





CINVESTAV-IPN

Biblioteca de Ingeniería Eléctrica



FB0000924

✓
CM

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA**

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS

DEL

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

SECCION DE COMPUTACION

"HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO Y PRUEBA DE BASES
DE CONOCIMIENTO CON INCERTIDUMBRE"

Trabajo que presenta:

AURELIO LOPEZ LOPEZ

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN INGENIERIA ELECTRICA

Director: M.C. Manuel González Hernández.

MEXICO, D. F.

1987

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

XM

CLASIF.:	87.8
ADQUIS.:	BI 1076.5
FECHA:	2-11-50
PROCED.:	2000
	5

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCION	1
1. PROLOG	5
2. EL MODELO PARA EL MANEJO DE INCERTIDUMBRE	14
3. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE BASES DE CONOCIMIENTO	21
4. UNA BASE CONOCIMIENTO SOBRE ENFERMEDADES HEPATICAS	30
5. RESULTADOS	34
6. CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS	39
ANEXO A	46
ANEXO B	61
ANEXO C	76

CENTRO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

RESUMEN

La capacidad de razonar bajo condiciones en las cuales el conocimiento con el que se cuenta acerca de algún problema es inexacto o incierto es uno de los rasgos que distinguen a un experto humano. Por tal causa, un sistema que trate de lograr un nivel de desempeño equivalente debe contar con recursos para enfrentar el conocimiento incierto del medio en que se desenvuelve.

En este trabajo se presenta un enriquecimiento hecho a Prolog con un conjunto de programas que permiten inferir bajo condiciones inciertas. El razonamiento incierto que se logra lo hace muy adecuado para aplicar Prolog a desarrollar y probar bases de conocimiento para sistemas expertos. Los programas están orientados a este fin y dan procedimientos para lograr un diálogo adecuado con el usuario.

El modelo de razonamiento se apoya en una medida de incertidumbre llamada índice de certeza, la cual surge de una interpretación particular de las cláusulas de Horn.

Los programas abarcan tres aspectos: el manejo de la base de datos de Prolog y del diálogo, la consulta a la base y al diálogo mantenido y auto-razonamiento con incertidumbre.

Este conjunto de herramientas se prueban con una base de conocimiento de enfermedades hepáticas.

AGRADECIMIENTOS

NO

Este trabajo se realizó gracias a la beca de posgrado Conacyt 47047 y al apoyo del CINVESTAV-IPN.

Al M.C. Manuel González H. le agradezco su inestimable apoyo e incondicional amistad.

Agradezco la colaboración del M.R.2 Edgar M. García Tamayo para la comprensión de la base de conocimientos y en facilitar los casos de prueba y al Dr. Sergio Márquez por el tiempo prestado a la consulta con el sistema y por sus valiosos comentarios y sugerencias.

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

Dedico este trabajo a:

Aurelia

Mariana, Catalina, Altagracia, Lourdes y Alvaro

Raquel López

Virginia Juana

Claro y Jesús

sin cuyo apoyo, solidaridad y entrega desinteresada no hubiera sido posible.

A mis amigos Alfonso y Leopoldo.

INTRODUCCION

El objetivo de esta tesis es describir y mostrar la factibilidad de un conjunto de programas en Prolog que están orientados al desarrollo de bases de conocimiento para sistemas expertos. Estos programas, globalmente denominados herramientas, poseen la característica de manejar y razonar con cláusulas que tienen asociada una medida de incertidumbre.

El problema de razonar bajo condiciones en las cuales no es posible establecer definitivamente la verdad o falsedad de las premisas ha venido a cobrar relevancia a partir de las primeras aplicaciones exitosas de la Inteligencia Artificial, más concretamente en los sistemas basados en conocimiento o sistemas expertos.

Los sistemas expertos son programas que manipulan problemas complejos que requieren nivel de un experto humano para su solución. Para lograrlo, estos programas usan un modelo de razonamiento humano, que utiliza gran cantidad de conocimiento del dominio en que se desenvuelve el sistema.

El modelo de razonamiento es llamado máquina inferencial, el cual actúa sobre una base de conocimiento [1,2,3,4].

La base de conocimiento es una estructura que contiene relaciones y reglas de razonamiento específicas a una áreas del saber. Este conocimiento, de caracter heurístico, es obtenido de

los expertos humanos y no puede establecerse por completo su validez. Por tal motivo la maquina inferencial debe poseer algun medio para llevar a cabo sus tareas de razonamiento, considerando esta "incertidumbre".

Hasta ahora, las aplicaciones que se han dado a los sistemas expertos han marcado la pauta de los mecanismos de razonamiento bajo incertidumbre. En el sistema Prospector [5] cuyo dominio es la prospección mineral, se utilizaron técnicas basadas en el Teorema de Bayes. En esta área de conocimiento fue posible establecer ciertos valores probabilísticos con un buen margen de confianza, dado el carácter estable de las estructuras y composiciones geológicas.

El sistema experto Mycin [6] usa un mecanismo para el manejo de incertidumbre basado en los así llamados factores de certeza, con los cuales ejecuta sus tareas inferenciales. Este modelo ha sido ampliamente usado a través del esqueleto Emycin, con diferentes bases de conocimiento [7,8].

Por otro lado, se ha tratado de adecuar ciertas teorías y técnicas ya existentes para hacer razonamiento bajo incertidumbre. Entre las técnicas que se han empleado están la teoría de Dempster & Sheffer [9], las variables lingüísticas (a partir de lógica difusa) [10,11,12,13], y las medidas de entropía [14].

Actualmente se ha tratado de ir de la teoría a la práctica, desarrollando nuevos esquemas de razonamiento incierto. Nilsson [15] describe una generalización semántica de la lógica tomando los valores de verdad de los predicados como valores probabilísticos en el intervalo [0, 1]. Se combina la lógica con la teoría de la probabilidad para lograr un manejo de

conocimiento incierto. Van Emdem [16] presenta un enfoque basado en programación lógica, llamado deducción cuantitativa. En ésta, cada cláusula recibe un factor numérico de atenuación semejante a los usados en este trabajo. Además, demuestra como la semántica de las cláusulas de Horn puede ser desarrollada en forma análoga al caso cualitativo.

En cuanto a la programación de los sistemas expertos tradicionalmente ha sido, en su mayoría, realizada en Lisp, el lenguaje clásico de la Inteligencia Artificial. Sin embargo, actualmente ha cobrado popularidad el uso del lenguaje Prolog en aplicaciones de Inteligencia Artificial y en la construcción de prototipos de sistemas expertos [17,18,19]. (No obstante, otra tendencia actual es a usar otros lenguajes tradicionales de programación, tales como C).

El desarrollo contemporáneo de la Inteligencia Artificial apunta hacia el uso de herramientas de construcción que se asemejen a las ofrecidas por los lenguajes de programación pero que además incorporen características que éstos no poseen por sí mismos, tales como varios esquemas de razonamiento, manejo de diversas representaciones, etcétera. [20,21,22]

Siguiendo esta tendencia se presenta aquí un intérprete de Prolog que incorpora un modelo de razonamiento bajo incertidumbre. Este intérprete está acompañado de un conjunto de facilidades para el desarrollo y prueba de bases de conocimiento.

El documento está estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo 1 se hace una breve revisión del cálculo de predicados con el fin de presentar posteriormente el modelo en el que se fundamenta Prolog, a saber, las cláusulas de Horn con

resolución. También se define lo que es una interpretación, la cual se usa en la justificación del modelo de razonamiento.

En el capítulo 2 se discute brevemente la incertidumbre y sus orígenes. Se da también una justificación teórica del modelo usado para hacer el razonamiento.

Se describe en el capítulo 3 el intérprete y el conjunto de herramientas que proporciona para desarrollar y evaluar bases de conocimiento.

En el capítulo 4 se da un ejemplo de una base de conocimiento para enfermedades hepáticas instalada y probada con las herramientas.

Finalmente, en el capítulo 5 se discuten los resultados a los que se llegó con las herramientas.

Las conclusiones están contenidas en el capítulo 6. En el anexo A se muestra la base de conocimiento de enfermedades hepáticas codificada en la sintaxis de las herramientas. El anexo B exhibe ejemplos de ejecución de varios de los programas de las herramientas con la base de conocimiento antes mencionada. Las meta-reglas que constituyen el intérprete, alrededor del cual funcionan las herramientas, se muestran completas en el anexo C. Estas reglas se expresan en la sintaxis estándar de micro-Prolog.

1. PROLOG

LOGICA DE PRIMER ORDEN

Un Sistema Lógico puede ser definido a partir de dos diferentes, aunque equivalentes, puntos de vista: la vista semántica y la vista sintáctica [23]. Ambas aproximaciones se basan en la definición de un Lenguaje -una colección de símbolos y de reglas para construir Fórmulas Bien Formadas (FBF).

Sintaxis

El Lenguaje del Cálculo de Predicados de Primer Orden consiste de los siguientes símbolos primitivos:

- Símbolos Variables, usualmente denotados por las letras minúsculas finales del alfabeto.
- Símbolos Constantes, a, b, c, \dots
- Símbolos Funcionales, f, g, h .
- Símbolos Predicados, denotados por letras mayúsculas.
- Conectivas Lógicas: \neg (negación), \vee (disyunción), \wedge (conjunción) e \rightarrow (implicación).
- Los cuantificadores: \forall (universal) y \exists (existencial).

Con los símbolos primitivos se construyen las Fórmulas Bien Formadas que constituyen las proposiciones legales en el lenguaje. Previo a las reglas para construir FBF en el lenguaje se requiere que términos y fórmulas atómicas sean definidas.

Los términos son definidos recursivamente como:

- (1) Una constante es un término.
- (2) Una variable es un término.
- (3) Si f es un símbolo funcional de n argumentos y t_1, \dots, t_n son términos, entonces $f(t_1, \dots, t_n)$ es un término.
- (4) No hay otros términos.

Los términos son los argumentos de fórmulas atómicas y sirven para denotar individuos u objetos particulares de un universo.

Las fórmulas atómicas están definidas como sigue:

- Si P es un predicado de n argumentos ($n \geq 0$) y t_1, \dots, t_n son términos, entonces $P(t_1, \dots, t_n)$ es una fórmula atómica.

Cuando $n=0$, la fórmula atómica es llamada una proposición. Una fórmula atómica o su negación será referida como una Literal.

Las Fórmulas Bien Formadas son definidas usando fórmulas atómicas, paréntesis, conectivas lógicas y los cuantificadores:

- (1) Fórmulas Atómicas son FBF
- (2) Si A es una FBF y x es una variable individual, entonces $\forall x A$ y $\exists x A$ son FBF.
- (3) Si A y B son FBF, entonces $\neg A$, $A \vee B$, $A \wedge B$ y $A \rightarrow B$ son FBF.
- (4) Las únicas FBF son aquellas obtenidas por aplicaciones finitas de (1), (2) y (3).

