decisión de algunos aparatos del cuerpo humano.

Como ejemplo adicional se tiene el árbol de decisión de los órganos en la Figura 4.8. El proceso de verificar un órgano a través de las preguntas que corresponden a las partes de los órganos es igual al caso pasado de los aparatos. Se tomará como ejemplo lo siguiente: recorriendo

la parte de más a la derecha, hay una pregunta que dice *¿Tiene glotis?*, si la respuesta es *no*, se eliminan los órganos que tienen una parte llamada glotis y se prosigue con otras preguntas de diferentes órganos. Si la respuesta es *sí*, la próxima pregunta es *¿Tiene cartilago cricoideo?*, si la respuesta es *no*, pregunta si *tiene amígdala lingual*, esto por que hay un órgano (la lengua) que tiene glotis pero que no tiene cartilago cricoideo, de esta manera se crea otra rama que lleva a otro órgano. Si el usuario responde que *tiene glotis, no tiene cartilago cricoideo, tiene amígdala lingual, tiene papilas*, entonces es la lengua, de lo contrario podría haber preguntado si *tiene pliegue vestibular, pliegue vocal, cartilago tiroideo* en donde la conclusión sería la laringe. Los casos que terminan en un *no se sabe*, es porque dado cierta información de entrada el órgano cumple con ellas pero después ya no cumple con otras.

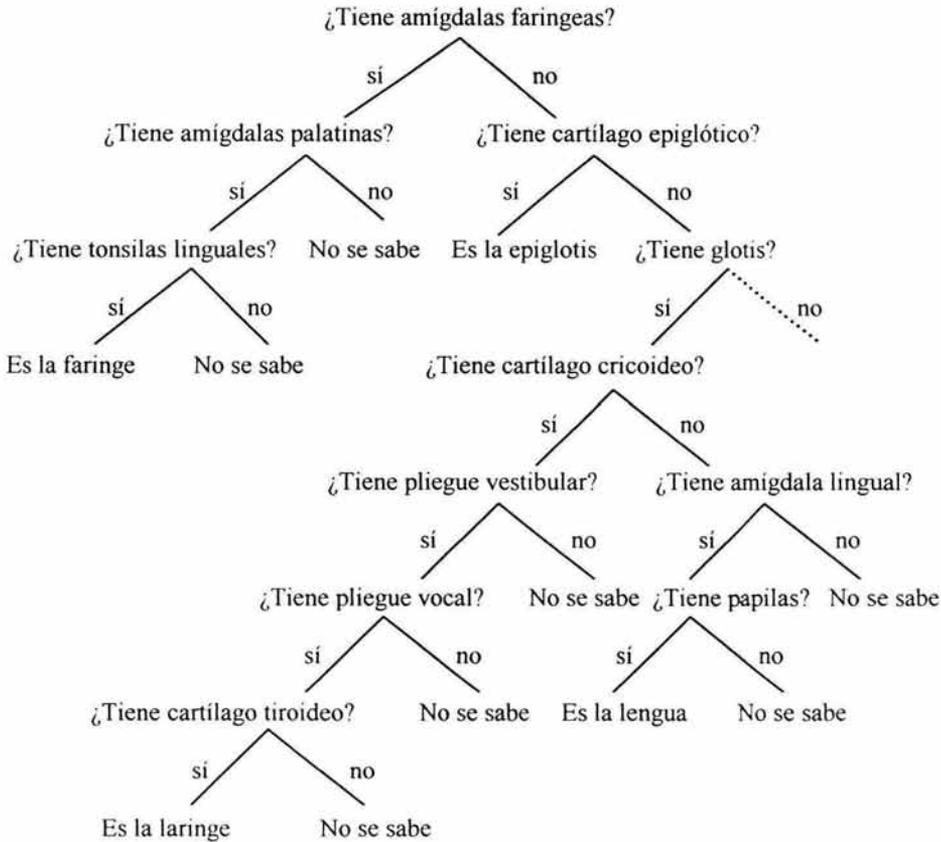


Figura 4.8 Árbol de decisión de algunos órganos del cuerpo humano.

Estos árboles son de ayuda cuando se desea verificar un sistema u órgano. Dado un conjunto de hechos como entrada, el sistema a través de preguntas, se formula una conclusión.

Otro modelo para crear el sistema experto BACO son los frames. Los siguientes frames representan la forma en que son utilizados algunos objetos (órganos y sistemas) en el sistema experto (Figura 4.9):

Frame Sistema Nervioso	
Clase:	Sistema.
Forma parte de:	Cuerpo humano.
Características:	Se constituye de la médula espinal. Se constituye del cerebro. Se constituye del cerebelo. Se constituye de la hipófisis (referencia frame hipófisis). Se constituye de las meninges (referencia frame meninges).
Frame Meninges	
Clase:	Órgano.
Forma parte de:	Sistema nervioso.
Características:	Tiene membrana duramadre. Tiene membrana aracnoides. Tiene membrana piamadre. Tiene un espacio supraracnoideo. Tiene un espacio subaracnoideo.
Frame Hipófisis	
Clase:	Órgano.
Forma parte de:	Sistema nervioso.
Características:	Tiene adenohipófisis Tiene neurohipófisis

Figura 4.9 Frames del sistema nervioso, las meninges y la hipófisis.

La forma de identificar a los componentes de los objetos que integran al SE puede ser a través de los frames. Como se especificó en la Figura 4.9, el frame meninges define que el sistema experto tiene un órgano (clase) que forma parte del sistema nervioso cuyas características son *tiene membrana duramadre, tiene membrana aracnoides, etc.*. El sistema experto BACO consta de más de 60 frames por lo que los ejemplos pasados fueron sólo una muestra de ellos.

Cálculo de predicados

La base para empezar a codificar las reglas al lenguaje Visual PROLOG es el cálculo de predicados. El lenguaje Visual PROLOG en general se estructura en cláusulas (reglas y hechos): las *reglas* son relaciones dependientes que le permiten a Visual PROLOG inferir una parte de información con otra, una regla será verdadera cuando su conjunto de condiciones dadas sean verdaderas. Por otro lado, los *hechos* son relaciones o propiedades que el programador especifica para que siempre sean verdaderas. Mas adelante se darán ejemplos de cada uno de ellos.

Empezando por algunos predicados, se citan los siguientes ejemplos:

$$\forall(X) \text{Es_órgano}(X) \rightarrow \text{Formado_de_un_conjunto_tejidos}(X)$$

$$\forall(X) \text{Conjunto_tejidos}(X) \rightarrow \text{Células}(X)$$

Los dos predicados anteriores pueden ser traducidos como “para toda X , si X es un órgano entonces X está formado de un conjunto de tejidos”, “para toda X , si X es un conjunto de tejidos entonces X es un conjunto de células”.

$$\forall(X) \text{Órgano}(X) \rightarrow \exists(Y) \text{Conjunto_de_tejidos}(Y) (\text{Es_parte_de}(Y, X))$$

Este predicado se interpreta como “para toda X , si X es un órgano entonces existe alguna Y que es parte de X ”.

Estos predicados hacen referencia a los órganos del cuerpo humano, se verán algunos otros predicados sobre los sistemas del cuerpo humano y las partes que constituyen a los órganos.

$$\forall(X) \text{Sistema_aparato}(X) \rightarrow \exists(Z) (\text{Órgano}(Z) \wedge \text{Está_formado_de}(X, Z))$$

En este caso, el predicado ya es una función con variables, que ya implica el uso de conectores lógicos para relacionar los argumentos. Una interpretación de este predicado es: “para toda X donde X es un sistema o aparato existe un órgano Z donde X está formado por Z ”, más sencillo, “todos los sistemas o aparatos están formados de órganos”.

Ahora se expresarán otros predicados partiendo de un lenguaje más claro para el hombre:

La piel es un órgano.

Es_un(Piel, Órgano)

El corazón es parte del aparato circulatorio.

Es_parte_de(Corazón, Aparato_circulatorio)

La piel tiene dermis y epidermis.

Tiene(Piel, Dermis, Epidermis)

El cuerpo humano está formado de aparatos o sistemas.

Está_formado_de(Cuerpo_humano, aparatos_o_sistemas)

La piel, el ojo, la boca, el oído, la nariz son las partes del sistema sensorial.
Sistema_sensorial(Piel, Ojo, Boca, Oído, Nariz)

Todos los órganos tienen partes.

$\forall(X) \text{ Es_parte_órgano}(X) \rightarrow \exists(Y)(\text{Órgano}(Y) \wedge \text{Tiene}(Y, X))$

Estos predicados no corresponde exactamente a la sintaxis de algún lenguaje en particular. Las cláusulas que de aquí en adelante se den ya serán expresadas en el lenguaje Visual PROLOG, de ahí que primero se hayan puesto algunos ejemplos utilizando la lógica de predicados.

4.1.2 Desarrollo del software

La creación del software es el resultado final de un análisis, diseño y representación del conocimiento. Parte de la información recopilada en las fases pasadas y su traducción al lenguaje Visual PROLOG se expone en esta sección, así como la interfaz gráfica que utiliza BACO.

Para iniciar, se presenta una parte de lo que es la base de hechos de BACO. La forma en que se encuentra estructurado el conocimiento, corresponde a las listas (equivalente a los arreglos en otros lenguajes). A través de listas, resulta factible hacer recorridos sobre el árbol general del SE.

DATABASE

FACTS

DOMAINS
lista=symbol*

PREDICATES
nondeterm árbol(symbol,lista) cuerpo_humano(lista)
endocrino(lista) nervioso(lista)

CLAUSES

árbol(cuerpo_humano,[endocrino,reproductor,urinario,digestivo,nervioso,respiratorio,óseo,
muscular,circulatorio,sensorial]).

árbol(endocrino,[hipófisis,tiroides,paratiroides,glándulas_suprarrenales,páncreas,ovarios,
testículos,timo,hipotálamo]).

árbol(nervioso,[hipófisis,cerebro,cerebelo,médula_espinal,meninges]).

árbol(hipófisis,[]).

árbol(tiroides,[]).

cuerpo_humano(["tiene sistema endocrino","tiene aparato reproductor",
"tiene aparato urinario","tiene aparato digestivo","tiene sistema nervioso",

"tiene aparato respiratorio", "tiene sistema óseo",
 "tiene sistema muscular", "tiene aparato circulatorio",
 "tiene aparato sensorial").

endocrino(["tiene hipófisis", "tiene tiroides", "tiene paratiroides",
 "tiene glándulas suprarrenales", "tiene páncreas", "tiene ovarios", "tiene testículos",
 "tiene timo", "tiene hipotálamo").

nervioso(["tiene hipófisis", "tiene cerebro", "tiene cerebelo", "tiene médula espinal",
 "tiene meninges").

El código pasado es la forma general de la base de hechos y de conocimiento en Visual PROLOG. Las dos primeras partes (*database* y *facts*) es la parte en la que Visual PROLOG guarda información temporal, es también la base de hechos auxiliar (memoria auxiliar) y su utilización únicamente se ve al momento de interactuar con el sistema experto. La siguiente sección es la de dominios y predicados que básicamente permiten hacer declaración de tipos de datos e incluyendo la declaración de los predicados. La otra sección es la de cláusulas, lugar en la que se especifican las reglas de inferencia y los hechos. Pasando a lo que es el código, se tiene una primera lista que se llama *árbol* cuyos elementos son a la vez una lista y una lista de listas, de tal manera que el primer elemento (*cuerpo humano*) enlaza con las partes del cuerpo humano, la segunda parte de la misma lista *árbol* contiene los sistemas que enlazan con las partes de cada sistema. Por ejemplo, un aparato *endocrino* se enlaza con la lista *endocrino*(["tiene hipófisis", "tiene tiroides", etc...]). La lista *árbol*(*hipófisis*,[]) tiene una lista vacía que indica el fin del árbol general del cuerpo humano, es decir, después de la hipófisis ya no hay más partes en el árbol.

El proceso es el mismo para los otros aparatos o sistemas. Para complementar el código pasado, ahora se tiene un segmento referente a las partes de los órganos.

PREDICATES

hipófisis(lista) tiroides(lista) meninges(lista)

CLAUSES

hipófisis(["tiene adenohipófisis", "tiene neurohipófisis").

tiroides(["tiene folículos tiroideos", "tiene istmo").

meninges(["tiene membrana duramadre", "tiene membrana aracnoides",
 "tiene membrana piamadre", "tiene espacio supraracnoideo",
 "tiene espacio subaracnoideo").

Es de notar en el código que si se dice: *Si es la tiroides ENTONCES tiene folículos tiroideos Y tiene istmo*. Esto es en cuanto a los hechos, ahora se mostrarán algunos ejemplos de reglas.

características([]).

características([X|[]]):-espacios,write(X),nl.

características([X|Y]):-espacios,write(X),nl,características(Y).

características_de(X):-X=cuerpo_humano,cuerpo_humano(P),características(P);

X=endocrino,endocrino(P),características(P);
 X=hipófisis,hipófisis(P),características(P);
 X=tiroides,tiroides(P),características(P).

Las reglas pasadas se utiliza para desplegar en pantalla las partes que forman a un sistema o a un órgano. Si se observa la regla *característica de(X)*, acepta un argumento *X* que es cualquier palabra, si el argumento cumple con la igualdad (*X=cuerpo humano* o *X=endocrino*, etc.) entonces se imprimen las partes cuya acción la realiza la regla *características([X Y])*.

Otros segmentos de código son los que realizan la búsqueda en anchura y la búsqueda en profundidad, el código básico es el siguiente:

```
append([],L,L).
append([H|CV],L,[H|CN]):-append(CV,L,CN).
analiza(X,Y):-árbol(Y,Z),miembro(X,Z);X=cuerpo_humano,Y="".
miembro(X,[X|_]).
miembro(X,_|Cola):-miembro(X,Cola).
```

Búsqueda en profundidad:

```
reco1([cuerpo_humano],X).

reco1([H|T],X):-X=H,analiza(X,Y),características_de(X);árbol(H,Lista),
append(Lista,T,Nuevalista),reco1(Nuevalista,X).
```

Búsqueda en anchura:

```
reco2([cuerpo_humano],X).

reco2([H|T],X):-X=H,analiza(X,Y),características_de(X);árbol(H,Lista),
append(T,Lista,Nuevalista),reco2(Nuevalista,X).
```

El argumento *X* es el objetivo, se inicia a partir del nodo padre (*reco1([cuerpo_humano],X)* o *reco2([cuerpo_humano],X)*) y se van encadenando reglas para recorrer el árbol. En determinadas ocasiones, ya sea la búsqueda en anchura o en profundidad, podrían llegar a convertirse en una búsqueda exhaustiva, es decir, que haya necesidad de recorrer el árbol completamente. En general, éstas son las partes básicas en BACO para realizar ambas búsquedas. La llamada a otras reglas dentro de alguna de las búsquedas anteriores, depende del lugar dentro de todo el código del programa donde se apliquen dichos métodos (para ver el código completo, consulte el anexo II).

En cuanto a la interfaz, a continuación se presentan las vistas de las que consta el sistema experto. La Figura 4.10 visualiza la interfaz de usuario principal de BACO.

El sistema experto BACO consta de los siguientes menús: *Principal*, *Baco*, *Window*, *General* y *Ayuda*. Las opciones para cada uno de ellos se muestran en la Figura 4.11.

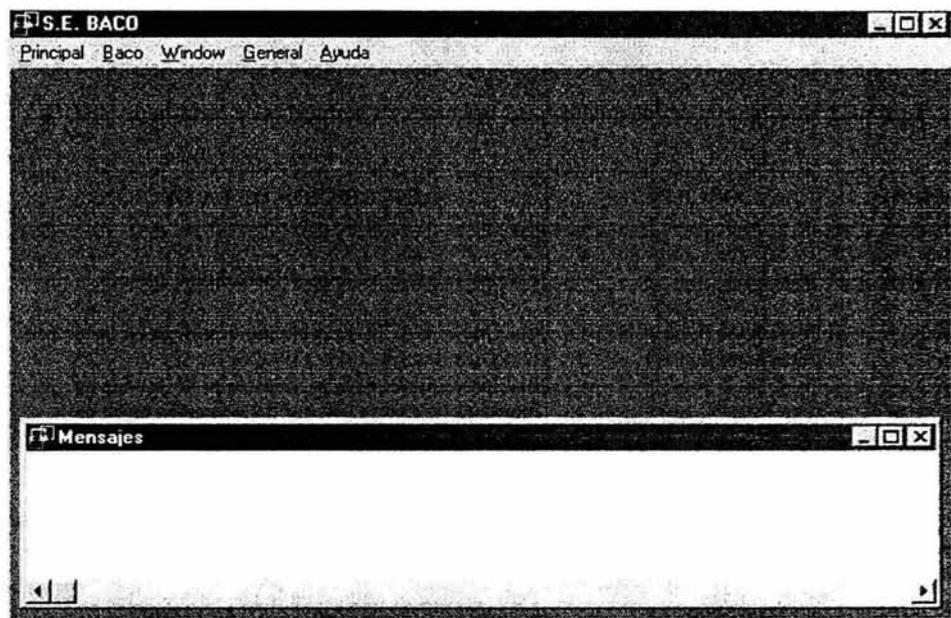


Figura 4.10 Interfaz de usuario principal de BACO.

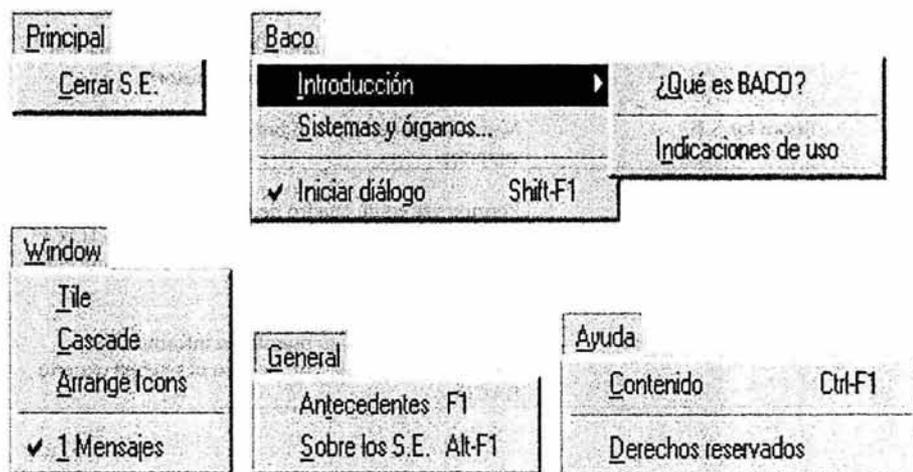


Figura 4.11 Los menús y sus respectivas opciones en el sistema experto BACO.

Para describir la funcionalidad de cada una de las opciones, se ha creado la Tabla 4.1 que resume lo que cada opción realiza dentro del sistema experto.

Tabla 4.1 Descripción de los menús y sus opciones en la interfaz de usuario de BACO.

MENÚ	OPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN
Principal	Cerrar S.E.	Permite cerrar la ventana principal de usuario.
Baco	Introducción (Qué es BACO, Indicaciones de uso)	a).- Qué es BACO. Esta opción despliega un cuadro de texto que describe qué es BACO. b).- Indicaciones de uso. Muestra en la ventana de mensajes (ver parte inferior de la interfaz principal) indicaciones básicas para utilizar BACO, por ejemplo, escribir correctamente, entre otras.
	Sistemas y órganos...	Permite ver información adicional sobre la funcionalidad de los sistemas y órganos incluyendo algunas imágenes.
	Iniciar diálogo	Permite abrir la ventana en la que se interactúa con BACO a través del diálogo y así poder obtener información de los órganos y sistemas.
Window	Tile, Cascade, Arrange Icons (aparecen automáticamente al crear la ventana de mensajes).	Permiten visualizar de una u otra forma la ventana de mensajes (ver la interfaz principal), por ejemplo en cascada, maximizado, etc..
General	Antecedentes	Éste despliega un cuadro de texto con información relaciona con IA, básicamente su historia.
	Sobre los S.E.	Muestra una descripción breve de lo que son los sistemas expertos.
Ayuda	Contenido	Permite ver en un cuadro de texto algunos aspectos que no se deben pasar desapercibido para utilizar BACO, ejemplos sobre cómo interactuar con el sistema entre otros detalles.
	Derechos reservados	Abre una ventana que muestra la información sobre quién, cuando, etc., se hizo el sistema experto BACO.

A través de los menús se tiene acceso a la información del sistema experto. Puesto que las ventanas que muestran tal información son las mismas en la mayoría de las opciones, sólo se expone un ejemplo de ellas (Figura 4.12). También se tiene la ventana en la que el usuario lleva a cabo el diálogo con el sistema experto BACO, la Figura 4.13 presenta la vista de esta ventana.

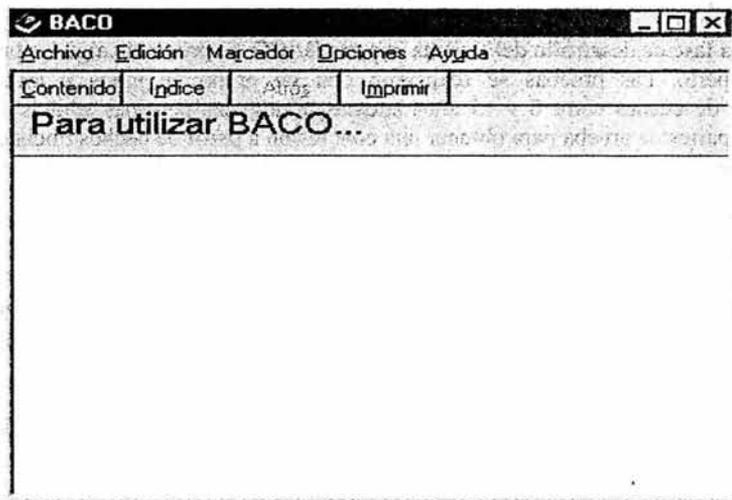


Figura 4.12 Cuadro de texto para mostrar información.

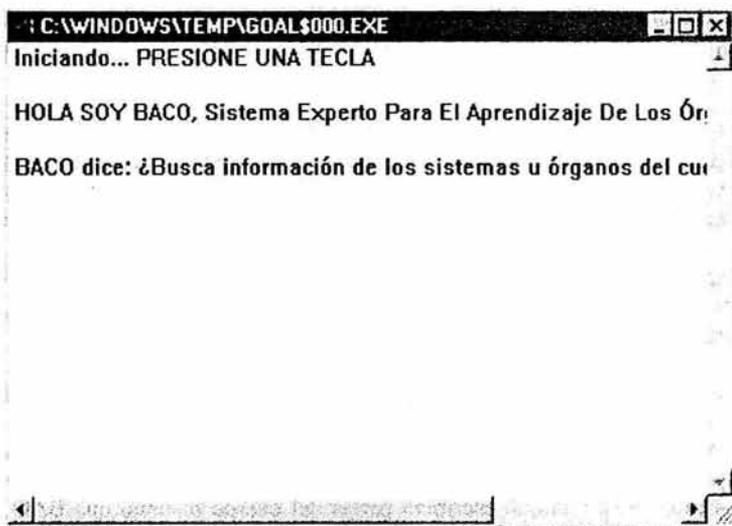


Figura 4.13 Ventana de diálogo del sistema experto BACO.

La siguiente etapa es poner a prueba la interfaz de usuario y la base de conocimiento que se diseñaron para BACO.

4.1.3 Prueba y evaluación del Sistema Experto

Para concluir la fase de desarrollo del sistema experto BACO, se presentan algunas pruebas hechas al sistema experto. Las pruebas se realizaron con un grupo de niños y jóvenes elegidos aleatoriamente de edades entre 8 y 15 años además de algunas personas adultas. La prueba se dividió en dos partes: la prueba para obtener una conclusión a partir de hechos iniciales y la prueba para verificar una hipótesis sobre algún órgano. Los resultados fueron los siguientes:

En la prueba para obtener una conclusión a partir de hechos iniciales, por ejemplo qué órgano o parte del cuerpo humano *tiene cerebelo*, se obtuvo que:

A favor del sistema experto. De un grupo de niños, cuando el sistema experto proporcionaba una conclusión sobre algún órgano o parte del cuerpo, se obtuvieron respuestas tan certeras como las que se obtendrían de un experto.

En contra del sistema experto. En este caso, la desventaja que se obtuvo fue cuando se introdujeron hechos iniciales que el sistema no reconocía, las respuestas fueron que el sistema no sabía de qué se trataba.

En la prueba para verificar una hipótesis sobre algún órgano, por ejemplo *la boca tiene lengua*, se obtuvo que:

A favor del sistema experto. De un grupo de personas adultas, los resultados fueron los mismos que los que habían pensado las mismas personas (considerando hipótesis que el mismo usuario sabía).

En contra del sistema experto. En esta parte, el SE es capaz de aprender del usuario por lo que si se le daba un nombre de órgano o sistema que no estaba en la base de conocimiento, éste no realizaba nada y únicamente solicitaba referencias del dato introducido. La desventaja fue que aún cuando el usuario tenía interactividad, se quedaba sin verificar su hipótesis (si era cierta o falsa).

En resumen, se observó que el principal obstáculo en BACO para que se formulara una respuesta fue la falta de información en su base de conocimiento y de hechos. Otros detalles encontrados durante las dos pasadas pruebas fueron:

1. La forma de interactuar con el sistema requiere del seguimiento de ciertas reglas, la omisión de éstas generaba respuestas incorrectas.
2. El usuario, sin intención, ocasionalmente escribía palabras que de acuerdo al idioma en el que opera BACO son incorrectas, aspecto que alteraba las respuestas esperadas.
3. En los infantes, a menudo escribían partes del cuerpo humano que BACO desconocía. Esto quizás por desconocimiento de las restricciones del propio sistema.

A este último punto hay que agregar que, a pesar de que BACO (aún con sus restricciones) considera un gran número de órganos de los principales aparatos del cuerpo humano, efectivamente parece ser que su base de conocimiento y de hechos no es hasta este momento, lo suficientemente robusto como para dar solución a cualquier órgano del cuerpo humano, sin embargo parece mostrar en un inicio, una aceptación por parte de los usuarios.

Para finalizar esta parte, se ha considerado mostrar algunas pruebas del sistema experto (Figuras 4.14 y 4.15). Para ver el código del sistema experto, se recomienda consultar el anexo II.

```

C:\WINDOWS\TEMP\GOAL$000.EXE
BACO dice: Dígame la(s) parte(s) del sistema u órgano (hechos iniciales).
    tiene cola
    fin
BACO dice: Inicialmente podría ser: páncreas.
BACO dice: Inicialmente podría ser: epidídimo.
    Lo que está buscando tiene...
BACO dice: ¿tiene cabeza? (si/no/no sé)
    no sé
BACO dice: ¿tiene cuerpo? (si/no/no sé)
    no sé
BACO dice: ¿tiene células acinos? (si/no/no sé)
    si
BACO dice: ¿tiene cubierta fibrosa? (si/no/no sé)
    no sé
BACO dice: ¿tiene cuerpo? (si/no/no sé)
    no sé
BACO dice: ¿tiene cabeza? (si/no/no sé)
    no sé
BACO dice: Según la información recibida, tal vez podría ser la(s)/el(os) páncreas.
  