Una fórmula bien formada en la cual todas las variables están cuantificadas, es decir ninguna variable es libre, es llamada una

FBF cerrada (en otro caso es abierta).

Semántica

Para dar una interpretación de una FBF en Lógica de Primer Orden es necesario definir un dominio y un asignamiento a constantes, símbolos funcionales y símbolos predicados existentes en la FBF.

Una interpretación consiste de un dominio no vacío E , y un asignamiento de "valores" a cada constante y símbolo funcional ocurriendo en la FBF como sigue:

- (1) A cada símbolo constante asigna un elemento en E .
- (2) A cada símbolo funcional n -ario, asigna una transformación de E^n a E . (E^n está definido como
$$E^n = \{ (x_1, \dots, x_n) \mid x_1 \in E, \dots, x_n \in E \}.$$
)
- (3) A cada símbolo predicado de n argumentos, asigna una transformación de E^n a {cierto, falso}.

En una Lógica de primer orden estamos tratando con FBF cerradas. Así, en una interpretación dada, una FBF cerrada es ya sea cierta o falsa (no importa qué valor es asignado a sus variables).

FORMA CLAUSULAR.

En la Lógica de Primer Orden, a toda FBF P que no contiene variables libres (cerrada), le corresponde otra fórmula P' que se encuentra en forma clausal. Es decir, cualquier FBF cerrada P se puede expresar como la conjunción de un conjunto finito de fórmulas de cierta forma especial llamadas cláusulas, $\{C_1, C_2,$

4.4.4) Cn 7. Cada cláusula C_i es la disyunción de literales y se escribe como:

$$\forall x_1 \forall x_2 \dots \forall x_k \quad A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \vee \neg B_1 \vee \neg B_2 \vee \dots \vee \neg B_m$$

donde A_i y B_j son fórmulas atómicas y x₁ ... x_k son todas las variables que aparecen en ellas. Esta disyunción se puede reexpresar como:

$$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m$$

dado que se sobrentiende que todas las variables están cuantificadas universalmente.

Se dice que una cláusula es de Horn si y solamente si tiene a lo más una literal positiva. El subíndice n únicamente puede tomar los valores 0 o 1.

RESOLUCION

El Principio de Resolución de Robinson es una regla de inferencia que permite derivar una nueva cláusula a partir de dos cláusulas dadas. Por ejemplo, si se tienen las cláusulas:

$$\neg P(x, y) \vee Q(x, y) \\ \text{y } P(a, b)$$

se obtiene la cláusula: Q(a, b). Antes de aplicar resolución es necesario unificar fórmulas atómicas. Dos fórmulas son unificables si existe una sustitución (de términos por variables) que las haga iguales. En el ejemplo anterior, se deben unificar previamente P(x, y) y P(a, b). En este caso, la sustitución aplicable es:

$$S = \{ a/x, b/y \}.$$

Resolución es una regla de inferencia potente debido a que el resolvente de un par de cláusulas se sigue lógicamente de ellas. Generalmente, resolución es usada en forma refutacional, es decir, si se trata de saber si una cláusula P se deriva lógicamente de un conjunto de cláusulas $\{ Q_1, Q_2, \dots, Q_n \}$, entonces se construye un nuevo conjunto que contenga $\neg P$ y se aplica resolución para intentar llegar a una contradicción, lo cual indicará que P se deriva lógicamente del conjunto dado.

Es de manera refutacional como Prolog utiliza resolución para responder la preguntas hechas acerca de su base de datos.

PROGRAMACION LOGICA

El lenguaje de programación Prolog fue instalado por primera vez, en forma de intérprete, en la Universidad de Marsella por Alan Colmerauer, basado en las ideas desarrolladas por Robert Kowalski [24]. Varias extensiones se han hecho a la primera versión de Prolog entre las que destaca la versión hecha en la Universidad de Edinburgo con diferente sintaxis e incorporando el primer compilador para este lenguaje.

El lenguaje está fundamentado en la lógica de primer orden. Hace uso de un subconjunto del cálculo de predicados que son las llamadas cláusulas de Horn con resolución como mecanismo de inferencia.

En Prolog se manejan hechos y reglas que son representados por medio de cláusulas de Horn. Ulteriormente se aplica sobre las

cláusulas la potente regla de inferencia conocida como resolución, con la cual se "demuestran" las preguntas que son planteadas acerca de la base de datos. El mecanismo de control usado es el conocido como búsqueda a profundidad o en retroceso, proporcionando además "backtracking" [25,26,27].

Prolog es el paradigma de la llamada programación lógica en la cual un programa consiste en una declaración de hechos y reglas deductivas, ambos nos permiten probar las interrogantes presentadas que estén relacionadas con la base de datos, aunque no dadas explícitamente.

Dadas las características inferenciales del lenguaje se ha usado ampliamente en el desarrollo de prototipos de sistemas expertos [17,18,19]. Prolog se usa como máquina inferencial en un sentido amplio (no tiene auto-razonamiento ni manejo de incertidumbre, por sí mismo), acelerando la construcción de los sistemas basados en conocimiento.

La versión de Prolog en la cual funciona el conjunto de herramientas presentadas en este trabajo es llamada Micro-Prolog.

Micro-Prolog usa una sintaxis estándar muy semejante a la sintaxis de listas de Lisp, con un pequeño supervisor que proporciona las facilidades mínimas necesarias para el desarrollo de programas y la ejecución de interrogaciones. Posteriormente se pueden incorporar módulos que amplían y mejoran la sintaxis [25,28].

En la sintaxis estándar de Micro-Prolog hay cuatro diferentes clases de objetos sintácticos: números, constantes, variables y listas. Todos ellos son clases distintas de términos.

Los números son enteros o punto flotante. Un entero es un número sin parte fraccional.

Las constantes son los objetos más simples de Micro-Prolog y sirven para nombrar individuos tales como Claudia, Al, puerta, etc. y relaciones como miembro-de, padre-de, etc.

Tanto los números como las constantes constituyen las constantes del lenguaje del cálculo de predicados de primer orden.

Las variables son representadas por nombres alfanuméricos contruidos por una sola letra seguida opcionalmente por un entero positivo. La letra debe ser un carácter prefijo de variable, a saber, x, y, z, X, Y o Z.

Las listas son los objetos estructurados de Micro-Prolog. La lista más simple es la vacía (). Si existen objetos dentro de los paréntesis se tiene una lista no vacía. Los objetos permitidos dentro de una lista son términos, incluyendo otra(s) lista(s). Como en Lisp, las sublistas pueden estar anidadas a profundidades arbitrarias.

Cualquier lista con variables es un patrón de lista. Para definir los patrones, Micro-Prolog usa el constructor |, de modo que el patrón (X|Y) especifica una lista de al menos un elemento.

Las fórmulas atómicas o átomos son las formas primitivas de sentencias, de la misma forma que en la lógica de predicados. A partir de ellas son contruidas las proposiciones de programas y las interrogaciones.

Cualquier fórmula atómica $Rel(a_1, a_2, \dots, a_k)$ es expresada en Micro-Prolog como la lista:

$(Rel\ a_1\ a_2\ \dots\ a_k)$

Dado que Prolog usa la forma clausular, en la sintaxis estándar de Micro-Prolog se omiten las conectivas lógicas \rightarrow y \wedge , y las cláusulas se escriben como una lista de átomos (sublistas):

$(Atomo\ Atomo_1\ Atomo_2\ \dots\ Atomo_k)$

El primer átomo es el consecuente o cabeza de la cláusula y los átomos subsecuentes constituyen los antecedentes o cuerpo de la cláusula. Así, la cláusula:

$R(X\ Y) \leftarrow P(X\ Z) \wedge Q(Z\ Y)$

se expresa en la sintaxis estándar de Micro-Prolog como:

$((R\ X\ Y)(P\ X\ Z)(Q\ Z\ Y))$

Micro-Prolog efectúa la interacción con el usuario a través de un programa integrado denominado supervisor. El supervisor se manifiesta mediante el "prompt":

Ⓐ.

para indicar que está listo para aceptar una cláusula o un comando.

Para alimentar una cláusula basta con proporcionarla en respuesta al "prompt" y presionar la tecla "return". La cláusula

será incorporada al final de la base de datos de Prolog.

La interrogación a los programas es hecha usando la relación primitiva "?". Este comando toma como su unico argumento una lista de átomos que representa una conjunción de condiciones a ser resueltas.

Si existe una solución a la interrogación hecha con el comando "?", el supervisor muestra su "prompt" normalmente. En caso de no poder encontrar una solución, es decir, la interrogación falla, el supervisor exhibe el caracter "?" antes de volver a mostrar el "prompt". Es conveniente observar que las respuestas encontradas no son desplegadas a menos que se introduzca, junto con la pregunta, una relación primitiva que escriba en pantalla el valor de las variables de interés.

El sistema Micro-Prolog posee primitivas adicionales para efectuar varias acciones, tales como LIST para listar los programas en la base de datos, KILL para borrarlos, SAVE y LOAD para salvar una base de datos a un archivo y bajar a memoria un archivo conteniendo una base de datos, etcétera.

El desarrollo de las herramientas que se describen en este documento fue hecho en la sintaxis estandar de Micro-Prolog. La sintaxis que se maneja cuando se usan las herramientas es semejante a la empleada por Clark y McCabe [25] y en consecuencia igual a la de APES [29].

2. EL MODELO PARA EL MANEJO DE INCERTIDUMBRE.

INCERTIDUMBRE

Cotidianamente, los expertos se tienen que enfrentar al problema que, independientemente del dominio, nada es completamente cierto. La capacidad de los expertos humanos para aventurar un diagnóstico o una hipótesis que resuelva el problema que esté encarando, sin importar la incertidumbre, es uno de los rasgos que caracterizan el comportamiento "experto".

Todos los problemas complejos del mundo tienen inherente un grado de incertidumbre. La solución de estos problemas demanda reconocer esta incertidumbre como un primer paso que aminore sus efectos.

La precisión es una abstracción que se da únicamente en términos teóricos. Las ciencias generalmente tienden a construir mecanismos artificiales e ideales que en algún sentido modelen al mundo aunque no imiten por completo su comportamiento.

Se puede decir que la incertidumbre latente en cualquier dominio es de tres tipos: incompletez, imprecisión e inconsistencia.

La incompletez surge del carácter cambiante y evolutivo del conocimiento humano. El conocimiento en cualquier dominio tiende a crecer y el conocimiento de hoy puede ser insuficiente para

resolver los problemas del mañana.