```

Figura 4.14 Verificación de un órgano a partir de un hecho inicial (tiene cola).

```

C:\WINDOWS\TEMP\GOAL$000.EXE
BACO dice: Dígame el nombre del sistema u órgano (hipótesis).
    los ojos
BACO dice: Dígame la(s) parte(s) a verificar de el ojo.
    tiene pupila
    tiene tímpano
    tiene córnea
    tiene párpados
    fin
BACO dice: Opino que posiblemente [tímpano] no sea parte de el ojo.
BACO dice: Opino que posiblemente [párpados] no sea parte de el ojo.
BACO dice: Creo que su hipótesis es falsa.
  
```

Figura 4.15 Aceptar o rechazar una hipótesis (los ojos) a partir de hechos iniciales.

4.2 Fase de Implementación del Sistema Experto BACO

Como fase siguiente al desarrollo, se tiene la implementación del SE. En este caso, la implementación se refiere al hecho de poner el sistema creado en marcha para ser utilizado.

4.2.1 Instalación y demostración

La instalación y demostración del sistema experto BACO está relacionada con la parte de la prueba y evaluación, ya que después de haber corregido algunos detalles de la base de hechos, algunas reglas de inferencia, el sistema quedó listo para ser utilizado por los usuarios que en un principio formaron parte de la prueba del sistema. Una vez que el software sea instalado en alguna computadora personal, el mismo usuario podría ser el responsable de aumentar las capacidades del sistema para resolver problemas en las partes de los órganos, incluso tal vez haría el papel de demostrador y así aumentar la aceptación del software.

El sistema experto BACO no ha sido instalado en ningún servicio, empresa pública o privada, simplemente permanecerá como un software que está a disposición de los usuarios que deseen conocer un poco sobre los órganos del cuerpo humano.

La orientación y entrenamiento, la aceptación por parte del usuario, la forma en que se liberó el sistema e incluso la documentación son factores que se pueden ir desarrollando en esta fase y que sirven para el mantenimiento progresivo del sistema, de esta manera, mientras los usuario se encargan de su operación, otros podrían encargarse de su mejora para un momento futuro.

Conclusiones

Ciertamente se han presentado muchos avances en el mundo de las computadoras, hasta ahora, los logros obtenidos en el ramo de la Inteligencia Artificial se ven como proyectos a futuro. La aparición de la IA como área de estudio marcó el inicio de las investigaciones orientadas a procesos cognoscitivos, aún cuando las aplicaciones obtenidas de ésta no son del todo evidentes en nuestro mundo, se ha ido originando cierta tendencia en el uso de hardware y software en el ramo industrial.

Es importante señalar que la IA trata de sentar las bases para crear dispositivos que se asemejen más al comportamiento humano. En lo que respecta específicamente a los sistemas expertos, no es todavía una área estable a pesar de que es una de las partes de la IA que más éxito ha alcanzado en los últimos años.

Para describir algunos resultados obtenidos durante la creación del sistema experto BACO, se tienen algunos puntos por señalar: en el aspecto teórico-práctico al crear el prototipo, en el aspecto educativo del sistema experto y la de comprobar la hipótesis “un sistema experto puede reemplazar al experto humano en una área específica del conocimiento”.

En el aspecto teórico-práctico de BACO se comenta lo siguiente: puesto que los sistemas expertos trabajan con conocimiento, es éste al parecer, el principal obstáculo para crear sistemas basados en reglas, el conocimiento generalmente está distribuido y muchas veces es divergente, es decir, para crear buenos sistemas expertos es importante considerar la diversidad de opiniones, la abundancia del conocimiento e incluso verificar de alguna manera que tan preciso es el conocimiento que se está recopilando, seguido al punto anterior está la representación del conocimiento. Los modelos para representar el conocimiento ayudan a organizarlo pero algunos de ellos carecen de una estructura que sea fácil de implementar en una computadora, en otros no existen reglas para definir sus partes. Por ejemplo, en las redes semánticas no existen estándares que ayuden a definir nodos y relaciones, lo que podría ocasionar que la red muestre información innecesaria. Por otro lado están las reglas de producción que son más acertadas en ese aspecto, pero por tratarse de un formalismo en lenguaje natural podría resultar un poco complicado identificar objetos, predicados o relaciones, las cuales utiliza la programación lógica, además representar conocimiento complejo en reglas, requiere de más condiciones IF.

La metodología para crear sistemas expertos, según la experiencia adquirida con BACO, es la base principal para empezar a construirlos y la cual podría basarse en el ciclo de vida del desarrollo de sistemas desde el punto de vista de la ingeniería de software. Las diferencias que puedan haber entre ambos tipos de sistemas radica principalmente en lo que utiliza uno de otro, el

conocimiento o la información, es decir, usan su propia terminología (por ejemplo ingeniería del conocimiento en sistemas expertos).

Por el lado educativo, el sistema experto es capaz de proporcionar conocimientos sobre los órganos del cuerpo humano. La capacidad de aprendizaje y la forma interactiva del sistema lo hacen distinto a otras formas particulares de enseñanza. La manera en que el usuario aprende sobre los órganos del cuerpo humano es por medio de una conversación usuario-máquina y viceversa, ya que el usuario introduce cierta información, el sistema la procesa y sugiere una conclusión, e incluso hace preguntas de los órganos, dando como consecuencia un fomento en el conocimiento de los órganos del cuerpo humano en el usuario.

Agregando otras características sobre BACO, se observó que, a pesar de que es un sistema que no incluye todos los órganos del cuerpo humano, éste permite la retroalimentación de información con los usuarios y más aún motiva a que éstos piensen sobre las partes de los órganos del cuerpo humano, como consecuencia de ello, incita a la búsqueda de información y a la inquietud por el conocimiento de los órganos del cuerpo. Con esto, BACO parece tener una aceptación favorable en los usuarios según las pruebas realizadas. Queda claro que la magnitud de su base de conocimiento lo pone en desventaja ante un experto de los órganos, ya que BACO tiene limitado su espacio de memoria o base de aprendizaje, no así un experto humano.

Las investigaciones realizadas en la elaboración de este trabajo y las herramientas utilizadas en la creación del sistema BACO, estuvieron orientadas a descubrir si era posible reemplazar al experto humano en la enseñanza de la anatomía humana o si su utilización resultaría en un comportamiento parecido al del ser humano. BACO es un sistema experto de los órganos del cuerpo humano, que muestra características de tipo inteligente, porque es capaz de trabajar con información incompleta, por su habilidad para inferir y por su capacidad de aprendizaje. Aún con lo anterior, es realmente difícil decidir si hoy en día un sistema experto sustituye al ser humano. Para ello, habría que considerar la prueba de Turing (expuesta en la historia de la Inteligencia Artificial, página 5) en la que se evalúa la inteligencia de una computadora.

Pasar esta prueba es complejo, se tendría que hacer que la computadora reconozca el lenguaje natural, razone, aprenda y represente el conocimiento (en lo que hoy en día, los interesados en la ciencia de la computación, sobre todo en el área de la Inteligencia Artificial, están trabajando). Los avances cada vez son mayores pero la idea de crear una máquina o un software inteligente, por el momento requiere de combinar las otras áreas de la IA en los sistemas expertos. Evidentemente los resultados obtenidos en algunos programas, como por ejemplo ELIZA, MYCIN, etc., e incluso con BACO, pueden dar la idea de programas inteligentes.

Siendo así y apoyado en algunas pruebas realizadas con BACO y otros sistemas expertos, hasta nuestros días un software todavía no puede reemplazar a un experto humano, quizás pueda servir como un ayudante, un apoyo, una herramienta para obtener conocimiento, etc., ya que los avances teóricos y tecnológicos actuales son aún insuficientes para imitar con exactitud el razonamiento y la toma de decisiones de los expertos humanos. Quizás en el futuro y con el avance de la ciencia y la tecnología, el surgimiento de nuevas ideas y los logros en otras áreas del conocimiento, tal vez se puedan obtener máquinas inteligentes, que sin duda algún día pasen satisfactoriamente la prueba de Turing.

El pensamiento humano “siempre será primero”, más si se sabe que Lady Love Lace pudo haber dicho “las máquinas sólo hacen lo que se les dice” pero también Turing pudo haber contestado “hay cosas que las computadoras hacen y que sorprende”. Los sistemas expertos son utilizados cada vez más, con BACO se pretende fomentar la creación y utilización de sistemas cuya característica esencial sea la inteligencia.

Como último comentario, se señalan tres aspectos básicos como sugerencia para crear SE: la función (qué es lo que se realizará, el propósito del proyecto), la metodología (fases o etapas por las que el proyecto pasará), hardware y software (qué herramientas se utilizarán para crear el sistema experto). Sea cual sea el equipo de trabajo o las herramienta, siempre que se vayan a desarrollar sistemas expertos, hay que pensar en un principio lo que hace posible crear este tipo de programas, siempre habrá que pensar en la ingeniería del conocimiento.

Referencias Bibliográficas

- Carrico, M., A. et al. *Building Knowledge Systems: Developing and Managing Rule-Based Applications*, McGraw-Hill, New York, U.S.A., 1989.
- Fabrycky, W., J. and Mize, J., H. *Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc., U.S.A., 1992.
- Firebaugh, W., Morris. *Artificial Intelligence, A Knowledge Based Aproach*, PWS-KENT Publishing Company Boston, Massachusetts, U.S.A., 1989.
- Hayes-Roth, F. et al. *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Mass., U.S.A., 1983.
- Higashida, Bertha. *Ciencias de la Salud*, McGraw-Hill, México, 3° Edición, 1996.
- Lindsay, Susan. *Practical Aplications of Expert Systems*, QED Information Sciences, Inc., Wellesley, Massachusetts, U.S.A., 1988.
- Mompín, Poblet, José et al. *Inteligencia Artificial: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-México, 1987.
- Prerau, David, S. *Developing and Managing Expert Systems, Proven Techniques for Business and Industry*, Addison-Wesley Publishing Company, Mass., U.S.A., 1990.
- Rich, E.. *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York, U.S.A., 1983.
- Rouvière, H. y Delmos, A.. *Anatomía Humana, Descriptiva, topográfica y Funcional*, Masson S.A. Ed., España, 9° Edición, Tomo1, 1987.
- Turban, Efraim. *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*, McMillan Publishing Company, California State University at Long Beach, U.S.A., 1992.
- Tuthill, G., S.. *Knowledge Engineering*, Blue Ridge Summit, Pa., TAB Books, U.S.A., 1990.
- Waterman, D.. *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Mass., U.S.A., 1986.

Bibliografía

- Aubert, J-P y Schomberg, R.. *Inteligencia Artificial*, Paraninfo Ed., España, 1986, 132 pp.
- Clocksinn, W., F. and Mellish, C., S.. *Programming in Prolog*, Springer-Verlag, Heidelberg-New York, U.S.A., 1987, 3° Edition, 281 pp.
- Elaine, Rich y Knight, Kevin. *Inteligencia Artificial*, McGraw-Hill, Inc., España, 1994, 2° Edición, 703 pp.
- Giarratano, Joseph and Riley, Gary. *Expert Systems, Principles and Programming*, PWS Publishing Company, U.S.A., 1994, 2° Edición, 644 pp.
- Ignizio, P., James. *Introduction to Expert Systems, The Development and Implementation of Rule-Based Expert Systems*, McGraw-Hill, Inc., U.S.A., 1991, 402 pp.
- Klahr, Waterman. *Expert Systems, Techniques, Tools and Applications*, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., 1986, 441 pp.
- McAllister, J.. *Inteligencia Artificial y Prolog en Microcomputadoras*, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-México, 1991, 221 pp.
- Nilsson, Nils, J.. *Artificial Intelligence, A New Synthesis*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco California, U.S.A., 1998, 513 pp.
- Partridge, Derek. *Artificial Intelligence and Software Engineering, Understanding the Promise of the Future*, Glenlake Publishing Company, Ltd., Fitzroy Dearborn Publishers, Chicago and London, U.S.A., 1998, 274 pp.
- Payne, C. and McArthur, C.. *Developing Expert Systems, Acknowledge Engineer's Handbook for Rules and Objects*, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., 1990, 401 pp.
- Penrose, Roger. *Shadows of the Mind, A Search for the Missing Science of Consciousness*, Oxford University, Press Inc., New York, U.S.A., 1994, 457 pp.
- Robinson, R., Phillip. *Aplique Turbo Prolog*, McGraw-Hill, Inc., México-U.S.A., 1987, 338 pp.
- Rouvière, H. y Delmos, A.. *Anatomía Humana, Descriptiva, topográfica y Funcional*, Masson S.A. Ed., España, 1987, 9° Edición, Tomo2, 687 pp.

Senn, A., James. *Análisis y Diseño de Sistemas de Información*, McGraw-Hill, Inc., México-U.S.A., 1992, 3° Edición, 942 pp.

Winston, P., Henry. *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., 1992, 3° Edition, 737 pp.

Anexos

I : Lista de órganos del cuerpo humano considerados en el sistema experto BACO.

II: Código en lenguaje Visual PROLOG del sistema experto BACO.

En el anexo I se especifican las partes de los órganos desde el punto de vista de la anatomía descriptiva, topográfica y funcional, mismos que están incluidas en la base de conocimiento y de hechos del sistema experto BACO.

El anexo II presenta el código (hechos y reglas de inferencia) en lenguaje de programación Visual PROLOG del sistema experto BACO.

Lista de órganos del cuerpo humano considerados en el sistema experto BACO

Apéndice.

Mesoapéndice, pliegue ileoapendicular.

Bazo.

Cara gástrica, hilio, ángulo basal interior, cara renal, ángulo basal posterior, una base o cara cólica, ángulo basal anterior.

Boca.

Lengua, arco palatofaríngeo, arco palatogloso, tonsila, paladar duro, paladar blando, úvula, pared posterior de la faringe.

Cerebelo.

Hemisferios cerebelosos, pedúnculos cerebelosos inferiores, pedúnculos cerebelosos medios, pedúnculos cerebelosos superiores, fisuras cerebelosas, corteza cerebelosa.

Cerebro.

Lóbulo parietal, núcleo caudado, lóbulo frontal, cuerpo calloso, tálamo, lóbulo occipital, lóbulo temporal, surco central, una área motora primaria, áreas sensitivas generales, una área primaria visual, una área primaria auditiva, una área primaria gustativa, un hemisferio izquierdo, un hemisferio derecho, fisura longitudinal, giro precentral, giro postcentral.

Clitoris.

Una parte llamada cuerpo, glánde, prepucio.

Conductos deferentes.

Epitelio pseudoestratificado, capas de tejido muscular.

Corazón.

Vena cava superior, arteria pulmonar derecha, aurícula derecha, valvas aórtica y pulmonar, vena cava inferior, ventrículo derecho, valvas auriculoventriculares, ventrículo izquierdo, septo interventricular, aurícula izquierda, arteria aorta.

Diafragma.

Centro frénico, cintilla semicircular superior, cintilla semicircular inferior, pilar izquierdo, pilar derecho, arco del Psoas, orificio de la vena cava inferior, orificio aórtico, orificio

esofágico, orificios del gran simpático, orificios de los nervios espláncnicos, orificios de las venas ácigos.

Duodeno.

Esfínter de Oddi, conducto colédoco, ámpula de Vater.

Epididimo.

Una cubierta fibrosa, cola, cabeza, una parte llamada cuerpo.

Epiglotis.

Cartilago epiglótico.

Escroto.

Pliegues transversales, una túnica celular subcutánea.

Esófago.

Pared esofágica, arterias esofágicas, túnica muscular, túnica celular, mucosa, plexo esofágico.

Estómago.

Un fondo, curvatura mayor, antro, orificio pilórico, esfínter pilórico, curvatura menor, una parte llamada cuerpo, cardias o repliegue.

Faringe.

Amígdalas faríngeas, amígdalas palatinas, tonsilas linguales.

Fosas nasales.

Cornete medio, cornete superior, cornete inferior, etmoides, meato inferior, meato medio, meato superior, espina nasal del frontal, agger nasi, masa lateral del etmoides, apófisis lagrimal, apófisis unciforme, apófisis palatina, cresta nasal, vómer, cartilago del tabique, cartilago de Jacobson, cartilago lateral, lámina horizontal del etmoides.

Glándulas suprarrenales.

Parénquima corticosuprarrenal, médula suprarrenal, vasos, nervios, arterias capsulares o arterias suprarrenales, venas suprarrenales.

Hígado.

Lóbulos derechos, lóbulos izquierdos, lóbulos cuadrados, peritoneo, cápsula de Glisson.

Hipófisis.

Lóbulo anterior o adenohipófisis, lóbulo posterior o neurohipófisis.

Hipotálamo.

Cuerpos mamilares, tubérculo ceniciento, infundíbulo, tractos, quiasma óptico.

Intestino delgado.

Fibras nerviosas, plexo nervioso submucoso, plexo nervioso mientérico, músculo liso longitudinal, músculo liso circular, muscularis mucosae, mucosa, submucosa, microvellosidades.

Intestino grueso.

Ciego, apéndice ileocecal, colon, recto, canal anal.

Laringe.

Cartilago tiroideo, cartilago cricoides, cartilago epiglottis, pliegue vestibular, pliegue vocal, glotis.

Médula espinal.

Surco medio posterior, surco colateral anterior, un ensanchamiento cervical, surco colateral posterior, surco medio anterior, cordón anterior, cordón lateral, cordón posterior, surco intermedio posterior, un ensanchamiento lumbar, cono medular, filum terminal, septum medio, cono terminal, capa zonal, cuerno posterior, cuerno anterior, núcleo lateral, núcleo anterior externo, núcleo anterior interno, sustancia gelatinosa central, columna vesicular de Clarke, comisura blanca, comisura gris.

Meninges.

Membrana duramadre, membrana aracnoideas, membrana piamadre, un espacio supraaracnoideo, un espacio subaracnoideo.

Nariz.

Hueso nasal, cartilago nasal lateral, cartilago del septo, seno frontal, cartilago del tabique nasal, fosas nasales.

Ovarios.

Epitelio germinativo, folículos maduros, folículos primarios, cuerpo amarillo.

Páncreas.

Una parte llamada cabeza, una parte llamada cuerpo, cola, células llamadas acinos.

Paratiroides.

Paratiroides superior, paratiroides inferior, vasos y arterias.

Parótida.

Celda parotídea, una cara externa, una cara interna, una cara posterior, extremidad o base inferior, base superior, un borde anterior, un borde interior, un borde posterior.

Pene.

Una parte llamada cuerpo, glande, prepucio, frenillo, corona, cuerpos cavernosos, cuerpo esponjoso.

Próstata.

Cara anterior, cara posterior, dos caras laterales, una base, un vértice.

Pulmones.

Lóbulo inferior, lóbulo superior, bronquiolo terminal, vaso linfático, vénula, arteriola, conductos alveolares, alvéolos, pleura.

Recto.

Mucosa rectal, capa muscular interna, espacio intercolumnar, columna de Morgagni, conducto anal, zona cutánea lisa, zona cutánea, tejido celular subcutáneo, plexo submucoso, túnica serosa, túnica muscular, fibras.

Riñón.

Arteria interlobular, pirámide renal, hilio renal, arteria renal, pelvis renal, médula renal, cápsula fibrosa, cáliz mayor, una corteza, cáliz menor, columna renal, arteria arcuata.

Sentido de la audición.

Oreja, conducto auditivo externo, tímpano, yunque, estribo en la ventana vestibular, trompa de Eustaquio, ventana coclear, cóclea, vestibulo, ámpulas, canales semicirculares, martillo, cavidad timpánica, hueso temporal.

Sentido de la vista.

Córnea, músculo ciliar, cristalino, músculo recto medial, coroides, esclera, retina, nervio óptico, fovea central, vasos sanguíneos, músculo recto lateral, ligamento suspensorio, cuerpo ciliar, iris, humor acuoso, pupila, humor vítreo.

Sentido del gusto.

Glotis, úvula, tonsila, papila fungiforme, papila filiforme, papilas caliciformes, amígdala, amígdala lingual, epiglotis lingual.

Sentido del olfato.

Lámina cribosa del etmoides, conchas nasales, paladar, mucosa olfativa, tracto olfativo, nervio olfativo, bulbo olfativo.

Sentido del tacto.

Pliegues, surcos, epidermis, dermis, pániculo adiposo, fascia superficial, tejido celular subcutáneo, aponeurosis.

Testículos.

Túbulos seminíferos, red testicular, tabique del testículo, conductos eferentes, túnica albugínea.

Timo.

Lóbulo lateral izquierdo, lóbulo lateral derecho, lobulillos.

Tiroides.

Foliculos tiroideos, una parte llamada istmo.

Tráquea.

Herraduras cartilaginosas, tejido muscular liso, tejido conjuntivo elástico, cartílagos de la tráquea.

Trompas de Falopio.

Una porción intersticial, un istmo, una porción media o ampolla, pabellón, fimbrias, membrana serosa, túnica media, túnica interior o mucosa.

Uréteres.

Túnica mucosa, túnica muscular, túnica exterior fibrosa.

Uretra.

Túnica mucosa interior, túnica intermedia, túnica exterior muscular.

Útero.

Un fondo, una parte llamada cuerpo, cérvix, cavidad uterina, túnica exterior, miometrio, endometrio.

Vagina.

Capa exterior fibrosa, una capa media de tejido, túnica mucosa interior.

Vejiga.

Túnica mucosa interior, túnica de tejido conjuntivo, túnica muscular, fibras circulares, peritoneo.

Vesícula biliar.

Túnica mucosa, túnica media, conducto cístico.

Vesículas seminales.

Capas de tejido muscular, epitelio.

Código en lenguaje Visual PROLOG del sistema experto BACO

DATABASE%### PREDICADOS PARA UTILIZAR LA BASE DE DATOS
 tiene(symbol,symbol), es_un(symbol,symbol)

FACTS - bdauxiliar
 guarda1(string), guarda2(string), guarda3(string), guarda4(string), guarda5(string), guarda6(string)
 guarda7(string)

FACTS - bdauxiliar2
 respuestasi(symbol), respuestano(symbol), respuesta(string), verifica(symbol)

FACTS - bdauxiliar3
 g(symbol), g1(symbol), g2(symbol), solución(symbol)

DOMAINS %### DECLARACIÓN DEL TIPO DE DATO LISTA
 lista=symbol*

PREDICATES %### DECLARACIÓN DE LOS PREDICADOS A USAR EN EL PROGRAMA
 nondeterm árbol(symbol,lista), nondeterm características_de(symbol)
 nondeterm características(lista), nondeterm busca_profundidad(symbol)
 nondeterm busca_anchura(symbol), nondeterm encadena_profundidad(lista)
 nondeterm encadena_anchura(lista), nondeterm reco1(lista,symbol)
 nondeterm realiza_anchura(symbol,lista), nondeterm reco2(lista,symbol)
 nondeterm recorre1(lista,lista,symbol), nondeterm recorre2(lista,lista)
 nondeterm recorre3(lista,lista), nondeterm recorre4(lista,lista,symbol)
 nondeterm características_partes(symbol,lista), nondeterm analiza(symbol,symbol)
 nondeterm miembro(symbol,lista), nondeterm mensaje1(symbol,symbol)
 nondeterm información1(lista), nondeterm información2(lista)
 nondeterm información3(symbol,lista), nondeterm info1(symbol)
 nondeterm info2(symbol), nondeterm info3
 nondeterm info4, nondeterm info5(symbol)
 nondeterm database1(lista), nondeterm database2(lista)
 nondeterm f(lista), nondeterm database3(lista,symbol)
 nondeterm database4(symbol), nondeterm fp(lista)
 nondeterm mp(lista), nondeterm m(lista)
 nondeterm busca1(symbol,symbol,symbol), nondeterm busca(symbol,lista,symbol)
 nondeterm subcadena(string,string), nondeterm cambia(symbol,symbol)
 nondeterm intercambia(symbol,symbol), nondeterm filtrar1(lista)

nondeterm filtrar2(lista), nondeterm alternativa1
 nondeterm bdepty, nondeterm leercadena1
 nondeterm bhechos(symbol,symbol), nondeterm baco_aprende1(lista,symbol)
 nondeterm baco_aprende2(lista), nondeterm estructura(symbol,lista)
 nondeterm verifica_hipótesis, nondeterm call_false(symbol,lista)
 nondeterm baco_aprende3(lista,symbol), nondeterm baco_aprende4(symbol)
 nondeterm baco_aprende5(symbol), nondeterm reco11(lista,symbol)
 nondeterm reco22(lista,symbol), nondeterm ver_cp(lista,lista)
 nondeterm false_cp(lista,lista), nondeterm busca2(symbol,lista)
 nondeterm busca3(symbol,symbol), nondeterm busca4(symbol,symbol)
 nondeterm concatena(symbol,symbol), nondeterm verificaresp(symbol)
 nondeterm consultbd(lista,symbol), nondeterm repetir1
 nondeterm repetir2(symbol), nondeterm cambia_form(symbol,symbol)
 nondeterm no_repite1(symbol,symbol), nondeterm no_repite2(symbol,symbol)
 nondeterm iniciar, nondeterm inicia(string)
 nondeterm subinicia(string), nondeterm selección(string)
 nondeterm formato1(string,string), nondeterm formato2(string,string)
 nondeterm mp1, nondeterm principal, nondeterm run
 diccionario1(lista), almacena(symbol,symbol), positivo(symbol), negativo(symbol)
 preguntar(symbol,symbol), append(lista,lista,lista), alternativa2, alternativa3, espacios
 bdice, pre_consult, pre_save, mp, mensaje0, mensaje2, mensaje3, mensaje4
 mensaje5, mensaje6, mensaje7, mensaje8, mensaje9, mensaje10, mensaje11(symbol)
 mensaje12, mensaje13, mensaje14, mensaje15(symbol,symbol), mensaje16, mensaje17
 mensaje18, mensaje19(symbol,symbol,symbol), mensaje20, mensaje21,
 mensaje22(symbol,symbol), convierte1(symbol,symbol), convierte2(symbol,symbol)
 cambiasistema(lista)

cuerpo_humano(lista)endocrino(lista)reproductor(lista)reproductor_femenino(lista)
 reproductor_masculino(lista)urinario(lista)digestivo(lista)nervioso(lista)respiratorio(lista)
 óseo(lista)muscular(lista)circulatorio(lista)sensorial(lista)sentidos(lista)cerebro(lista)cerebelo(lista)
 médula_espinal(lista)meninges(lista)boca(lista)estómago(lista)intestino_delgado(lista)
 intestino_grueso(lista)vesícula_biliar(lista)parótida(lista)epiglotis(lista)esófago(lista)
 apéndice(lista)diafragma(lista)bazo(lista)recto(lista)duodeno(lista)hígado(lista)huesos(lista)
 músculos(lista)corazón(lista)laringe(lista)tráquea(lista)faringe(lista)pulmones(lista)
 fosas_nasales(lista)riñón(lista)uréteres(lista)vejiga(lista)uretra(lista)ovarios(lista)útero(lista)
 vagina(lista)trompas_de_falopio(lista)clitoris(lista)testiculos(lista)epididimo(lista)
 conductos_deferentes(lista)vesículas_seminales(lista)pene(lista)próstata(lista)escroto(lista)
 hipófisis(lista)tiroides(lista)páncreas(lista)paratiroides(lista)glándulas_suprarrenales(lista)
 timo(lista)hipotálamo(lista)ojo(lista)oído(lista)lengua(lista)nariz(lista)piel(lista)vista(lista)
 audición(lista)gusto(lista)olfato(lista)tacto(lista)

CLAUSES

```

%##### COMIENZA LA BASE DE CONOCIMIENTO Y DE HECHOS #####
estructura(cuerpo_humano,[sistema]).
estructura(sistema,[órgano]).
estructura(órgano,[tejido]).
estructura(tejido,[]).
  