Hablar de precisión es referirse a conocimiento que se mueve en un intervalo establecido de tolerancia de imprecisión. Es decir, se puede hablar de precisión hasta cierto punto, la precisión absoluta es irreal.

En cualquier área del saber humano las fuentes del conocimiento son múltiples. Como consecuencia, el hecho de acumular conocimiento es algo esencialmente inconsistente. Tratar de establecer consistencia en el conocimiento es evitar que crezca y evolucione al limitar sus fuentes.

Al construir sistemas expertos la tarea es doble debido a que hay que enfrentar la incertidumbre del mundo y la del dominio de aplicación. Mas aún, tener que plasmar en una máquina la forma de razonar de un ser humano y con ella su conocimiento de naturaleza heurística.

EL MODELO

El modelo de razonamiento bajo incertidumbre usado se basa en las cláusulas de Horn. En el capítulo anterior se ha establecido la sintaxis de las cláusulas. En el programa se maneja la misma sintaxis, es decir, las cláusulas de Horn, las cuales quedan expresadas como:

$$C \leftarrow A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n, \quad n \geq 0$$

sólo que se asocia a cada cláusula un "índice de certeza". Un índice de certeza es un número real que varía entre 0 y 1, donde el 0 está asociado con falso y 1 con cierto. De este modo la

sintaxis de las cláusulas queda de la siguiente forma:

$$C \leftarrow A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n : i, \quad n \geq 0$$

donde i representa el índice de certeza asociado con la regla.

Una vez especificada la sintaxis es necesario establecer la semántica del modelo. Con este fin se define lo que es un Universo de Herbrand.

Definición 3.1

El Universo de Herbrand de una fórmula (conjunto de fórmulas) consiste de todos los términos libres de variables que pueden hacerse a partir de las constantes y funciones en la fórmula (las fórmulas).

Si se tiene el conjunto de reglas:

$$\{ P(X,Y) \leftarrow Q(X,b) \wedge R(b,Y), Q(a,b), R(b,c) \}$$

su Universo de Herbrand es

$$U_H = \{ a, b, c \}$$

(Si las cláusulas tuvieran funciones, el Universo de Herbrand puede tener un número infinito de elementos).

Para formar los predicados se define la base de Herbrand.

Definición 3.2

La Base de Herbrand de una fórmula (conjunto de fórmulas) consiste de todas las literales libres de variables obtenidas al sustituir términos tomados del Universo de Herbrand.

Tomando el mismo conjunto de cláusulas se obtiene la Base de Herbrand:

$$B_H = \left\{ P(a,b), P(a,c), P(b,a), P(b,c), P(c,a), P(c,b), \right. \\ \left. (a,b), Q(b,b), Q(c,b), R(b,a), R(b,b), R(b,c) \right\}$$

En este punto se puede dar la interpretación de los elementos de la Base de Herbrand.

Definición 3.3

Una Interpretación de Herbrand queda determinada al mapear todos los elementos de la Base de Herbrand en el conjunto $\{ \text{cierto}, \text{falso} \}$.

De este modo, los elementos de B_H se mapearían:

$$\begin{aligned} P(a,b) &\mapsto \text{falso} \\ Q(a,b) &\mapsto \text{cierto} \\ R(b,c) &\mapsto \text{cierto} \\ R(b,a) &\mapsto \text{falso} \\ &\vdots \end{aligned}$$

Al asociar los valores numéricos 0 a falso y 1 a cierto y permitir que la transformación de la Base de Herbrand se haga sobre el intervalo $[0, 1]$, se llega a que una Interpretación de Herbrand es un (sub)conjunto difuso de la Base de Herbrand.

La transformación entre el intervalo [0, 1] y los valores de verdad queda establecida de manera lineal según la siguiente gráfica:



Una vez que se ha obtenido una interpretación para cada una de las fórmulas atómicas que constituyen el conjunto de fórmulas se puede evaluar cualquier combinación de ellas dentro del modelo clausal. Así la conjunción, disyunción y negación se calculan según la combinación propuesta por Zadeh [30]:

$$\text{val}(P \wedge Q) = \min (\text{val}(P), \text{val}(Q))$$

$$\text{val}(P \vee Q) = \max (\text{val}(P), \text{val}(Q))$$

$$\text{val}(\neg P) = 1 - \text{val}(P)$$

donde la función "val" asocia el valor de verdad (índice de certeza) a su argumento y P y Q son fórmulas.

Algunas de las propiedades que siguen siendo válidas al hacer las combinaciones anteriores de índices de certeza son:

$$\neg (\neg P) = P$$

$$P \vee P = P$$

$$P \wedge P = P$$

$$P \vee Q = Q \vee P$$

$$P \wedge Q = Q \wedge P$$

$$\neg (P \vee Q) = \neg P \wedge \neg Q$$

$$\neg (P \wedge Q) = \neg P \vee \neg Q$$

$$(P \wedge Q) \wedge R = P \wedge (Q \wedge R)$$

$$(P \vee Q) \vee R = P \vee (Q \vee R)$$

El hecho de tener una cláusula de forma:

$$P \leftarrow Q_1 \wedge Q_2 \wedge \dots \wedge Q_n : i, \quad n \geq 0$$

indica, en primera instancia que si el antecedente es demostrado como completamente cierto, entonces el consecuente (P) se puede afirmar a lo más con valor de verdad i . Posteriormente, si el antecedente es demostrado con un valor de verdad j , entonces el valor de verdad del consecuente será afectado por j de la forma $j \cdot i$.

La fórmula para calcular el valor de verdad de P bajo la cláusula anterior queda:

$$\text{val}(P) = i * \min(\text{val}(Q_1), \text{val}(Q_2), \dots, \text{val}(Q_n)).$$

Dada una interpretación para cualquier cláusula de Horn, resulta directa la aplicación de Resolución para hacer las inferencias. Si bajo el modelo usado se tienen las cláusulas:

- 1) $P(X) \leftarrow Q(X) \wedge R(X) : 0.9$
- 2) $Q(a) : 0.85 \quad y$
- 3) $R(a) : 0.89$

y se reexpresan como disyunción de literales en:

- 1') $\neg Q(X) \vee P(X) : 0.9$
- 2') $Q(a) : 0.85 \quad y$

$$3') \quad P(a) : 0.89,$$

al resolverlas se obtiene la cláusula resolvente:

$$4) \quad P(a) : 0.765.$$

Para demostrar la cláusula $\neg P(a)$ a partir del mismo conjunto de cláusulas, primero se obtiene el valor con el que se demuestra $P(a)$ y después se calcula el valor de $\neg P(a)$. La respuesta sería un valor de $0.235 = 1 - 0.765$.

3. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE BASES DE CONOCIMIENTO

Una vez establecida la interpretación del modelo usado se muestra a continuación cómo se instaló tal modelo y qué características adicionales se incorporaron para tener un medio ambiente que facilite el desarrollo y prueba de bases de conocimiento.

El conjunto de herramientas en el cual se instaló el modelo para razonar bajo incertidumbre están basadas en la idea seguida en APES (Augmented Prolog for Expert Systems) [29].

Todo el conjunto de programas y facilidades que se tienen en estas herramientas se apoyan en un conjunto de meta-reglas que funcionan como un intérprete de Prolog. La característica principal de este intérprete es que aplica resolución usando los índices de certeza asociados a los hechos y reglas contenidos en su base de datos así como de inferencias previas, haciendo la combinación de índices según el modelo expuesto en el capítulo anterior. Otro rasgo importante es el hecho que, en caso de no poder resolver una pregunta con la información contenida en su base de datos o inferida, recurre al usuario en busca de datos adicionales. Esta propiedad lo hace muy adecuado para la construcción de bases de conocimiento.

Las reglas que resumen este intérprete son:

((conf () 1))

```

((conf (X|Y) Z)
 (prueb X x)
 (conf Y y)
 (min x y Z))
((prueb (NOT|X) Y)
 (prueb X Z)
 (SUM Y Z 1)
 /
 (NOT EQ Y 0))
((prueb (NOT|X) 1)
 /
 ((prueb (X|Y) Z)
 (GL ((X|Y)(x)|y))
 (conf y z)
 (TIMES x z Z))
((prueb (OR X Y) Z)
 /
 (OR ((conf X x)(disy Y y)(max x y Z))
 ((conf Y x)(disy X y)(max x y Z)))
((prueb (X|Y) 1)
 (SYS X)
 /
 (X|Y))
((prueb (X|Y) Z)
 (dlgo (X|Y) Z))

```

Con las dos primeras reglas (conf) se hace la evaluación de una conjunción de literales. En la primera se asigna a la lista vacía un índice de certeza con valor de 1. La segunda toma el mínimo de los índices de certeza con que se logre demostrar cada una de las literales que constituyen la conjunción.

Con las seis meta-reglas restantes se demuestran las literales que constituyen una conjunción o el antecedente de las reglas. Las dos primeras prueban las literales negadas. En la primera regla para la negación se trata de demostrar la literal no negada con un valor menor de 1, para poder hacer el cálculo del valor del índice de la negación como 1 menos ese valor. Si eso no es posible se intentará la segunda regla para la negación, en la cual ya se afirma con un índice igual a 1.

Es importante en este punto hacer la observación de que la base de datos se maneja bajo la suposición del mundo cerrado [31], es decir, todas las cláusulas con un índice de certeza mayor que 0 son almacenadas en la base de datos. Las cláusulas con un índice igual a 0 (*falso*) son omitidas.

Con la tercera meta-regla se trata de encontrar en la base de datos una cláusula con la cual se pueda afirmar la literal. Como puede observarse se toma el índice de certeza de la cláusula y se multiplica por el valor que se obtiene al demostrar el antecedente de la regla.

La disyunción es evaluada con la cuarta cláusula. Como se observa, se prueban ambos operandos y la disyunción se afirma con un índice de certeza igual al máximo de los índices de certeza obtenidos. Para asegurar que la disyunción funcione cuando alguno de los operandos falla se incluye la posibilidad de probar las dos combinaciones de los operandos.

La quinta cláusula permite demostrar todas las primitivas de Prolog, asignando un índice de certeza igual a 1, debido a que ellas no se manejan con incertidumbre.

Finalmente, si ninguna de las meta-reglas anteriores se aplica exitosamente, se emplea la última de ellas para recurrir al diálogo con el usuario.

La versión completa de las meta-reglas del intérprete son mostradas en el anexo G. Estas reglas incluyen el seguimiento de la línea de razonamiento.