```

árbol(cuerpo_humano,[endocrino,reproductor,urinario,digestivo,nervioso,respiratorio,óseo,muscular,circulatorio,sensorial]).
 árbol(endocrino,[hipófisis,tiroides,paratiroides,glándulas_suprarrenales,páncreas,ovarios,testículos,timo,hipotálamo]).
 árbol(reproductor,[reproductor_masculino,reproductor_femenino]).
 árbol(reproductor_femenino,[vejiga,trompas_de_falopio,vagina,uréteres,clitoris,uretra,ovarios,útero]).
 árbol(reproductor_masculino,[epidídimo,vejiga,próstata,vesículas_seminales,conductos_deferentes,pene,escroto,uretra,testículos,uréteres]).
 árbol(urinario,[riñón,vejiga,uretra,uréteres]).
 árbol(digestivo,[epiglotis,esófago,tráquea,higado,vesícula_biliar,páncreas,intestino_grueso,intestino_delgado,apéndice,diaphragma,bazo,estómago,boca,parótida,recto,duodeno]).
 árbol(nervioso,[hipófisis,cerebro,cerebelo,médula_espinal,meninges]).
 árbol(respiratorio,[epiglotis,tráquea,laringe,nariz,pulmones,diaphragma,bronquios,faringe,fosas_nasales]). árbol(óseo,[huesos]). árbol(muscular,[músculos]). árbol(circulatorio,[corazón]). árbol(sensorial,[sentidos]). árbol(sensorial,[gusto,audición,olfato,vista,tacto]). árbol(sentidos,[ojo,oído,lengua,piel,nariz]).
 árbol(hipófisis,[]). árbol(tiroides,[]). árbol(paratiroides,[]). árbol(glándulas_suprarrenales,[]). árbol(ovarios,[]). árbol(testículos,[]). árbol(timo,[]). árbol(hipotálamo,[]). árbol(vejiga,[]). árbol(trompas_de_falopio,[]). árbol(vagina,[]). árbol(uréteres,[]). árbol(clitoris,[]). árbol(uretra,[]). árbol(útero,[]). árbol(epidídimo,[]). árbol(próstata,[]). árbol(vesículas_seminales,[]). árbol(conductos_deferentes,[]). árbol(pene,[]). árbol(escroto,[]). árbol(riñón,[]). árbol(esófago,[]). árbol(tráquea,[]). árbol(higado,[]). árbol(vesícula_biliar,[]). árbol(páncreas,[]). árbol(intestino_grueso,[]). árbol(intestino_delgado,[]). árbol(apéndice,[]). árbol(bazo,[]). árbol(estómago,[]). árbol(boca,[]). árbol(parótida,[]). árbol(recto,[]). árbol(duodeno,[]). árbol(cerebro,[]). árbol(cerebelo,[]). árbol(médula_espinal,[]). árbol(meninges,[]). árbol(epiglotis,[]). árbol(laringe,[]). árbol(pulmones,[]). árbol(diaphragma,[]). árbol(bronquios,[]). árbol(faringe,[]). árbol(fosas_nasales,[]). árbol(huesos,[]). árbol(músculos,[]). árbol(corazón,[]). árbol(gusto,[]). árbol(audición,[]). árbol(olfato,[]). árbol(vista,[]). árbol(tacto,[]). árbol(ojo,[]). árbol(oído,[]). árbol(lengua,[]). árbol(piel,[]). árbol(nariz,[]).

cuerpo_humano(["tiene aparatos/sistemas","tiene endocrino","tiene reproductor femenino","tiene reproductor masculino","tiene urinario","tiene digestivo","tiene nervioso","tiene respiratorio","tiene óseo","tiene muscular","tiene circulatorio","tiene sensorial"]).
 endocrino(["tiene hipófisis","tiene tiroides","tiene paratiroides","tiene glándulas suprarrenales","tiene páncreas","tiene ovarios","tiene testículos","tiene timo","tiene hipotálamo"]).
 reproductor(["tiene reproductor femenino","tiene reproductor masculino"]).
 reproductor_femenino(["tiene vejiga","tiene trompas de falopio","tiene vagina","tiene uréteres","tiene clitoris","tiene uretra","tiene ovarios","tiene útero o matriz"]).
 reproductor_masculino(["tiene epidídimo","tiene vejiga","tiene próstata","tiene vesículas seminales","tiene conductos deferentes","tiene pene","tiene escroto","tiene uretra","tiene testículos","tiene uréteres"]).
 urinario(["tiene riñón","tiene vejiga","tiene uretra","tiene uréteres"]).
 digestivo(["tiene epiglotis","tiene esófago","tiene tráquea","tiene higado","tiene vesícula biliar","tiene páncreas","tiene intestino grueso","tiene intestino delgado",

"tiene apéndice", "tiene diafragma", "tiene bazo", "tiene estómago", "tiene boca",
 "tiene parótida", "tiene recto", "tiene duodeno").
 nervioso(["tiene hipófisis", "tiene cerebro", "tiene cerebelo", "tiene médula espinal",
 "tiene meninges"]).
 respiratorio(["tiene epiglotis", "tiene tráquea", "tiene laringe", "tiene nariz", "tiene pulmones",
 "tiene diafragma", "tiene bronquios", "tiene faringe", "tiene fosas nasales"]).
 óseo(["tiene huesos"]).
 muscular(["tiene músculos"]).
 circulatorio(["tiene corazón"]).
 sensorial(["tiene sentido del gusto", "tiene sentido de la audición", "tiene sentido del olfato",
 "tiene sentido de la vista", "tiene sentido del tacto"]).
 sentidos(["tiene lengua", "tiene oído", "tiene nariz", "tiene ojo", "tiene piel"]).

%##### COMIENZAS LOS ÓRGANOS Y SUS PARTES #####

cerebro(["tiene lóbulo parietal", "tiene núcleo caudado", "tiene lóbulo frontal",
 "tiene cuerpo caloso", "tiene tálamo", "tiene lóbulo occipital", "tiene lóbulo temporal",
 "tiene surco central", "tiene área motora primaria", "tiene áreas sensitivas generales",
 "tiene área primaria visual", "tiene área primaria auditiva", "tiene área primaria gustativa",
 "tiene hemisferio izquierdo", "tiene hemisferio derecho", "tiene fisura longitudinal",
 "tiene giro precentral", "tiene giro postcentral"]).
 cerebelo(["tiene hemisferios cerebelosos", "tiene pedúnculos cerebelosos inferiores",
 "tiene pedúnculos cerebelosos medios", "tiene pedúnculos cerebelosos superiores",
 "tiene fisuras cerebelosas", "tiene corteza cerebelosa"]).
 médula_espinal(["tiene surco medio posterior", "tiene surco colateral anterior",
 "tiene ensanchamiento cervical", "tiene surco colateral posterior",
 "tiene surco medio anterior", "tiene cordón anterior", "tiene cordón lateral",
 "tiene cordón posterior", "tiene surco intermedio posterior", "tiene ensanchamiento lumbar",
 "tiene cono medular", "tiene filum terminal", "tiene septum medio", "tiene cono terminal",
 "tiene capa zonal", "tiene cuerno posterior", "tiene cuerno anterior", "tiene núcleo lateral",
 "tiene núcleo anterior externo", "tiene núcleo anterior interno",
 "tiene sustancia gelatinosa central", "tiene columna vesicular de clarke",
 "tiene comisura blanca", "tiene comisura gris"]).
 meninges(["tiene membrana duramadre", "tiene membrana aracnoides",
 "tiene membrana piamadre", "tiene espacio supraaracnoideo", "tiene espacio subaracnoideo"]).
 boca(["tiene lengua", "tiene arco palatofaríngeo", "tiene arco palatogloso", "tiene tonsila",
 "tiene paladar duro", "tiene paladar blando", "tiene úvula",
 "tiene pared posterior de la faringe", "tiene dientes", "tiene labios"]).
 estómago(["tiene fondo", "tiene curvatura mayor", "tiene antro", "tiene orificio pilórico",
 "tiene esfínter pilórico", "tiene curvatura menor", "tiene parte llamada cuerpo",
 "tiene cardias o repliegue"]).
 intestino_delgado(["tiene fibras nerviosas", "tiene plexo nervioso submucoso",
 "tiene plexo nervioso mientérico", "tiene músculo liso longitudinal",
 "tiene músculo liso circular", "tiene muscularis mucosae", "tiene mucosa", "tiene submucosa",
 "tiene microvellosidades"]).
 intestino_grueso(["tiene ciego", "tiene apéndice ileocecal", "tiene colon", "tiene recto",
 "tiene canal anal"]).
 hígado(["tiene lóbulos derechos", "tiene lóbulos izquierdos", "tiene lóbulos cuadrados",

"tiene peritoneo", "tiene cápsula de glisson").
vesícula_biliar(["tiene túnica mucosa", "tiene túnica media", "tiene conducto cístico"]).
duodeno(["tiene esfinter de oddi", "tiene conducto colédoco", "tiene ampulla de vater"]).
parótida(["tiene celda parotídea", "tiene cara externa", "tiene cara interna", "tiene cara posterior",
"tiene extremidad o base inferior", "tiene base superior", "tiene borde anterior",
"tiene borde interior", "tiene borde posterior"]).
epiglotis(["tiene cartilago epiglótico"]).
esófago(["tiene pared esofágica", "tiene arterias esofágicas", "tiene túnica muscular",
"tiene túnica celular", "tiene mucosa", "tiene plexo esofágico"]).
apéndice(["tiene mesoapéndice", "tiene pliegue ileoapendicular"]).
diafragma(["tiene centro frénico", "tiene cintilla semicircular superior",
"tiene cintilla semicircular inferior", "tiene pilar izquierdo", "tiene pilar derecho",
"tiene arco del psoas", "tiene orificio de la vena cava inferior", "tiene orificio aórtico",
"tiene orificio esofágico", "tiene orificios del gran simpático",
"tiene orificios de los nervios espláncnicos", "tiene orificios de las venas ácigos"]).
bazo(["tiene cara gástrica", "tiene hilio", "tiene ángulo basal inferior", "tiene cara renal",
"tiene ángulo basal posterior", "tiene base o cara cólica", "tiene ángulo basal anterior"]).
recto(["tiene mucosa rectal", "tiene capa muscular interna", "tiene espacio intercolumnar",
"tiene columna de morgagni", "tiene conducto anal", "tiene zona cutánea lisa",
"tiene zona cutánea", "tiene tejido celular subcutáneo", "tiene plexo submucoso",
"tiene túnica serosa", "tiene túnica muscular", "tiene fibras"]).
corazón(["tiene vena cava superior", "tiene arteria pulmonar derecha", "tiene aurícula derecha",
"tiene valvas aórtica y pulmonar", "tiene vena cava inferior", "tiene ventrículo derecho",
"tiene valvas auriculoventriculares", "tiene ventrículo izquierdo", "tiene septo interventricular",
"tiene aurícula izquierda", "tiene arteria aorta"]).
laringe(["tiene cartilago tiroideo", "tiene cartilago cricoides", "tiene cartilago epiglótico",
"tiene pliegue vestibular", "tiene pliegue vocal", "tiene glotis"]).
tráquea(["tiene herraduras cartilaginosas", "tiene tejido muscular liso",
"tiene tejido conjuntivo elástico", "tiene cartilagos de la tráquea"]).
faringe(["tiene amígdalas faríngeas", "tiene amígdalas palatinas", "tiene tonsilas linguales"]).
pulmones(["tiene lóbulo inferior", "tiene lóbulo superior", "tiene bronquiolo terminal",
"tiene vaso linfático", "tiene vénula", "tiene arteriola", "tiene conductos alveolares",
"tiene alvéolos", "tiene pleura"]).
fosas_nasales(["tiene cornete medio", "tiene cornete superior", "tiene cornete inferior",
"tiene etmoides", "tiene meato inferior", "tiene meato medio", "tiene meato superior",
"tiene espina nasal del frontal", "tiene agger nasi", "tiene masa lateral del etmoides",
"tiene apófisis lagrimal", "tiene apófisis unciforme", "tiene apófisis palatina",
"tiene cresta nasal", "tiene vómer", "tiene cartilago del tabique", "tiene cartilago de jacobson",
"tiene cartilago lateral", "tiene lámina horizontal del etmoides"]).
riñón(["tiene arteria interlobular", "tiene pirámide renal", "tiene hilio renal", "tiene arteria renal",
"tiene pelvis renal", "tiene médula renal", "tiene cápsula fibrosa", "tiene cáliz mayor", "tiene corteza",
"tiene cáliz menor", "tiene columna renal", "tiene arteria arcuata"]).
uréteres(["tiene túnica mucosa", "tiene túnica muscular", "tiene túnica exterior fibrosa"]).
vejiga(["tiene túnica mucosa interior", "tiene túnica de tejido conjuntivo", "tiene túnica muscular",
"tiene fibras circulares", "tiene peritoneo"]).
uretra(["tiene túnica mucosa interior", "tiene túnica intermedia", "tiene túnica exterior muscular"]).
ovarios(["tiene epitelio germinativo", "tiene folículos maduros", "tiene folículos primarios"],

"tiene cuerpo amarillo").
 útero(["tiene cérvix", "tiene cuerpo", "tiene fondo", "tiene cavidad uterina", "tiene túnica exterior", "tiene miometrio", "tiene endometrio"]).
 vagina(["tiene capa exterior fibrosa", "tiene capa media de tejido", "tiene túnica mucosa interior"]).
 trompas_de_falopio(["tiene porción intersticial", "tiene istmo", "tiene porción media o ampolla", "tiene pabellón", "tiene fimbrias", "tiene membrana serosa", "tiene túnica media", "tiene túnica interior o mucosa"]).
 clítoris(["tiene cuerpo", "tiene prepucio", "tiene glande"]).
 testículos(["tiene túbulos seminíferos", "tiene red testicular", "tiene tabique del testículo", "tiene conductos eferentes", "tiene túnica albugínea"]).
 epidídimo(["tiene cubierta fibrosa", "tiene cuerpo", "tiene cola", "tiene cabeza"]).
 conductos_deferentes(["tiene epitelio pseudoestratificado", "tiene capas de tejido muscular"]).
 vesículas_seminales(["tiene capas de tejido muscular", "tiene epitelio"]).
 próstata(["tiene cara anterior", "tiene cara posterior", "tiene dos caras laterales", "tiene base", "tiene vértice"]).
 escroto(["tiene pliegues transversales", "tiene túnica celular subcutánea"]).
 pene(["tiene frenillo", "tiene corona", "tiene cuerpo", "tiene glande", "tiene cuerpos cavernosos", "tiene cuerpo esponjoso", "tiene prepucio"]).
 hipófisis(["tiene lóbulo anterior o adenohipófisis", "tiene lóbulo posterior o neurohipófisis"]).
 tiroides(["tiene folículos tiroideos", "tiene istmo"]).
 páncreas(["tiene cabeza", "tiene cuerpo", "tiene cola", "tiene células acinos"]).
 paratiroides(["tiene paratiroides superior", "tiene paratiroides inferior", "tiene vasos y arterias"]).
 glándulas_suprarrenales(["tiene parénquima corticosuprarrenal", "tiene médula suprarrenal", "tiene vasos", "tiene nervios", "tiene arterias capsulares o arterias suprarrenales", "tiene venas suprarrenales"]).
 timo(["tiene lóbulo lateral izquierdo", "tiene lóbulo lateral derecho", "tiene lobulillos"]).
 hipotálamo(["tiene cuerpos mamilares", "tiene tubérculo ceniciento", "tiene infundíbulo", "tiene tractos", "tiene quiasma óptico"]).
 huesos(["órganos blanquecino y duros"]).
 músculos(["fibras"]).
 ojo(["tiene córnea", "tiene músculo ciliar", "tiene cristalino", "tiene músculo recto medial", "tiene coroides", "tiene esclera", "tiene retina", "tiene nervio óptico", "tiene fovea central", "tiene vasos sanguíneos", "tiene músculo recto lateral", "tiene ligamento suspensorio", "tiene cuerpo ciliar", "tiene iris", "tiene humor acuoso", "tiene pupila", "tiene humor vítreo"]).
 oído(["tiene oreja", "tiene conducto auditivo externo", "tiene tímpano", "tiene yunque", "tiene estribo en la ventana vestibular", "tiene trompa de eustaquio", "tiene ventana coclear", "tiene cóclea", "tiene vestíbulo", "tiene ámpulas", "tiene canales semicirculares", "tiene martillo", "tiene cavidad timpánica", "tiene hueso temporal"]).
 lengua(["tiene glotis", "tiene úvula", "tiene tonsila", "tiene papila fungiforme", "tiene papila filiforme", "tiene papilas caliciformes", "tiene amígdala", "tiene amígdala lingual", "tiene epiglotis lingual"]).
 nariz(["tiene hueso nasal", "tiene cartilago nasal lateral", "tiene cartilago del septo", "tiene seno frontal", "tiene cartilago del tabique nasal", "tiene fosas nasales", "tiene lámina cribosa del etmoides", "tiene conchas nasales", "tiene mucosa olfativa", "tiene tracto olfativo", "tiene nervio olfativo", "tiene bulbo olfativo"]).
 piel(["tiene pliegues", "tiene surcos", "tiene epidermis", "tiene dermis", "tiene pániculo adiposo", "tiene fascia superficial", "tiene tejido celular subcutáneo", "tiene aponeurosis"]).

vista(["tiene córnea", "tiene músculo ciliar", "tiene cristalino", "tiene músculo recto medial", "tiene coroides", "tiene esclera", "tiene retina", "tiene nervio óptico", "tiene fovea central", "tiene vasos sanguíneos", "tiene músculo recto lateral", "tiene ligamento suspensorio", "tiene cuerpo ciliar", "tiene iris", "tiene humor acuoso", "tiene pupila", "tiene humor vítreo"]).

audición(["tiene oreja", "tiene conducto auditivo externo", "tiene tímpano", "tiene yunque", "tiene estribo en la ventana vestibular", "tiene trompa de eustaquio", "tiene ventana coclear", "tiene cóclea", "tiene vestíbulo", "tiene ámpulas", "tiene canales semicirculares", "tiene martillo", "tiene cavidad timpánica", "tiene hueso temporal"]).

gusto(["tiene glotis", "tiene úvula", "tiene tonsila", "tiene papila fungiforme", "tiene papila filiforme", "tiene papilas caliciformes", "tiene amígdala", "tiene amígdala lingual", "tiene epiglotis lingual"]).

olfato(["tiene lámina cribosa del etmoides", "tiene conchas nasales", "tiene mucosa olfativa", "tiene tracto olfativo", "tiene nervio olfativo", "tiene bulbo olfativo"]).

tacto(["tiene pliegues", "tiene surcos", "tiene epidermis", "tiene dermis", "tiene panículo adiposo", "tiene fascia superficial", "tiene tejido celular subcutáneo", "tiene aponeurosis"]).

%##### INICIAN LAS REGLAS DE INFERENCIA #####

%##### REGLA PARA IMPRIMIR SISTEMAS, ÓRGANOS Y PARTES.

características([]).

características([X|[]]):-espacios,write(X),nl.

características([X|Y]):-espacios,write(X),nl,características(Y).

características_de(X):-X=cuerpo_humano,cuerpo_humano(P),características(P);

X=endocrino,endocrino(P),características(P);

X=hipófisis,hipófisis(P),características(P);X=tiroides,tiroides(P),características(P);

X=paratiroides,paratiroides(P),características(P);

X=glándulas_suprarrenales,glándulas_suprarrenales(P),características(P);

X=páncreas,páncreas(P),características(P);X=ovarios,ovarios(P),características(P);

X=testiculos,testiculos(P),características(P);X=timo,timo(P),características(P);

X=hipotálamo,hipotálamo(P),características(P);X=reproductor,reproductor(P),características(P);

X=reproductor_femenino,reproductor_femenino(P),características(P);

X=trompas_de_falopio,trompas_de_falopio(P),características(P);

X=vagina,vagina(P),características(P);X=uréteres,uréteres(P),características(P);

X=clitoris,clitoris(P),características(P);X=uretra,uretra(P),características(P);

X=útero,útero(P),características(P);

X=reproductor_masculino,reproductor_masculino(P),características(P);

X=epidídimo,epidídimo(P),características(P);X=próstata,próstata(P),características(P);

X=vesículas_seminales,vesículas_seminales(P),características(P);

X=conductos_deferentes,conductos_deferentes(P),características(P);

X=pene,pene(P),características(P);X=escroto,escroto(P),características(P);

X=urinario,urinario(P),características(P);X=riñón,riñón(P),características(P);

X=vejiga,vejiga(P),características(P);X=digestivo,digestivo(P),características(P);

X=esófago,esófago(P),características(P);X=hígado,hígado(P),características(P);

X=vesícula_biliar,vesícula_biliar(P),características(P);

X=intestino_grueso,intestino_grueso(P),características(P);

X=intestino_delgado,intestino_delgado(P),características(P);

X=apéndice,apéndice(P),características(P);X=bazo,bazo(P),características(P);

X=estómago,estómago(P),características(P);X=boca,boca(P),características(P);

X=parótida,parótida(P),características(P);X=recto,recto(P),características(P);

X=duodeno,duodeno(P),características(P);X=nervioso,nervioso(P),características(P);
 X=cerebro,cerebro(P),características(P);X=cerebelo,cerebelo(P),características(P);
 X=médula_espinal,médula_espinal(P),características(P);
 X=meninges,meninges(P),características(P);X=respiratorio,respiratorio(P),características(P);
 X=epiglotis,epiglotis(P),características(P);X=tráquea,tráquea(P),características(P);
 X=laringe,laringe(P),características(P);X=nariz,nariz(P),características(P);
 X=pulmones,pulmones(P),características(P);X=diafragma,diafragma(P),características(P);
 X=faringe,faringe(P),características(P);X=fosas_nasales,fosas_nasales(P),características(P);
 X=óseo,óseo(P),características(P);X=huesos,huesos(P),características(P);
 X=muscular,muscular(P),características(P);X=músculos,músculos(P),características(P);
 X=circulatorio,circulatorio(P),características(P);X=corazón,corazón(P),características(P);
 X=sensorial,sensorial(P),características(P);X=gusto,gusto(P),características(P);
 X=audición,audición(P),características(P);X=olfato,olfato(P),características(P);
 X=vista,vista(P),características(P);X=tacto,tacto(P),características(P);
 X=sentidos,sentidos(P),características(P);X=ojo,ojo(P),características(P);
 X=oído,oído(P),características(P);X=lengua,lengua(P),características(P);
 X=piel,piel(P),características(P).

características_partes(X,P):-X=cuerpo_humano,cuerpo_humano(P);
 X=endocrino,endocrino(P);
 X=hipófisis,hipófisis(P);X=tiroides,tiroides(P);X=paratiroides,paratiroides(P);
 X=glándulas_suprarrenales,glándulas_suprarrenales(P);X=páncreas,páncreas(P);
 X=ovarios,ovarios(P);X=testículos,testículos(P);X=timó,timó(P);
 X=hipotálamo,hipotálamo(P);X=reproductor,reproductor(P);
 X=reproductor_femenino,reproductor_femenino(P);
 X=trompas_de_falopio,trompas_de_falopio(P);X=vagina,vagina(P);X=uréteres,uréteres(P);
 X=clitoris,clitoris(P);X=uretra,uretra(P);X=útero,útero(P);
 X=reproductor_masculino,reproductor_masculino(P);X=epidídimo,epidídimo(P);
 X=próstata,próstata(P);X=vesículas_seminales,vesículas_seminales(P);
 X=conductos_deferentes,conductos_deferentes(P);X=pene,pene(P);X=escroto,escroto(P);
 X=urinario,urinario(P);X=riñón,riñón(P);X=vejiga,vejiga(P);X=digestivo,digestivo(P);
 X=esófago,esófago(P);X=hígado,hígado(P);X=vesícula_biliar,vesícula_biliar(P);
 X=intestino_grueso,intestino_grueso(P);X=intestino_delgado,intestino_delgado(P);
 X=apéndice,apéndice(P);X=bazo,bazo(P);X=estómago,estómago(P);X=boca,boca(P);
 X=parótida,parótida(P);X=recto,recto(P);X=duodeno,duodeno(P);X=nervioso,nervioso(P);
 X=cerebro,cerebro(P);X=cerebelo,cerebelo(P);X=médula_espinal,médula_espinal(P);
 X=meninges,meninges(P);X=respiratorio,respiratorio(P);X=epiglotis,epiglotis(P);
 X=tráquea,tráquea(P);X=laringe,laringe(P);X=nariz,nariz(P);X=pulmones,pulmones(P);
 X=diafragma,diafragma(P);X=faringe,faringe(P);X=fosas_nasales,fosas_nasales(P);
 X=óseo,óseo(P);X=huesos,huesos(P);X=muscular,muscular(P);X=músculos,músculos(P);
 X=circulatorio,circulatorio(P);X=corazón,corazón(P);X=sensorial,sensorial(P);
 X=gusto,gusto(P);X=audición,audición(P);X=olfato,olfato(P);X=vista,vista(P);
 X=tacto,tacto(P);X=sentidos,sentidos(P);X=ojo,ojo(P);X=oído,oído(P);X=lengua,lengua(P);
 X=piel,piel(P).