Para poder hacer uso de la capacidad inferencial incierta del intérprete delineado anteriormente se requiere tener facilidades para el manejo de hechos y reglas con la sintaxis que le permita funcionar. Con este fin se incorporaron los programas de manipulación de base de datos siguientes:

- ▶ agrega
- ▶ borra
- ▶ lista
- ▶ carga
- ▶ salva
- ▶ elimina
- ▶ define

La sintaxis de hechos y reglas que se manejan es infija en el caso de relaciones binarias y prefija en las restantes relaciones (unarias, terciarias, etc.). Así, algunos de ejemplos de relaciones expresadas en la sintaxis usada por las herramientas son:

X ser-humano "X es un ser humano"

X padre-de Y "X es padre de Y"

indica(X Y Z) "la información X indica la enfermedad Y en Z"

Las reglas deben escribirse en la forma siguiente:

$$P \text{ if } Q : i$$

en donde P es un predicado, Q es una fórmula e i es el índice de certeza asociado a la regla.

La sintaxis de la conjunción es:

$$P_1 \text{ and } P_2 \quad \text{o} \quad P_1 \ \& \ P_2$$

La disyunción se expresa como:

$$(\text{either } P_1 \text{ or } P_2)$$

La negación se debe escribir como:

$$\text{not } P_i$$

donde P_i $i=1,2$, son fórmulas.

En el anexo A, que muestra la base de conocimientos, se exhibe ampliamente la sintaxis empleada. Una exposición más detallada es dada por Clark & McCabe [25].

El programa *agrega* permite adicionar cláusulas a la base de datos, las cuales pueden ser alimentadas especificando su índice de certeza. Cuando se omite el índice, *agrega* define la cláusula con índice igual a i.

El comando *borrar* permite borrar cláusulas particulares de la base de datos.

Para consultar el estado de la base de datos, tanto de la base de conocimiento como del diálogo tenido con el usuario, se tiene el programa *lista*.

Con los programas *salva* y *carga* se tiene la posibilidad de salvar la base de datos a un archivo o recuperar una base ya existente.

Cuando se desea suprimir la información de la base de datos o parte de ella se cuenta con el comando *elimina*.

El programa *define* permite declarar cláusulas que se han obtenido a partir del diálogo con el usuario, como integrantes de la base de datos (conocimiento).

Ya que se ha construido una base de datos con el conjunto de programas dado anteriormente, las herramientas con las se puede consultar esta base son:

- ▶ *es*
- ▶ *cual*
- ▶ *confirma*
- ▶ *encuentra*

El programa *es* hace preguntas a la base de datos en el mismo modo que el comando *is* de SIMPLE [25,28], es decir, interrogaciones cerradas (libres de variables) pero sin incluir el diálogo con el usuario (sólo la información de la base de datos). Las únicas respuestas posibles a esta consulta son *Si* o *No*, con su respectivo índice de certeza.

Del mismo modo, el comando *cual* responde interrogaciones abiertas (con variables), únicamente con los datos de la base o que se puedan inferir de ella. Los valores que se puedan asignar a las variables son mostrados junto con su respectivo índice de certeza.

En relación a los programas es y cual es importante subrayar que, si se invocan antes de algún *confirma* o *encuentra*, no consultan al usuario acerca de información que pudieran necesitar para responder la pregunta. No obstante, si se ejecutó previamente algún *confirma* o *encuentra*, sí toman en cuenta las afirmaciones o negaciones hechas durante el diálogo, con el fin de hacer las inferencias.

En lo que respecta a *confirma* y *encuentra*, son equivalentes a *es* y *cual*, aunque con la diferencia que, si durante sus inferencias no encuentran información en la base de datos que les permita responder la pregunta que se planteó, recurre al usuario para completar la información.

Así, son dos tipos de preguntas que el sistema puede hacer al usuario durante una consulta. El primero son dudas que requieren exclusivamente una respuesta afirmativa o negativa. En este caso, las respuesta que permite el sistema son *si*, *no*, o un índice de certeza entre 0 y 1. (No se aceptan los valores extremos, 1 ó 0, debido a que pueden suministrarse sus equivalentes, *si* o *no*).

El segundo tipo de cuestiones hechas al consultante son aquellas que implican asignar valores a variables. El programa da, asimismo, posibilidad de proveer los datos con su incertidumbre asociada. Con la palabra *fin* se indica que ya no hay más valores para las variables.

En todo momento en que el sistema solicite información o produzca alguna respuesta, la palabra *válido* causa el despliegue de la información acerca de las contestaciones o preguntas válidas en ese instante.

El suministrar la palabra *alto* provoca la suspensión de la evaluación de la consulta, con lo cual se regresa inmediatamente a *Micro-Prolog*.

Durante la etapa del diálogo se puede seguir la línea de razonamiento en la forma en que lo hace APES, aunque con algunas restricciones.

Quando el sistema hace una pregunta al usuario, la palabra *por-que* invoca la explicación del motivo de la curiosidad. Tal explicación muestra las reglas que se están tratando de demostrar en ese punto de la inferencia. No se incluyen los resultados intermedios que se han obtenido. Del mismo modo, la palabra *Por-que* causa una explicación, la diferencia reside en que ésta es más completa que la anterior debido a que incluye todos los resultados intermedios que se han producido.

Una justificación más restringida se logra con la palabra *encadena*, la cual sólo contempla los consecuentes de las reglas y el antecedente que se trata de demostrar. Esta explicación es útil cuando se quiere una idea general del proceso de inferencia sin entrar a los detalles de las reglas. Asimismo es ventajosa por el poco espacio de pantalla que ocupa.

Al terminar la inferencia y desplegar la respuesta el sistema puede mostrar el camino que siguió para encontrarla, bajo la solicitud previa con un *como* o un *por-que*. Durante esta justificación se permite alimentar las palabras *bien* y *mas*. Con la primera se especifica que se está satisfecho con la explicación dada hasta ese nivel y que se puede regresar al nivel precedente.

Quando se suministra la palabra *mas* se hace que el programa

continúe buscando más soluciones a la interrogación planteada. Esto es también válido cuando se está explicando como se llegó a una respuesta, en cuyo caso se detiene la explicación y procede la búsqueda.

Otra característica que se incorporó a las herramientas para el desarrollo de bases de conocimiento son las relaciones *fue-interrogado*, *fue-afirmado* y *fue-negado*. Con estas relaciones y bajo el programa encuentra es posible conseguir que se muestren todas las preguntas que se le hicieron al usuario, las contestadas afirmativamente (con índice de certeza mayor que 0) y las negadas.

4. UNA BASE DE CONOCIMIENTO SOBRE ENFERMEDADES HEPATICAS

En el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, la Ing. Patricia Avila A. recopiló una base de conocimiento de enfermedades hepáticas como tesis de Maestría [32]. Esta base diagnostica 8 de los padecimientos hepáticos más frecuentes y consta de 415 reglas, 69 ligas de contexto y 211 nodos. Fue codificada para funcionar con el esqueleto de sistema experto Mexexp de Zdrahal y Marik [33].

Con el fin de probar las características y el funcionamiento de las herramientas para el desarrollo y prueba de bases de conocimiento bajo incertidumbre se traslado una parte de la base de enfermedades hepáticas.

El hecho de trasladar una base de conocimiento funcionando en un contexto particular a otro completamente distinto involucra varios problemas entre los que se mencionan los siguientes:

- o La Compilación de Conocimiento, es decir, la traducción de una representación de conocimiento dada a otra con distintas características [1]. Este problema implica poseer amplios conocimientos tanto de la base de conocimiento como de ambas representaciones para mantener cierta consistencia. En nuestro caso se trata de pasar de la representación basada en reglas de producción con ligas de contexto a la representación clausal de Prolog, más asociada con la Lógica.

- La Conversión de Medidas de Incertidumbre. Con esto se quiere expresar el hecho de pasar de un formalismo de manejo de incertidumbre a otro con diferentes fundamentos y propiedades. En esto no existe consenso si los procedimientos hasta ahora propuestos son equivalentes y en consecuencia se ignora si se puede pasar de uno a otro. El problema es cómo pasar del manejo de incertidumbre basado en el Teorema de Bayes usado en Mexexp al usado en este trabajo.

- Mantenimiento de consistencia. Esta cuestión íntimamente vinculada a la primera, se refiere al hecho de mantener la efectividad y eficiencia del conocimiento después de someterse a otras condiciones. Como en el momento de hacer la adquisición de conocimiento por primera vez, al hacer su traducción se necesita someter al nuevo sistema al criterio del experto humano y a constantes pruebas.

- Disponibilidad de recursos. Otro tipo de problemática surge cuando se tiene que adaptar una base de conocimientos a condiciones en las que los recursos están más limitados. En las circunstancias en las que efectúa la traducción aquí descrita se pasa de una disponibilidad suficiente de memoria en Mexexp a otra más restringida en Micro-Prolog.

Como puede observarse algunas de estas cuestiones caen en los dominios de investigaciones contemporáneas de Inteligencia Artificial y no se pretendió aproximar su solución en este trabajo.

Bajo estas condiciones lo que se hizo fue una versión libre de la base de conocimiento, tomando sólo una parte de ella,

definiendo nuevos valores de incertidumbre y probandola unicamente desde el punto de vista del funcionamiento del conjunto de herramientas, sin tratar de obtener un comportamiento cercano a problemas reales.

Así el conocimiento se instaló a partir de un conjunto de meta-reglas que intentan englobar los aspectos considerados por un médico al hacer un diagnóstico en cualquier área de especialidad. Estas reglas se resumen en:

X padece Y if

indican("los antecedentes" Y X) and

indican("los estudios de laboratorio" Y X) and

indican("los datos clinicos" Y X) and

indica("otra informacion" Y X)

indican("los estudios de laboratorio" Y X) if

indica("el estudio sanguineo" Y X) and

indica("el estudio de orina" Y X)

indica("los datos clinicos" Y X) if

indica("la exploracion fisica" Y X) and

indica("informacion clinica adicional" Y X)

Con los predicados indica(X Y Z) se expresa que "la información X indica la enfermedad Y en el paciente Z".

Este conjunto de reglas se consideran de validez general y consecuentemente se les asoció un índice de certeza igual a uno. Posteriormente se establecieron reglas específicas para cada padecimiento. Por ejemplo, una de las las reglas que contribuyen al diagnóstico del cáncer de encrucijada es la siguiente:

indica("otra información" "cáncer de encrucijada" X) if

X es-de-sexo femenino and
X ha-tenido "algun aborto" and
X ha-estado "embarazada mas de una vez": 1

La base de conocimiento quedó integrada por 74 reglas, las cuales generan un diálogo de hasta 43 preguntas al usuario, pudiendo "diagnosticar" las 8 enfermedades contempladas en la base original.

En el anexo A se muestra todas las reglas que conforman la base de conocimiento con los respectivos índice de certeza asociados. El anexo B incluye ejemplos de diálogos y ejecuciones de varios de los programas que se reúnen en el conjunto de herramientas usando esta base.

5. RESULTADOS

Los resultados a los que se llegó con la herramientas desarrolladas se pueden valorar en cuatro aspectos: el manejo de la base de datos, la capacidad inferencial, la comunicación con el usuario y la disponibilidad de recursos para la aplicación.

Los programas instalados para hacer la manipulación de la base de datos comprenden las aptitudes mínimas como son el agregar, borrar, listar y limpiar la base de datos. De éstas, las que requieren manejar la sintaxis especial usada por las herramientas son las que corresponden a las acciones de agregar, borrar y listar cláusulas. La sintaxis usada es clara y de fácil manejo para el usuario.

Es de hacer notar la diferenciación que se hace, dentro de la base de datos, de lo que es en sí la base de conocimiento y los datos particulares de la consulta o diálogo sustentado. Se tienen medios específicos para listar o borrar todo o parte del diálogo. Todas las respuestas son grabadas automáticamente durante la interacción con el usuario.

Por lo que respecta a la capacidad inferencial, el carácter conversacional de la interacción con las herramientas hace que, generalmente, pase desapercibido el tiempo de respuesta del intérprete. No obstante, una vez mantenido el diálogo, una consulta posterior hace resaltar el tiempo que tarda el intérprete en encontrar sus respuestas.

Este problema es natural dado que el programa que hace las inferencias manejando incertidumbre funciona sobre el intérprete original de Prolog, necesita hacer operaciones numéricas y debe llevar la pista de las inferencias que va efectuando.

La comunicación con el usuario quedó establecida de manera concisa y sin ambigüedades. Siempre que es posible, los programas facilitan información de qué respuestas son adecuadas en determinadas circunstancias y justifican preguntas y soluciones halladas. En este punto es de resaltar el hecho de manejar el auto-razonamiento con la incertidumbre con que se hace la inferencia.

Una vez instaladas las herramientas, el usuario dispone de 36K de memoria para el desarrollo de su base de conocimiento. Con esta cantidad de memoria fue posible instalar y ejecutar la base de conocimiento de enfermedades hepáticas mencionadas en el capítulo anterior, la cual requirió aproximadamente de 174 cláusulas, comprendidas las cláusulas de la base de conocimiento y del diálogo. Además, es necesario considerar los requerimiento de memoria que se tienen durante la consulta debido al seguimiento de la línea de razonamiento.

Como puede observarse, la cantidad de memoria que las herramientas dejan disponible al usuario es suficiente para un "buen" número de cláusulas.

Respecto a la base de conocimiento que se instaló se puede decir que, no obstante que se careció del apoyo de un médico especialista en enfermedades del hígado para establecer la consistencia de las reglas, se lograron obtener algunos

diagnósticos cercanos a la realidad en cuatro casos facilitados por un médico. Uno de ellos no pudo llegar a alguna respuesta satisfactoria. El anexo B muestra las respuestas dadas en dos de los casos probados.

Asimismo, se mostró el funcionamiento de la base al Dr. Sergio Márquez, investigador del CINVESTAV con amplios conocimientos de enfermedades hepáticas, el cual hizo valiosos comentarios y subrayó algunas ambigüedades en la preguntas así como inconsistencias en las reglas. Parte de estos problemas son heredados de la base de conocimiento original.

Al evaluar el comportamiento del sistema con la base de conocimiento se percibe que se requiere la valoración del conocimiento por un médico especialista. Por lo que toca al razonamiento incierto, éste depende de las reglas contenidas en la base, de ahí los diagnósticos obtenidos con índices muy bajos, aún cuando llega al padecimiento esperado. La falla de uno de los casos es justificada por los mismos defectos en el conocimiento.

En resumen, se logró un pequeño sistema sin toda la gama de facilidades de APES pero con las posibilidades mínimas para acumular y experimentar bases de conocimiento, todo ello tomando en cuenta la incertidumbre.

6. CONCLUSIONES

Con el modelo de razonamiento bajo incertidumbre usado se logra una búsqueda más completa de la base de conocimiento con la que se está infiriendo. Como consecuencia se encuentra un número mayor de respuestas que cuando se infiere sin incertidumbre.

El modelo de razonamiento contiene al esquema de inferencia implícito a Prolog y representa una extensión provechosa a él.

El contexto en que funciona un esquema inferencial con incertidumbre es un aspecto determinante. Con el manejo de incertidumbre utilizado en las herramientas aquí expuestas se logran algunas ventajas en Prolog y puede encontrar áreas de conocimiento en las que sea adecuado, así como en las que resulte impráctico o muy limitado.

En las herramientas se comprenden los comandos esenciales para la instalación y experimentación con bases de conocimiento. Incluye además comandos apropiados para la inferencia con incertidumbre.

La sintaxis usada sigue lineamientos previos y por lo tanto es clara y de fácil comprensión. La interacción con el usuario es amplia, con diversas opciones y guiada siempre que es posible.

La experimentación con la base de conocimiento de

enfermedades del hígado permitió mejorar defectos y presentaciones, así como exponer las potencialidades y limitaciones de las herramientas.

REFERENCIAS

- [1] HAYES-ROTH Frederick, WATERMAN Donald A., LENAT Douglas B., *Building Expert Systems*, U.S.A., Addison Wesley, 1983, 444 p.
- [2] FORSYTH Richard H. (Ed.), *Expert Systems: Principles and Case studies*, Inglaterra, Chapman & Hall, 1984, 231 p.
- [3] WEISS Sholom M., KULIKOWSKI Casimir A., *A Practical Guide to Designing Expert Systems*, U.S.A., Rowman and Allanheld, 1984, 174 p.
- [4] CHAPA V. Sergio V., *Arquitectura de Sistemas Expertos*, Informe Técnico CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Serie Amarilla, Número 14, 1984.
- [5] DUDA R.O., HART P.E., NILSSON N.J., *Subjective Bayesian Methods for Rule-based inference systems*, en: *Readings in Artificial Intelligence*, Weber B.W., Nilsson N.J. (Eds.), U.S.A., Tioga, 1981, pp. 192-199.
- [6] SHORTLIFFE Edward H., *Computer-Based Medical Consultations: Mycin*, U.S.A., Elsevier Publishing Co., 1976, 264 p.

- [7] VAN MELLE William, SHORTLIFFE Edward H., BUCHANAN Bruce G., *EMYCIN: a Knowledge Engineer's Tool for Constructing Rule-based Expert Systems*, en: *Rule-based Expert Systems*, Buchanan B., Shortliffe E. (Eds.), U.S.A., Addison-Wesley, 1984, pp. 302-328.
- [8] BENNETT James S., ENGELMORE Robert S., *Experience Using EMYCIN*, en: *Rule-based Expert Systems*, Buchanan B., Shortliffe E. (Eds.), U.S.A., Addison-Wesley, 1984, pp. 314-328.
- [9] BARNETT Jeffrey A., *Computational Methods for a Mathematical Theory of Evidence*, Proc. 7th IJCAI, agosto 1981, pp. 868-875.
- [10] BALDWIN J.F., *Fuzzy Logic and Fuzzy Reasoning*, en: *Fuzzy Reasoning and Its Applications*, Mamdani E.H., Gaines B.R. (Eds.), U.S.A., Academic Press, 1981, pp. 133-148.
- [11] ZADEH Lotfi A., *The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning*, Parte I, II, III, *Information Science*, 1975, 8: pp. 199- 249, 301-357, 9: pp. 43-80.
- [12] ZADEH L.A., *A Theory of Approximate Reasoning*, en: *Machine Intelligence 9*, Hayes J.E., Michie D., Mikulich L.I. (Eds.), England, Ellis Horwood Ltd., 1979, 492 p.
- [13] ZADEH L.A., *A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges*, *Journal of Cybernetics*, Volumen 2,

- [14] THOMPSON Beverly, THOMPSON William, *Finding Rules in Data*, Byte, Volumen 11, Número 14, noviembre 1986, pp. 149-160.
- [15] NILSSON Nils J., *Probabilistic Logic*, en: *Artificial Intelligence*, Número 28, 1986, pp. 71-87.
- [16] VAN EMDEN M.H., *Quantitative Deduction and Its Fixpoint Theory*, *Journal of Logic Programming*, U.S.A., 1986, No. 1, pp. 37-53.
- [17] CLARK K.L., McCABE F.G., *PROLOG: a Language for Implementing Expert Systems*, en: *Machine Intelligence 10*, Hayes J.E., Michie D., Pao Y.H. (Eds.), Gran Bretaña, Chichester, 1982, pp. 455-470.
- [18] McDERMOTT D., *The PROLOG phenomenon*, *SIGART Newsletter*, Número 72, julio 1980, pp. 16-20.
- [19] PECORA V.J., *EXPRS: a Prototype Expert System using Prolog for Data Fusion*, *The AI Magazine*, verano 1984.
- [20] CROMARTY Andrew S., *What are current expert system tools missing?*, en: *30th IEEE Computer Society Int. Conf.*, San Francisco Cal., Febrero 1985.
- [21] GONZALEZ Manuel, *Skeleton for an Expert System with a Knowledge Base Stratified en Themes*, *Congreso IEEE Mexico*, octubre 1986.

- [22] MICHALSKI R.S., BASKIN, A.B., *Integrating Multiple Knowledge Representations and Learning Capabilities in an Expert System: the ADVISE System*, en: Proc. IJCAI-83, 1983, pp. 256-258.
- [23] NILSSON Nils J., *Principles of Artificial Intelligence*, U.S.A., Tioga Publishing Co., 1980, 476 p.
- [24] KOWALSKI Robert, *Logic for Problem Solving*, U.S.A., North Holland, 1979, 287 p.
- [25] CLARK K. L., McCABE F.G., *micro-Prolog Programming in Logic*, U.S.A., Prentice Hall, 1984, 401 p.
- [26] CLOCKSIN William F., MELLISH Christopher S., *Programming in Prolog*, Alemania, Springer Verlag, 1981, 279 p.
- [27] CLOCKSIN W.F., *An Introduction to PROLOG*, en: *Artificial Intelligence: Tools, Techniques and Applications*, O'Shea T., Eisenstadt M. (Eds.), U.S.A, Harper & Row, 1984.
- [28] McCABE F.G., CLARK K.L., STEEL B.D., *micro-Prolog 3.1, Programmer's Reference Manual*, CP/M and MS-DOS versions, Gran Bretaña, Logic Programming Associates Ltd., marzo 1984.
- [29] HAMMOND Peter, SERGOT Marek, *APES: Augmented Prolog for Expert Systems*, Reference Manual, micro-Prolog version, Gran Bretaña, Logic Based Systems, julio 1984.