%##### PREDICADOS Y LISTAS PARA MANEJAR ALGUNOS ESPACIOS EN
BLANCO Y GÉNEROS EN LOS ÓRGANOS #####

diccionario1(["apéndice","boca","epiglotis","faringe","hipófisis","laringe",
"médula espinal","nariz","paratiroides","parótida","próstata","tiroides","tráquea","uretra","vagina",
"vejiga","vesícula biliar","piel","lengua","bazo","cerebro","cerebelo","clítoris","corazón",
"diafragma","duodeno","epidídimo","escroto","esófago","oído","estómago","hígado",
"hipotálamo","intestino delgado","intestino grueso","páncreas","pene","recto","riñón",
"ojo","timo","útero","fosas nasales","glándulas suprarrenales","meninges","trompas de falopio",
"vesículas seminales","conductos deferentes","ovarios","pulmones","testículos","uréteres",
"respiratorio","endocrino","reproductor femenino","reproductor Masculino","reproductor",
"urinario","digestivo","nervioso","óseo","muscular","circulatorio","sensorial","sentidos","gusto",
"audición","tacto","olfato","vista","fosa nasal","glándula suprarrenal","trompa de falopio",
"vesícula seminal","conducto deferente","ovario","pulmón","testículo","uréter","ojos",
"cuerpo humano"]).

f(["apéndice","boca","epiglotis","faringe","hipófisis","laringe","médula espinal","nariz",
"paratiroides","parótida","próstata","tiroides","tráquea","uretra","vagina","vejiga",
"vesícula biliar","piel","lengua","vista","audición"]).

m(["bazo","cerebro","cerebelo","clítoris","corazón","diafragma","duodeno","epidídimo","escroto",
"esófago","oído","estómago","hígado","hipotálamo","intestino delgado","intestino grueso",
"páncreas","pene","recto","riñón","ojo","timo","útero","respiratorio","endocrino","reproductor",
"reproductor femenino","reproductor masculino","urinario","digestivo","nervioso","óseo",
"muscular","circulatorio","sensorial","olfato","tacto","gusto","cuerpo humano"]).

fp(["fosas nasales","glándulas suprarrenales","meninges","trompas de falopio",
"vesículas seminales"]).

mp(["conductos deferentes","ovarios","pulmones","testículos","uréteres","sentidos",
"órganos de los sentidos"]).

cambia(Z,ZZ):-Z="médula espinal",ZZ="médula espinal";

Z="vesícula biliar",ZZ="vesícula biliar";Z="intestino delgado",ZZ="intestino delgado";

Z="intestino grueso",ZZ="intestino grueso";

Z="reproductor femenino",ZZ="reproductor femenino";

Z="reproductor masculino",ZZ="reproductor masculino";

Z="fosas nasales",ZZ="fosas nasales";

Z="glándulas suprarrenales",ZZ="glándulas suprarrenales";

Z="trompas de falopio",ZZ="trompas de falopio";

Z="vesículas seminales",ZZ="vesículas seminales";

Z="conductos deferentes",ZZ="conductos deferentes";Z="endocrino",ZZ="endocrino";

Z="reproductor",ZZ="reproductor";Z="urinario",ZZ="urinario";Z="digestivo",ZZ="digestivo";

Z="nervioso",ZZ="nervioso";Z="respiratorio",ZZ="respiratorio";Z="óseo",ZZ="óseo";

Z="muscular",ZZ="muscular";Z="circulatorio",ZZ="circulatorio";Z="sensorial",ZZ="sensorial";

Z="sentidos",ZZ="sentidos";Z="fosa nasal",ZZ="fosas nasales";

Z="glándula suprarrenal",ZZ="glándulas suprarrenales";

Z="trompa de falopio",ZZ="trompas de falopio";

Z="vesícula Seminal",ZZ="vesículas seminales";

Z="conducto deferente",ZZ="conductos deferentes";Z="ovario",ZZ="ovarios";

Z="pulmón",ZZ="pulmones";Z="testículo",ZZ="testículos";Z="uréter",ZZ="uréteres";

Z="ojos",ZZ="ojo";Z="cuerpo humano",ZZ="cuerpo humano".

```

intercambia(Z,ZZ):-Z="médula espinal",ZZ="médula espinal";
Z="vesícula biliar",ZZ="vesícula biliar";Z="intestino delgado",ZZ="intestino delgado";
Z="intestino grueso",ZZ="intestino grueso";
Z="reproductor_femenino",ZZ="reproductor femenino";
Z="reproductor_masculino",ZZ="reproductor masculino";
Z="fosas nasales",ZZ="fosas nasales";
Z="glándulas suprarrenales",ZZ="glándulas suprarrenales";
Z="trompas_de_falopio",ZZ="trompas de falopio";
Z="vesículas seminales",ZZ="vesículas seminales";
Z="conductos deferentes",ZZ="conductos deferentes";
Z="cuerpo humano",ZZ="cuerpo humano".

```

```

cambiasistema(["endocrino","reproductor_femenino","reproductor_masculino","reproductor","urin
ario","digestivo","nervioso","óseo","muscular","circulatorio","sensorial","respiratorio"]).

```

```

%##### REGLAS PARA IMPRIMER Y TRATAR MENSAJES, ADEMÁS DE
PREDICADOS PARA MANEJAR LA BASE DE DATOS #####

```

```

convierte1(R1,R2):-upper_lower(R2,R1).
convierte2(R1,R2):-upper_lower(R1,R2).
busca(R,[Y|Cola],Z):-searchstring(R,Y_,Z=Y;busca(R,Cola,Z).
busca1(X,Art,Verbo):-f(W),miembro(X,W),Art="La",Verbo="es parte";m(W),miembro(X,W),
Art="El",Verbo="es parte";fp(W),miembro(X,W),Art="Las",Verbo="son partes";
mp(W),miembro(X,W),Art="Los",Verbo="son partes".
busca2(R,[Y|Cola]):-R=Y;busca2(R,Cola).
subcadena(A1,A2):-searchstring(A1,"tiene ",_),str_len(A1,_A),
N=_A-6,substring(A1,7,N,A2);A2=A1.
concatena(Cad2,Cad3):-concat("tiene ",Cad2,Cad3).
formato1(_Dato1,_Dato2):-_Dato1<>"fin",not(searchstring(_Dato1,"tiene ",_)),
concatena(_Dato1,_Dato2);_Dato2=_Dato1.
pre_consult:-retractall(_dbasedom),consult("C:\\Mis documentos\\BACOPROLOG\\BD.txt").
pre_save:-save("C:\\Mis documentos\\BACOPROLOG\\BD.txt").
no_repite1(X,P):-pre_consult,not(retract(es_un(X,P))),not(busca4(X,P)),assertz(es_un(X,P)),
pre_save;!.
no_repite2(Rs3,Cad):-pre_consult,not(retract(tiene(Rs3,Cad))),not(bhechos(Rs3,Cad)),
assertz(tiene(Rs3,Cad)),pre_save;!.
bhechos(Rs3,Cad):-características_partes(Rs3,P),miembro(Cad,P).
busca4(X,P):-P="sistema",árbol(cuerpo_humano,M),miembro(X,M);P="órgano",
características_partes(X,_).
bdice:-write(" BACO dice: ").
espacios:-write(" ").
mensaje0:-write("No sé de qué elemento se trate, es difícil de saber.").
mensaje1(X,Y):-Y=cuerpo_humano,X<>"cuerpo humano",
write(X," constituye al cuerpo humano ya que es un sistema/aparato."),nl;
X<>"cuerpo humano",busca1(X,Art,Verbo),
write(Art," ",X," ",Verbo," del cuerpo humano, constituye(n) al sistema/aparato ",Y,"."),nl;
X<>"cuerpo humano",busca1(Y,Art,_),convierte2(Art,A),
write(X," es parte de ",A," ",Y,"."),mensaje12;

```

```

X=cuerpo_humano,write("Los sistemas/aparatos del ",X,".",^n').
mensaje2:-write("Dígame la(s) parte(s) del sistema u órgano (hechos iniciales)."),nl.
mensaje3:-write("Según la información recibida, tal vez podría ser").
mensaje4:-write("No puedo saber con exactitud, podría ser").
mensaje5:-write(" la(s) siguiente(s) parte(s):").
mensaje6:-write("Con seguridad se trata de").
mensaje7:-write("No sé de qué elemento se trate, no está en mi base de conocimiento.",^n'),
espacios,write("Revise la ortografía, el formato de entrada. Intente otra vez.").
mensaje8:-write(" eso creo.").
mensaje9:-write("Seguramente es parte del cuerpo humano.").
mensaje10:-write("No entendí su respuesta, revise lo siguiente:",^n'),espacios,
write("a) La ortografía y espacios en blanco.",^n'),espacios,
write("b) El formato de entrada de la información.",^n'),espacios,
write("c) La pregunta corresponde a una respuesta del tipo si/no/no sé.",^n').
mensaje11(Y):-write("Lo siento, ",Y," no se encuentra en mi base de conocimiento.",^n').
mensaje12:-write("No tengo descripción para éste.",^n').
mensaje13:-write("Inicialmente podría ser:").
mensaje14:-write("Dígame el nombre del sistema u órgano (hipótesis).",^n').
mensaje15(Art,X):-write("Dígame la(s) parte(s) a verificar de ",Art," ",X,".",^n').
mensaje16:-write("Está en lo correcto, la hipótesis es cierta.",^n').
mensaje17:-write("Creo que su hipótesis es falsa.",^n').
mensaje18:-write("¿Quiere intentar nuevamente? (si/no)",^n').
mensaje19(X,Y,Art):-write("Opino que posiblemente [",Y,"] no sea parte de ",Art," ",X,".",^n').
mensaje20:-write("Ahora me gustaría contar con su ayuda.",^n').
mensaje21:-write("¿Sobre qué sistema u órgano desea conocer sus partes?",^n').
mensaje22(X,P):-write("¿",X," es un ",P," del cuerpo humano? (si/no/no sé)",^n').

##### ENCADENAMIENTO HACIA ATRAS, HACIA ADELANTE, BUSQUEDA EN
PROFUNDIDAD, BÚSQUEDA EN ANCHURA #####
append([],L,L).
append([H|CV],L,[H|CN]):-append(CV,L,CN).
analiza(X,Y):-árbol(Y,Z),miembro(X,Z);X=cuerpo_humano,Y="".
miembro(X,[X|_]).
miembro(X,[_|Cola]):-miembro(X,Cola).
leercadena1:-bdice,mensaje21,espacios,readln(Dato),convierte2(Dato,R),info1(R).
leercadena1:!.
database4(R):-pre_consult,retract(tiene(R,RR)),espacios,write(RR,^n'),fail:!.

##### BUSQUEDA EN PROFUNDIDAD(CONOCER PARTES)
info1(R):-diccionario1(W),busca(R,W,Z),cambia(Z,Cambio),busca_profundidad(Cambio);
busca_profundidad(R).
busca_profundidad(X):-reco1([cuerpo_humano],X);reco11([cuerpo_humano],X);
baco_aprende4(X);not(retract(guarda(_))),bdice,mensaje11(X),
baco_aprende3([cuerpo_humano],X).
reco1([H|T],X):-X=H,analiza(X,Y),bdice,mensaje1(X,Y),caracteristicas_de(X),database4(X);
árbol(H,Lista),append(Lista,T,Nuevalista),reco1(Nuevalista,X).
reco11([H|T],X):-caracteristicas_partes(H,P),concatena(X,Cad3),busca2(Cad3,P),

```

```
bdice,mensaje1(X,H),assertz(guarda(X));árbol(H,Lista),append(Lista,T,Nuevalista),
reco11(Nuevalista,X).
```

```
%##### BUSQUEDA EN ANCHURA (CONOCER PARTES)
```

```
info2(R):-diccionario1(W),busca(R,W,Z),cambia(Z,Cambio),busca_anchura(Cambio);
busca_anchura(R).
busca_anchura(X):-reco2([cuerpo humano],X);reco22([cuerpo humano],X);baco_aprende4(X);
not(retract(guarda(_))),bdice,mensaje11(X),baco_aprende3([cuerpo humano],X).
reco2([H|T],X):-X=H,analiza(X,Y),bdice,mensaje1(X,Y),características_de(X),database4(X);
árbol(H,Lista),append(T,Lista,Nuevalista),reco2(Nuevalista,X).
reco22([H|T],X):-características_partes(H,P),concatena(X,Cad3),busca2(Cad3,P),
bdice,mensaje1(X,H),assertz(guarda(X));
árbol(H,Lista),append(T,Lista,Nuevalista),reco22(Nuevalista,X).
```

```
%##### CONSULTA A LA BASE DE DATOS (CONOCER PARTES), APRENDE PARTES
DESCONOCIDAS
```

```
baco_aprende3([],_).
baco_aprende3([H|_],X):-estructura(H,[P]),X<>"cuerpo humano",bdice,mensaje22(X,P),
espacios,readln(R),convierte2(R,Res),assertz(solución(Res)),
frontchar(Res,'s',_),no_repite1(X,P),baco_aprende5(X);
retract(solución(Res)),verificaresp(Res),bdice,mensaje10,baco_aprende3([H],X);
estructura(H,Lista),baco_aprende3(Lista,X).
baco_aprende4(X):-pre_consult,retract(es_un(X,P)),assert(g2(X)),
bdice,mensaje3,write(" un ",P," ").nl,not(retract(tiene(X,_))),bdice,mensaje12,baco_aprende5(X);
retract(g2(_)),database4(X).
baco_aprende4(X):-retract(tiene(X,O)),assert(tiene(X,O)),database4(X),
bdice,write("Es lo único que sé.",'\n').
baco_aprende5(X):-bdice,write("¿Sabe a qué sistema u órgano pertenece ",X,"?",'\n'),
espacios,readln(Rs1),convierte2(Rs1,Rs2),assertz(g1(Rs2)),verificaresp(Rs2),
cambia_form(Rs2,Rs3),busca3(X,X2),concatena(X2,Cad),no_repite2(Rs3,Cad),
baco_aprende3([cuerpo humano],Rs3);retract(g1(Rs3)),frontchar(Rs3,'s','i'),
bdice,write("Bien, pero el nombre... ",'\n'),baco_aprende5(X);bdice,mensaje9,nl.
cambia_form(Rs2,Rs3):-diccionario1(W),busca(Rs2,W,Z),cambia(Z,Rs3);Rs3=Rs2.
busca3(X1,X2):-intercambia(X1,X2);X2=X1.
```

```
%##### REGLAS PARA ACEPTAR O RECHAZAR UNA HIPÓTESIS
```

```
verifica_hipótesis:-bdice,mensaje14,espacios,readln(Dato),convierte2(Dato,R),info5(R).
verifica_hipótesis:-!.
info5(R):-diccionario1(W),busca(R,W,Z),cambia(Z,Cambio),bdice,busca1(Cambio,Art,_),
convierte2(Art,Art1),mensaje15(Art1,Cambio),información3(Cambio,[]);
diccionario1(W),busca(R,W,_),bdice,busca1(R,Art,_),convierte2(Art,Art1),mensaje15(Art1,R),
información3(R,[]);pre_consult,retract(tiene(R,_)),bdice,mensaje15("la(s)/el(os)",R),
información3(R,[]);bdice,mensaje11(R),assertz(g2(R)),repetir1.
repetir1:-bdice,mensaje18,espacios,readln(R1),convierte2(R1,R2),not(verificaresp(R2)),
repetir2(R2);bdice,mensaje10,repetir1.
repetir2(R2):-frontchar(R2,'s',_),verifica_hipótesis;
R2="no sé",repetir1;R2="no",retract(g2(PC)),bdice,mensaje20,
```

```

baco_aprende3([cuerpo_humano],PC).
información3(_,"fin");-1,bdice,write("Sólo escribió la palabra fin, así no lo puedo ayudar.",\n').
información3(OS,Lista):-miembro("fin",Lista),realiza_anchura(OS,Lista);
espacios,readln(Dato),convierte2(Dato,R),formato1(R,K),append(Lista,[K],NL),
información3(OS,NL).