- [30] ZADEH Lotfi A., *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decisions processes*, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetic, SMC-3, Enero 1973, pp. 28-44.
- [31] REITER Raymond, *On Closed World Data Bases*, en: *Logic & Data Bases*, Gallaire H., Minker J. (Eds.), U.S.A., Plenum Press, 1978, pp. 55-76.
- [32] AVILA A. Patricia, *Base de conocimiento sobre enfermedades hepáticas*, CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Sección Computación, Tesis de Maestría, 1987.
- [33] MARIK Vladimir, ZDRAHAL Zdenek, RAYMUNDO M.A., *An Skeleton for Expert Systems: Mexexp I.O.*, Informe Técnico CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Serie Amarilla, Número 11, 1984.
- [34] TURNER Raymond, *Logics for Artificial Intelligence*, Gran Bretaña, Ellis Horwood Ltd., 1984, 121 p.
- [35] BALDWIN J.F., *Fuzzy Sets and Expert Systems*, Information Science, Volumen 36, 1985, pp. 123-156.
- [36] ISHIZUKA Mitsuru, FU K. S., YAO James T.P., *Inference Procedures under Uncertainty for the Problem Reduction Method*, Information Science, Volumen 28, 1982, pp. 179-286.
- [37] BALDWIN J.F., *Automated Fuzzy and Probabilistic Inference*, Information Science, Volumen 18, 1986, pp. 219-235.

- [38] ISHIZUKA Mitsuru, FU K.S., YAO James T.P., *Inexact Inference for Rule-Based Damage Assessment of Existing Structures*, Proc. 7th IJCAI, agosto 1981, pp. 837-842.
- [39] ADLASSING Klaus P., *Fuzzy Set Theory in Medical Diagnosis*, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, SMC-16, Número 2, marzo/abril 1986, pp. 260-265.
- [40] FARRENY Henry, PRADE Henri, *Default and Inexact Reasoning with Possibility Degrees*, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, SMC-16, Número 2, marzo/abril 1986, pp. 270-276.
- [41] PRADE Henri, *A Computational Approach to Approximate and Plausible Reasoning with Applications to Expert Systems*, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volumen 7, Número 3, 1985, pp. 260-283, (Correcciones en Volumen 7, Número 6, pp. 747-748).
- [42] TOGAI Masaki, WATANABE Hiroyuki, *A VLSI Implementation of a Fuzzy Inference Engine: Toward an Expert System on a Chip*, Information Science, Volumen 38, Número 2, 1986, pp. 147-163.
- [43] BARR A., FEIGENBAUM E.A. (Eds.), *The Handbook of Artificial Intelligence*, Volumen 1, U.S.A., William Kaufmann, 1981.
- [44] COHEN P.R., FEIGENBAUM E.A., *The Handbook of Artificial Intelligence*, Volumen 3, U.S.A., William Kaufmann, 1982.

- [45] GUZMAN A. Adolfo, *Applied Artificial Intelligence: An Emerging Technology of Widespread Use*, Informe Técnico CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Serie Amarilla, Número 2, 1985.
- [46] GUZMAN A. Adolfo, *Tutorial sobre Sistemas de Computo de la Quinta Generación*, Informe Técnico CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Serie Amarrilla, Número 28, 1985.
- [47] SALDAÑA A. Héctor, *Sistemas Expertos en Ingeniería*, Informe Técnico CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Serie Amarilla, Número 30, 1986.
- [48] YAGER Ronald R., *Approximate Reasoning as a Basis for Rule Based Expert Systems*, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetic, SMC-14, Número 4, julio/agosto 1984, pp. 636-643.

A N E X O A

LISTA DE PRINCIPALES RELACIONES

Las relaciones que no se indica son no interrogable, es decir, se infiere con reglas.

padece(X Y)	"el paciente X padece la enfermedad Y"
indica(X Y Z)	"la información X indica la enfermedad Y en el paciente Z"
indican(X Y Z)	"los datos X indican la enfermedad Y en el paciente Z"
tiene(X Y)	"el paciente X tiene el síntoma o antecedente Y" (relación interrogable, es decir, el usuario es interrogado)
Tiene(X Y)	"el paciente X tiene el antecedente Y"
ha-tenido(X Y)	"el paciente X ha tenido el síntoma Y" (relación interrogable)
presenta(X Y)	"el paciente X presenta el síntoma Y" (relación interrogable)
tiene-edad(X Y)	"el paciente X tiene edad Y" (relación interrogable)
ha-estado(X Y)	"el paciente X ha estado en situación Y"
ingirio(X Y)	"el paciente X ingirió Y" (relación interrogable)
esta-en(X Y)	"el paciente X está en estado Y"

X Tiene edad entre 20 y 49 a#os if,
 X tiene-edad Y and
 Y LESS 50 and
 19 LESS Y: 1

X Tiene edad entre 40 y 69 a#os if
 X tiene-edad Y and
 Y LESS 70 and
 39 LESS Y: 1

X Tiene edad entre 14 y 39 a#os if
 X tiene-edad Y and
 Y LESS 40 and
 13 LESS Y: 1

X Tiene edad mayor a 40 a#os if
 X tiene-edad Y and
 39 LESS Y: 1

X Tiene edad entre 30 y 39 a#os o mayor de 60 a#os if
 Ceither X tiene-edad Y and
 Y LESS 40 and
 30 LESS Y
 or X tiene-edad Y and
 60 LESS Y): 1

X Tiene edad mayor a 50 a#os if
 X tiene-edad Y and
 50 LESS Y: 1

X Tiene perdida de peso no cuantificada if
 X ha-perdido peso and
 not la-perdida-de-peso-ha-sido-cuantificada: 1

X Tiene perdida de peso mayor a 3 Kgs. por mes if
 X ha-perdido peso and
 la-perdida-de-peso-ha-sido-cuantificada and
 X ha-perdido mas de 3 Kgs. por mes: 1

X Tiene perdida de peso no cuantificada o mayor a 3 Kgs. if
 (either X Tiene perdida de peso no cuantificada
 or X Tiene perdida de peso mayor a 3 Kgs. por mes): 1

X Tiene no perdida de peso o no cuantificada if
 (either not X ha-perdido peso
 or X Tiene perdida de peso no cuantificada): 1

X Tiene hepatomegalia dolorosa if
 X presenta hepatomegalia and
 la-hepatomegalia-es-dolorosa: 1

X Tiene hepatomegalia no dolorosa if
 X presenta hepatomegalia and
 not la-hepatomegalia-es-dolorosa: 1

X Tiene hepatomegalia dolorosa o no dolorosa if
 (either X Tiene hepatomegalia dolorosa
 or X Tiene hepatomegalia no dolorosa): 1

X padece Y if
 indican (los antecedentes Y X) and
 indican (los estudios de laboratorio Y X) and
 indican (los datos clinicos Y X) and
 indica (otra informacion Y X): 1

indican (los estudios de laboratorio X Y) if
 indica (el estudio sanguineo X Y) and
 indica (el estudio de orina X Y): 1

indican (los datos clinicos X Y) if
 indica (la exploracion fisica X Y) and
 indica (informacion clinica adicional X Y): 1

X ha-estado no embarazada o al menos 1 vez if
 X ha-tenido-embarazos Y and
 Y LESS 2: 1

X ha-estado embarazada mas de una vez if
 X ha-tenido-embarazos Y and
 1 LESS Y: 1

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez if

(either X esta embarazada

or X ha-estado embarazada mas de una vez): 1

X ha-ingerido drogas hepatotoxicas o productoras de colestasis if

(either X ingirio drogas hepatotoxicas

or X ingirio drogas productoras de colestasis): 1

X ha-ingerido no drogas o productoras de colestasis if

(either X ingirio drogas productoras de colestasis

or not X ingirio drogas hepatotoxicas): 1

X esta-en estado gral. normal o con ataque ligero a moderado if

(either X presenta estado general normal

or X presenta ataque ligero a moderado): 1

indica (el estudio sanguineo cirrosis X) if
not X tiene reacciones febriles negativas: 0.99

indica (el estudio de orina cirrosis X) if
X tiene urocultivo normal and
not X presenta sintomas de infeccion urinaria: 1

indica (la exploracion fisica cirrosis X) if
not X presenta signo de Murphy and
X presenta esplenomegalia and
not X presenta vesicula palpable and
X presenta ascitis o edema generalizado and
not X presenta disociacion de pulso and
X presenta estupor, excitacion o coma and
X esta-en estado gral. normal o con ataque ligero a
moderado and
X Tiene hepatomegalia no dolorosa: 1

indica (informacion clinica adicional cirrosis X) if
not X presenta datos de insuficiencia cardiovascular and
X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
not X tiene vomito and
not X tiene tos and
X tolera grasas and
not X tiene prurito and
not X tiene hipocolia and
X presenta anorexia and
not X ingirio drogas productoras de colestasis and
X Tiene no perdida de peso o no cuantificada and
X Tiene edad entre 40 y 69 a#os: 0.98

indica (otra informacion cirrosis X): 1

indican (los antecedentes cirrosis X) if
X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and
not X presenta antecedente de calculos o dolor intenso and
X tiene antecedente de disenteria ambiana and

X tiene antecedente de diabetes mellitus and
not X tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular and
X tiene antecedente de hipertension and
X tiene antecedente de cirrosis and
X ingiere bebidas alcoholicas con frecuencia: 1

indica (el estudio sanguineo litiasis X): 0.98

indica (el estudio de orina litiasis X) if

not X presenta sintomas de infeccion urinaria: 1

indica (la exploracion fisica litiasis X) if

X presenta signo de Murphy and

not X presenta esplenomegalia and

not X presenta ascitis o edema generalizado and

not X presenta estupor, excitacion o coma and

X presenta obesidad and

not X presenta hepatomegalia: 0.99

indica (informacion clinica adicional litiasis X) if

not X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and

X tiene vomito and

not X tiene tos and

not X tolera grasas and

X tiene hipocolia and

not X presenta anorexia and

not X ha-perdido peso and

X ha-ingerido no drogas o productoras de colestasis and

X Tiene edad mayor a 40 a#os: 0.97

indica (otra informacion litiasis X) if

X es-de-sexo femenino and

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez: 0.97

indica (otra informacion litiasis X) if

not X es-de-sexo femenino: 0.99

indican (los antecedentes litiasis X) if

not X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and

X presenta antecedente de calculos o dolor intenso and

X tiene antecedente de disenteria amibiana: 1

indica (el estudio sanguineo hepatitis viral X) if
X tiene reacciones febriles negativas and
X tiene leucocitos normales: 0.99

indica (el estudio de orina hepatitis viral X) if
X tiene urocultivo normal and
not X presenta sintomas de infeccion urinaria: 1

indica (la exploracion fisica hepatitis viral X) if
not X presenta ascitis o edema generalizado and
X esta-en estado gral. normal o con ataque ligero a
moderado and
X Tiene hepatomegalia dolorosa: 0.99

indica (informacion clinica adicional hepatitis viral X) if
not X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
X tiene vomito and
not X tiene tos and
X tolera grasas and
X tiene prurito and
X tiene hipocolia and
X presenta anorexia and
not X ha-perdido peso and
X Tiene edad entre 14 y 39 a#os and
not X ha-ingerido drogas hepatotoxicas o productoras de
colestasis: 0.9

indica (otra informacion hepatitis viral X): 1

indican (los antecedentes hepatitis viral X) if
not X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and
not X tiene antecedente de hipertension and
not X tiene antecedente de cirrosis and
not X ingiere bebidas alcoholicas con frecuencia: 1

indica (el estudio sanguineo higado congestivo X) if
X tiene leucocitos normales: 0.96

indica (el estudio de orina higado congestivo X): 1

indica (la exploracion fisica higado congestivo X) if
not X presenta esplenomegalia and
X presenta ascitis o edema generalizado and
not X presenta disociacion de pulso and
not X presenta estupor, excitacion o coma and
X Tiene hepatomegalia dolorosa: 0.98

indica (informacion clinica adicional higado congestivo X) if
X presenta datos de insuficiencia cardiovascular and
not X tiene vomito and
X tiene tos and
not X tiene prurito and
not X tiene hipocolia and
not X presenta anorexia and
X tiene caquexia and
not X ha-perdido peso and
X Tiene edad entre 30 y 39 a#os o mayor de 60 a#os: 0.95

indica (otra informacion higado congestivo X): 1

indican (los antecedentes higado congestivo X) if
not X presenta antecedente de calculos o dolor intenso and
X tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular and
X tiene antecedente de hipertension: 0.97

indica (el estudio sanguineo cancer hepatico X) if
X tiene leucocitos normales: 0.97

indica (el estudio de orina cancer hepatico X) if
X tiene urocultivo normal: 1

indica (la exploracion fisica cancer hepatico X) if
X presenta vesicula palpable and
X presenta ascitis o edema generalizado and
X presenta estupor, excitacion o coma and
X Tiene hepatomegalia dolorosa o no dolorosa: 0.99

indica (informacion clinica adicional cancer hepatico X) if
X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
not X tiene tos and
X presenta anorexia and
X ingirio drogas hepatotoxicas and
X tiene caquexia and
X Tiene perdida de peso no cuantificada o mayor a 3 Kgs.
and
X Tiene edad mayor a 50 a#os: 0.96

indica (otra informacion cancer hepatico X): 1

indican (los antecedentes cancer hepatico X) if
X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and
X tiene antecedente de cirrosis: 0.97

indica (el estudio sanguineo absceso hepatico amibiano X) if
 X tiene reacciones febriles negativas: 0.96

indica (el estudio de orina absceso hepatico amibiano X) if
 X tiene urocultivo normal and
 not X presenta sintomas de infeccion urinaria: 1

indica (la exploracion fisica absceso hepatico amibiano X) if
 not X presenta ascitis o edema generalizado and
 not X presenta estupor, excitacion o coma and
 X Tiene hepatomegalia dolorosa: 0.99

indica (informacion clinica adicional absceso hepatico amibiano X)
 if
 not X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
 X tiene tos and
 X tolera grasas and
 not X tiene prurito and
 not X tiene hipocolia and
 X tiene caquexia and
 X Tiene perdida de peso no cuantificada and
 X Tiene edad entre 20 y 49 a#os: 0.95

indica (otra informacion absceso hepatico amibiano X) if
 X es-de-sexo femenino and
 X ha-tenido algun aborto and
 X ha-estado no embarazada o al menos 1 vez: 0.96

indica (otra informacion absceso hepatico amibiano X) if
 not X es-de-sexo femenino: 0.99

indican (los antecedentes absceso hepatico amibiano X) if
 not X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and
 X tiene antecedente de disenteria amibiana and
 X tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular: 0.99

indica (el estudio sanguineo cancer de encrucijada X) if
X tiene reacciones febriles negativas: 0.97

indica (el estudio de orina cancer de encrucijada X): 1

indica (la exploracion fisica cancer de encrucijada X) if
X presenta vesicula palpable and
not X presenta estupor, excitacion o coma and
not X Tiene hepatomegalia dolorosa: 1

indica (informacion clinica adicional cancer de encrucijada X) if
not X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
X tiene vomito and
not X tolera grasas and
X tiene prurito and
X tiene hipocolia and
X presenta anorexia and
X tiene caquexia and
X Tiene perdida de peso no cuantificada o mayor a 3 Kgs.
and
X Tiene edad entre 40 y 69 a#os: 0.96

indica (otra informacion cancer de encrucijada X) if
X es-de-sexo femenino and
X ha-tenido algun aborto and
X ha-estado embarazada mas de una vez: 1

indica (otra informacion cancer de encrucijada X) if
not X es-de-sexo femenino: 0.98

indican (los antecedentes cancer de encrucijada X) if
X tiene antecedente de diabetes mellitus and
not X tiene antecedente de hipertension and
X ha-tenido operaciones por cancer: 0.98

indica (el estudio sanguineo hepatitis no viral X) if
not X tiene reacciones febriles negativas and
X tiene leucocitos normales: 0.96

indica (el estudio de orina hepatitis no viral X) if
not X tiene urocultivo normal and
X presenta sintomas de infeccion urinaria: 1

indica (la exploracion fisica hepatitis no viral X) if
not X presenta ascitis o edema generalizado and
X presenta disociacion de pulso and
X presenta obesidad and
not X Tiene hepatomegalia dolorosa and
not X presenta hepatomegalia: 0.99

indica (informacion clinica adicional hepatitis no viral X) if
not X tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica and
X tiene vomito and
X tolera grasas and
not X tiene prurito and
not X tiene hipocolia and
X presenta anorexia and
not X ingirio drogas productoras de colestasis and
not X ha-perdido peso and
X ingirio drogas hepatotoxicas and
X Tiene edad entre 14 y 39 a#os: 0.95

indica (otra informacion hepatitis no viral X) if
X es-de-sexo femenino and
X ha-tenido algun aborto and
X ha-estado no embarazada o al menos 1 vez: 0.97

indica (otra informacion hepatitis no viral X) if
not X es-de-sexo femenino: 0.99

indican (los antecedentes hepatitis no viral X) if
not X ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto and
not X tiene antecedente de diabetes mellitus and

not X tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular and
X tiene antecedente de hipertension and
X ingiere bebidas alcoholicas con frecuencia: 0.97

A N E X O B

micro-PROLOG 3.1 - created 29 Mar 84
(c) 1984 Logic Programming Associates Ltd.
62770 + 16384 Bytes Free

&.LOAD herinci

&.agrega(indica("otra informacion" "cancer de encrucijada" X) if
1.X es-de-sexo femenino and
1.X ha-tenido "algun aborto" and
1.X ha-estado "embarazada mas de una vez")
&.lista todo
indica (otra informacion cancer de encrucijada X) if
X es-de-sexo femenino and
X ha-tenido algun aborto and
X ha-estado embarazada mas de una vez: 1
&.agrega(indica("otra informacion" "cancer de encrucijada" X) if
1.not X es-de-sexo femenino : 0.98)
&.lista todo
indica (otra informacion cancer de encrucijada X) if
X es-de-sexo femenino and
X ha-tenido algun aborto and
X ha-estado embarazada mas de una vez: 1
indica (otra informacion cancer de encrucijada X) if
not X es-de-sexo femenino: 0.98
&.salva ab
&.elimina todo
(Todo el programa ? (si/no) .si
Todo el programa borrado
&.QT.

&.carga bc1

&.encuentra(x : paciente-2 padece x)

¿ paciente-2 ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto ? .valido

Puede dar alguno de : numero si no por-que encadena Por-que alto

¿ paciente-2 ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto ? .no

¿ paciente-2 presenta antecedente de calculos o dolor intenso ? .si

¿ paciente-2 tiene antecedente de disenteria amibiana ? .valido

Puede dar alguno de : numero si no por-que encadena Por-que alto

¿ paciente-2 tiene antecedente de disenteria amibiana ? .numero

Puede dar un numero entre 0 (falso) y 1 (cierto)

¿ paciente-2 tiene antecedente de disenteria amibiana ? .0.5

¿ paciente-2 presenta síntomas de infección urinaria ? .por-que

si not paciente-2 presenta síntomas de infección urinaria
entonces indica (el estudio de orina litiasis paciente-2)

si indica (el estudio de orina litiasis paciente-2)
entonces indican (los estudios de laboratorio litiasis paciente-2)

si indican (los estudios de laboratorio litiasis paciente-2) y
indican (los datos clínicos litiasis paciente-2) y
indica (otra información litiasis paciente-2)
entonces paciente-2 padece litiasis

¿ paciente-2 presenta síntomas de infección urinaria ? .no

¿ paciente-2 presenta signo de Murphy ? .si

¿ paciente-2 presenta esplenomegalia ? .Por-que

paciente-2 presenta signo de Murphy

si not paciente-2 presenta esplenomegalia y
not paciente-2 presenta ascitis o edema generalizado y
not paciente-2 presenta estupor, excitación o coma y
paciente-2 presenta obesidad y
not paciente-2 presenta hepatomegalia
entonces indica (la exploración física litiasis paciente-2)

si indica (la exploración física litiasis paciente-2) y
indica (información clínica adicional litiasis paciente-2)
entonces indican (los datos clínicos litiasis paciente-2)

indican (los antecedentes litiasis paciente-2)
indican (los estudios de laboratorio litiasis paciente-2)
si indican (los datos clinicos litiasis paciente-2) y
indica (otra informacion litiasis paciente-2)
entonces paciente-2 padece litiasis

- ¿ paciente-2 presenta esplenomegalia ? .no
- ¿ paciente-2 presenta ascitis o edema generalizado ? .no
- ¿ paciente-2 presenta estupor, excitacion o coma ? .no
- ¿ paciente-2 presenta obesidad ? .si
- ¿ paciente-2 presenta hepatomegalia ? .no
- ¿ paciente-2 tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica ? .no
- ¿ paciente-2 tiene vomito ? .si
- ¿ paciente-2 tiene tos ? .no
- ¿ paciente-2 tolera grasas ? .no
- ¿ paciente-2 tiene hipocolia ? .0.5
- ¿ paciente-2 presenta anorexia ? .no
- ¿ paciente-2 ha-perdido peso ? .no

¿ paciente-2 ingirio drogas productoras de colestasis ? .no

¿ paciente-2 ingirio drogas hepatotoxicas ? .no

¿ Cual (X : paciente-2 tiene-edad X) ?