```

```

%##### BÚSQUEDA EN ANCHURA (ACEPTAR O RECHAZAR LA HIPÓTESIS)
realiza_anchura(X,Lista):-X="cuerpo_humano",pre_consult,ver_cp([cuerpo_humano],Lista),
bdice,mensaje16,busca_profundidad(X);
X="cuerpo_humano",pre_consult,false_cp([cuerpo_humano],Lista),bdice,mensaje17;
X<>"cuerpo_humano",pre_consult,recorre1([cuerpo_humano],Lista,X),
bdice,mensaje16,busca_profundidad(X);
pre_consult,consultbd(Lista,X),bdice,mensaje16,busca_profundidad(X);
pre_consult,call_false(X,Lista),bdice,mensaje17.
recorre1([],_,"fin"),_.
recorre1([H|T],[C1|C2],X):-H,características_partes(H,P),miembro(C1,P),recorre1([H|T],C2,X);
X=H,pre_consult,retract(tiene(X,Parte)),Parte=C1,recorre1([H|T],C2,X);
árbol(H,L),recorre1(Nuevalista,[C1|C2],X).
consultbd("fin",_).
consultbd([H|T],X):-retract(tiene(X,H)),consultbd(T,X).

```

```

%##### ENCADENAMIENTO HACIA ATRÁS, BÚSQUEDA EN ANCHURA PARA
VERIFICAR EL CUERPO HUMANO
ver_cp([],_,"fin").
ver_cp([H|T],[C1|C2]):-características_partes(H,P),miembro(C1,P),ver_cp([cuerpo_humano],C2);
árbol(H,L),append(T,L,Nuevalista),ver_cp(Nuevalista,[C1|C2]);
retract(tiene(_C1)),ver_cp([cuerpo_humano],C2);subcadena(C1,Org),retract(es_un(Org,_)),
ver_cp([cuerpo_humano],C2).
false_cp([],_,"fin").
false_cp([H|T],[C1|C2]):-características_partes(H,P),miembro(C1,P),
false_cp([cuerpo_humano],C2);
árbol(H,L),append(T,L,Nuevalista),false_cp(Nuevalista,[C1|C2]);
retract(tiene(_C1)),false_cp([cuerpo_humano],C2);subcadena(C1,Org),
retract(es_un(Org,_)),false_cp([cuerpo_humano],C2);
subcadena(C1,Org),bdice,mensaje19("cuerpo humano",Org,"el"),false_cp([cuerpo_humano],C2).
call_false(_,[]).
call_false(X,[H|T]):-características_partes(X,P),not(retract(tiene(X,H))),assertz(g1(H)),
not(miembro(H,P)),H<>"fin",busca1(X,Art,_),convierte2(Art,A),subcadena(H,PC),
bdice,mensaje19(X,PC,A),retract(g1(H)),call_false(X,T);
H<>"fin",pre_consult,not(retract(tiene(X,H))),características_partes(X,P),
not(miembro(H,P)),subcadena(H,PC),bdice,mensaje19(X,PC,"la(s)/el(os)").call_false(X,T);
H<>"fin",pre_consult,not(retract(tiene(X,H))),not(retract(g1(_))),subcadena(H,PC),
bdice,mensaje19(X,PC,"la(s)/el(os)").call_false(X,T);call_false(X,T).

```

```

%##### BÚSQUEDA EN PROFUNDIDAD (CONCLUIR EN ALGÚN ÓRGANO)
info3:-bdice,mensaje2,información1([]).
información1(Lista):-miembro("fin",Lista),encadena_profundidad(Lista),baco_aprende2(Lista),

```

```

filtrar1([],database1(Lista);espacios,readln(Dato),convierte2(Dato,R),formato1(R,K),
append(Lista,[K],NL),información1(NL).
encadena_profundidad(Lista):-recorre2([cuerpo_humano],Lista).
recorre2([cuerpo_humano],["fin"]).
recorre2([],[]).
recorre2([H|T],[C1|C2]):-C1<>"fin",características_partes(H,P),miembro(C1,P),
assertz(guarda1(H),bdauxiliar1),árbol(H,L),append(L,T,Nuevalista),recorre2(Nuevalista,[C1|C2]);
árbol(H,L),append(L,T,Nuevalista),recorre2(Nuevalista,[C1|C2]);recorre2([cuerpo_humano],C2).

```

BÚSQUEDA EN ANCHURA (CONCLUIR EN ALGÚN ÓRGANO)

```

info4:-bdice.mensaje2,información2([]).
información2(["fin"]):-!,bdice,write("Sólo escribí la palabra fin, así no lo puedo ayudar.",'\n').
información2(Lista):-miembro("fin",Lista),encadena anchura(Lista),baco_aprende2(Lista),
filtrar1([],database1(Lista);espacios,readln(Dato),convierte2(Dato,R),formato1(R,K),
append(Lista,[K],NL),información2(NL).
encadena anchura(Lista):-recorre3([cuerpo_humano],Lista).
recorre3([cuerpo_humano],["fin"]).
recorre3([],[]).
recorre3([H|T],[C1|C2]):-C1<>"fin",características_partes(H,P),miembro(C1,P),
assertz(guarda1(H),bdauxiliar1),árbol(H,L),append(T,L,Nuevalista),recorre3(Nuevalista,[C1|C2]);
árbol(H,L),append(T,L,Nuevalista),recorre3(Nuevalista,[C1|C2]);recorre3([cuerpo_humano],C2).

```

ENCADENAMIENTO HACIA ADELANTE, CONSULTA A LA BASE DE DATOS (CONCLUIR EN ALGÚN ÓRGANO)

```

formato2(Part,Datum):-cambiasistema(W),miembro(Part,W),
concat("sistema/aparato ",Part,Datum,!;Datum=Part.
baco_aprende1(Lista,S1):-pre_consult,retract(tiene(S1,S2)),not(miembro(S2,Lista)),
preguntar(S2,sino),assertz(guarda1(S1),bdauxiliar1),fail,fail.
baco_aprende1(_):-!.
baco_aprende2([H|T]):-pre_consult,retract(tiene(Org,H)),assertz(guarda1(Org),bdauxiliar1),fail;
baco_aprende2(T).
baco_aprende2(_):-!.
filtrar1(L1):-retract(guarda1(D),bdauxiliar1),not(miembro(D,L1)),append(L1,[D],L2),
assertz(guarda3(D),bdauxiliar1),bdice.mensaje13,formato2(D,Datum),write(" ",Datum,"."),nl,
filtrar1(L2);retract(guarda1(D),bdauxiliar1),miembro(D,L1),filtrar1(L1).
filtrar1([]):-!.
filtrar2(L1):-retract(guarda1(D),bdauxiliar1),not(miembro(D,L1)),append(L1,[D],L2),
assertz(guarda5(D),bdauxiliar1),assertz(guarda6(D),bdauxiliar1),filtrar2(L2);
retract(guarda1(D),bdauxiliar1),miembro(D,L1),filtrar2(L1).
filtrar2([]):-!.

```

PREGUNTA CARACTERÍSTICAS DEL ÓRGANO

```

database1(List):-espacios,write("Lo que está buscando Tiene... ",'\n'),
ertract(guarda3(X),bdauxiliar1),assertz(guarda4(X),bdauxiliar1),
assertz(guarda7(X),baco_aprende1(List,X),características_partes(X,P),recorre4(P,List,X),
filtrar2([],bdice.mensaje6,alternativa1,database2(List);
fail;retract(respuesta(Si),bdauxiliar2),Si="si",filtrar2([],retract(guarda6(O)),

```

```

asserta(guarda6(O)),bdice,mensaje3,alternativa1,database2(List);
retract(guarda4(W)),asserta(guarda4(W)),bdice,mensaje4,alternativa3,database2(List);
retract(guarda7(_)),bdice,mensaje0,nl;bdice,mensaje7,nl.
bdempty:- not(retract(guarda6(_),bdauxiliar1)),retract(guarda4(OO)),asserta(guarda4(OO)),
mensaje5,alternativa3.
alternativa1:-bdempty;alternativa2.
alternativa2:-asserta(guarda1(D1),bdauxiliar1),formato2(D1,Datum),
write(" la(s)/el(os) ",Datum),assertz(solución(D1)),fail.
alternativa2:-!,write(" "),nl.
alternativa3:-asserta(guarda2(D1),bdauxiliar1),formato2(D1,Datum),
write(" la(s)/el(os) ",Datum," "),assertz(solución(D1)),fail.
alternativa3:-!,mensaje8,nl.
recorre4([],_).
recorre4([H|T],List,X):-not(miembro(H,List)),positivo(H),assertz(guarda1(X),bdauxiliar1),
recorre4(T,List,X);
miembro(H,List),recorre4(T,List,X);retract(verifica(Op)),verificaresp(Op).
bdice,mensaje10,recorre4([H|T],List,X);
retract(guarda2(Resp),bdauxiliar1),Resp="no sé",recorre4(T,List,X),not(T=[]),fail;
retract(guarda(Resp),bdauxiliar3),Resp="no",retractall(guarda1(X),bdauxiliar1),
retractall(guarda4(X),bdauxiliar1),almacena(H,no),not(T=[]),fail.

positivo(Z):-respuestasi(Z),!.
positivo(Z):-not(respuestano(Z)),preguntar(Z,si).
negativo(Z):-respuestano(Z),!.
negativo(Z):-not(respuestasi(Z)),preguntar(Z,no).
preguntar(Z,si):-!,bdice,write("¿",Z,"? (si/no/nosé)",'\n'),espacios,readln(Resp),convierte2(Resp,R),
assertz(guarda2(R),bdauxiliar1),assertz(guarda(R),bdauxiliar3),assertz(verifica(R)),
frontchar(R,'s',_),almacena(Z,si).
preguntar(Z,no):-!,bdice,write("¿",Z,"? (si/no/nosé)",'\n'),espacios,readln(Resp),
convierte2(Resp,R),R="no",almacena(Z,no).
preguntar(Z,sino):-!,bdice,write("¿",Z,"? (si/no/no sé)",'\n'),espacios,readln(Resp),
convierte2(Resp,R),frontchar(R,'s',_),almacena(Z,si).
verificaresp(Op):-Op<>"no",Op<>"no sé",not(frontchar(Op,'s',_)).
almacena(Z,si):-assertz(respuestasi(Z),bdauxiliar2),assertz(respuesta("si"),bdauxiliar2).
almacena(Z,no):-assertz(respuestano(Z),bdauxiliar2).
database2(List):-pre_consult,retract(solución(Sol)),database3(List,Sol).
database3(["fin"],_).
database3([H|C],Sol):-retract(tiene(Sol,H)),database3(C,Sol);
H<>"fin",características_partes(Sol,P),not(miembro(H,P)),assertz(tiene(Sol,H)),pre_save,
database3(C,Sol);database3(C,Sol).

%##### REGLAS Y MENSAJES BÁSICOS CON LOS QUE INICIA EL SISTEMA EXPERTO
mp:-write("¿Busca información de los sistemas u órganos del cuerpo humano? (si/no)",'\n').
mpl:-write("¿Qué desea hacer?",'\n'),
espacios,write("1.- Conocer las partes o estructura de un sistema u órgano.",'\n'),
espacios,write("2.- Verificar si alguna(s) parte(s) forma(n) a un sistema u órgano.",'\n'),
espacios,write("3.- Dado un elemento, se desea saber a qué sistema u órgano pertenece.",'\n').

```

```
iniciar:-bdice,mp,espacios,readln(Rpt1),convierte2(Rpt1,Rpt2),subinicia(Rpt2).
subinicia(Rpt2):-verificaresp(Rpt2),diccionario1(Voc1),busca(Rpt2,Voc1,Voc2),bdice,
write("¿",Voc2,"?",'\n'),bdice,mp1;frontchar(Rpt2,'s',_),bdice,mp1;Rpt2="no sé",bdice,
write("¿No sabe?",'\n'),iniciar;Rpt2="no",bdice,write("¿Desea terminar con el diálogo?
(si/no)",'\n'),espacios,readln(_R1),convierte2(_R1,_R2),inicia(_R2);bdice,mensaje10,iniciar.
inicia(_R):-frontchar(_R,'s',_),write(" Gracias por utilizar BACO, puede cerrar la ventana..."),
exit;bdice,write("No entiendo qué desea hacer.",'\n'),iniciar.
principal:-bdice,write("Dígame el número de la opción.",'\n'),espacios,readln(_op),
convierte2(_op,Ans),selección(Ans);bdice,write("No es una respuesta válida.",'\n'),principal.
selección(Ans):-Ans="1",leercadena1;Ans="2",verifica_hipótesis;Ans="3",info4.
run:-iniciar,principal,run.
```

```
%##### INICIA LA SECCIÓN GOAL DE V-P #####
```

```
%##### LLAMADA DE LA REGLA PRINCIPAL PARA INICIAR EL PROGRAMA
```

```
GOAL
```

```
write(" Iniciando... PRESIONE UNA TECLA "),readchar(_),nl,nl,
```

```
write(" HOLA SOY BACO, Sistema Experto Para El Aprendizaje De Los Órganos Del Cuerpo
Humano."),nl,nl,run.
```