Una respuesta es .45

Una respuesta es .fin

¿ paciente-2 es-de-sexo femenino ? .si

¿ paciente-2 esta embarazada ? .no

¿ Cual (X : paciente-2 ha-tenido-embarazos X) ?

Una respuesta es .8

Una respuesta es .fin

==> litiasis con 0.485 .como

Para deducir

paciente-2 padece litiasis

use la regla

X padece Y if

indican (los antecedentes Y X) and

indican (los estudios de laboratorio Y X) and

indican (los datos clinicos Y X) and

indica (otra informacion Y X): 1

Puedo mostrar

1 indican (los antecedentes litiasis paciente-2)

2 indican (los estudios de laboratorio litiasis paciente-2)

3 indican (los datos clinicos litiasis paciente-2)

4 indica (otra informacion litiasis paciente-2)

De un numero

.4

Para deducir

indica (otra informacion litiasis paciente-2)

use la regla

indica (otra informacion litiasis X) if

X es-de-sexo femenino and

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez: 0.97

Puedo mostrar

1 paciente-2 es-de-sexo femenino

2 paciente-2 esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez

De un numero

.1

Me dijiste que paciente-2 es-de-sexo femenino con 1

.2

Para deducir

paciente-2 esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez

use la regla

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez if

(either X esta embarazada

or X ha-estado embarazada mas de una vez): 1

Puedo mostrar (either paciente-2 esta embarazada

or paciente-2 ha-estado embarazada mas de una vez)

.como

Puedo mostrar paciente-2 ha-estado embarazada mas de una vez

.como

Para deducir

paciente-2 ha-estado embarazada mas de una vez
use la regla

X ha-estado embarazada mas de una vez if

X ha-tenido-embarazos Y and

1 LESS Y: 1

Puedo mostrar

1 paciente-2 ha-tenido-embarazos 8

2 1 LESS 8

De un numero

.1

Me dijiste que paciente-2 ha-tenido-embarazos 8 con 1

.2

Es obvio que 1 LESS 8

.bien

Puedo mostrar paciente-2 ha-estado embarazada mas de una vez

.bien

Para deducir

paciente-2 esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez
use la regla

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez if

(either X esta embarazada

or X ha-estado embarazada mas de una vez): 1

Puedo mostrar (either paciente-2 esta embarazada

or paciente-2 ha-estado embarazada mas de una vez)

.bien

Para deducir

indica (otra informacion litiasis paciente-2)
use la regla

indica (otra informacion litiasis X) if

X es-de-sexo femenino and

X esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez: 0.97

Puedo mostrar

1 paciente-2 es-de-sexo femenino

2 paciente-2 esta-o-ha-estado embarazada mas de una vez

De un numero

.bien

Para deducir

paciente-2 padece litiasis
use la regla

X padece Y if

indican (los antecedentes Y X) and

indican (los estudios de laboratorio Y X) and

indican (los datos clinicos Y X) and

indica (otra informacion Y X): 1

Puedo mostrar

1 indican (los antecedentes litiasis paciente-2)

2 indican (los estudios de laboratorio litiasis paciente-2)

3 indican (los datos clinicos litiasis paciente-2)

4 indica (otra informacion litiasis paciente-2)

De un numero

.mas

¿ paciente-2 tiene antecedente de hipertension ? .si

¿ paciente-2 tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular ? .si

¿ paciente-2 tiene reacciones febriles negativas ? .si

¿ paciente-2 tiene urocultivo normal ? .si

¿ paciente-2 tiene antecedente de diabetes mellitus ? .no

No hay (mas) respuestas

&.lista dialogo

Negaste paciente-2 ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto

Tu me dijiste que paciente-2 presenta antecedente de calculos o intenso: 1

Tu me dijiste que paciente-2 presenta signo de Murphy: 1

Tu me dijiste que paciente-2 presenta obesidad: 1

Negaste paciente-2 presenta sintomas de infeccion urinaria

Negaste paciente-2 presenta esplenomegalia

Negaste paciente-2 presenta ascitis o edema generalizado

Negaste paciente-2 presenta estupor, excitacion o coma

Negaste paciente-2 presenta hepatomegalia

Negaste paciente-2 presenta anorexia

Tu me dijiste que paciente-2 tiene antecedente de disenteria amibiana: 0.5

Tu me dijiste que paciente-2 tiene vomito: 1

Tu me dijiste que paciente-2 tiene hipocolia: 0.5

Tu me dijiste que paciente-2 tiene antecedente de hipertension: 1

Tu me dijiste que paciente-2 tiene antecedente de insuficiencia

cardiovascular: 1

Tu me dijiste que paciente-2 tiene reacciones febriles negativas: 1

Tu me dijiste que paciente-2 tiene urocultivo normal: 1

Negaste paciente-2 tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica

Negaste paciente-2 tiene tos

Negaste paciente-2 tiene antecedente de diabetes mellitus

Negaste paciente-2 tolera grasas

Negaste paciente-2 ha-perdido peso

Negaste paciente-2 ingirio drogas productoras de colestasis

Negaste paciente-2 ingirio drogas hepatotoxicas

Tu me dijiste que paciente-2 tiene-edad 45: 1

Tu me dijiste que paciente-2 es-de-sexo femenino: 1

Negaste paciente-2 esta embarazada

Tu me dijiste que paciente-2 ha-tenido-embarazos 8: 1

&.confirma(paciente-2 padece litiasis)

==> Si , puedo confirmar paciente-2 padece litiasis con
0.485 .alto

Ejecucion terminada

&.carga bc1

&.encuentra(x : paciente-1 padece x)

¿ paciente-1 ha-tenido hemorragia del tubo digestivo alto ? .no

¿ paciente-1 presenta antecedente de calculos o dolor intenso ? .no

¿ paciente-1 tiene antecedente de insuficiencia cardiovascular ? .no

¿ paciente-1 tiene antecedente de hipertension ? .no

¿ paciente-1 tiene antecedente de cirrosis ? .no

¿ paciente-1 ingiere bebidas alcoholicas con frecuencia ? .0.65

¿ paciente-1 tiene reacciones febriles negativas ? .si

¿ paciente-1 tiene leucocitos normales ? .si

¿ paciente-1 tiene urocultivo normal ? .si

¿ paciente-1 presenta sintomas de infeccion urinaria ? .no

¿ paciente-1 presenta ascitis o edema generalizado ? .no

- ¿ paciente-1 presenta estado general normal ? .si
- ¿ paciente-1 presenta ataque ligero a moderado ? .si
- ¿ paciente-1 presenta hepatomegalia ? .si
- ¿ la-hepatomegalia-es-dolorosa ? .si
- ¿ paciente-1 tiene estigmas de insuficiencia hepatica cronica ? .no
- ¿ paciente-1 tiene vomito ? .si
- ¿ paciente-1 tiene tos ? .no
- ¿ paciente-1 tolera grasas ? .si
- ¿ paciente-1 tiene prurito ? .0.5
- ¿ paciente-1 tiene hipocolia ? .si
- ¿ paciente-1 presenta anorexia ? .0.5

¿ paciente-1 ha-perdido peso ? .no

¿ Cual (X : paciente-1 tiene-edad X) ?

Una respuesta es .55

Una respuesta es .fin

¿ paciente-1 ingirio drogas hepatotoxicas ? .no

¿ paciente-1 ingirio drogas productoras de colestasis ? .no

==> hepatitis viral con 0.35 .mas

¿ paciente-1 tiene antecedente de disenteria amibiana ? .no

¿ paciente-1 tiene antecedente de diabetes mellitus ? .no

No hay (mas) respuestas

&.QT.

A N E X O C

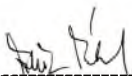
REGLAS DEL INTERPRETE CON INCERTIDUMBRE

```

((conf ( ) 1 ( ) X))
((conf (X|Y) Z (x|y) z)
  (prueb X X1 x z) (conf Y Y1 y z) (min X1 Y1 Z))
((prueb (NOT ? X) Y ((NOT NOT ? X)|Z) x)
  (conf X y Z x) (SUM Y y 1) / (NOT EQ Y 0))
((prueb (NOT ? X) 1 ((NOT NOT ? X)|Y) Z)
  / (EQ Y ( )))
((prueb (NOT|X) Y ((NOT NOT|X) Z) x)
  (prueb X y Z x) (SUM Y y 1) / (NOT EQ Y 0))
((prueb (NOT|X) 1 ((NOT NOT|X) Y) Z)
  / (EQ Y ( )))
((prueb (X|Y) Z ((x X|Y)|y) z)
  (dict X) / (CL ((X|Y) (X1)|Y1) 1 x) (conf Y1 Z1 y z)
  (TIMES X1 Z1 Z))
((prueb (OR X Y) Z ((x OR X Y)|y) z)
  / (OR ((NOT NOT c1 X X1 Y1 z x)(conf X X1 Y1 z)
  (NOT NOT d2 Y Z1 x1 z x)
  (disy1 Y Z1 x1 z)(EQ x 3)(max1 X1 Y1 Z1 x1 Z y)/
  ((NOT NOT c2 Y Z1 x1 z x)(conf Y Z1 x1 z)
  (NOT NOT d1 X X1 Y1 z x)
  (disy1 X X1 Y1 z)(EQ x 3)(max1 X1 Y1 Z1 x1 Z y))))
((prueb (X|Y) 1 ((SYS X|Y)) Z)
  (SYS X) / (X|Y))
((prueb (X|Y) 1 ((SYS X|Y)) Z)
  (rags X) / (X|Y))
((prueb (X|Y) Z ((R X|Y)) x)
  (recvar Y ( ) y) / (dulyd X Y y z X1) / (dlgo y z (X|Y) x X1 Z))

```

Los miembros del jurado, designado por la Sección de Computación del Departamento de Ingeniería Eléctrica, certifican que han leído esta tesis y que es completamente adecuada, en contenido y calidad, como disertación para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



Dr. Zdenek Zdrahal



Dr. Guillermo Morales Luna



M.C. Manuel González Hernández

México, D.F. agosto de 1987.

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

BIBLIOTECA DE INGENIERIA ELECTRICA
FECHA DE DEVOLUCION

El lector está obligado a devolver este libro
antes del vencimiento de préstamo señalado
por el último sello.

24 FEB. 1989

- 7 MAYO 1990

DEVOLUCION

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

