



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A
(H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES**

Mario Samuel López Aldana

Asesorado por el Ing. Herman Igor Véliz Linares

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A
(H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO SAMUEL LÓPEZ ALDANA

ASESORADO POR EL ING. HERMAN IGOR VÉLIZ LINARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
EXAMINADOR	Ing. Marlon Francisco Orellana López
EXAMINADOR	Ing. Pedro Pablo Hernández Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A (H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha enero de 2014.



Mario Samuel López Aldana

Guatemala, 30 de julio de 2014

Ingeniero

Carlos Azurdia


Tutor de trabajos de graduación

Respetable Ingeniero Azurdia:

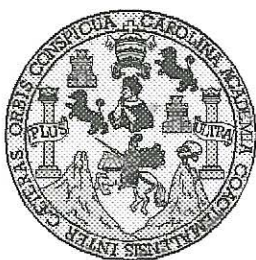
Por este medio le informo, que como asesor del trabajo de graduación del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Mario Samuel López Aldana, carné 200614827, he revisado el protocolo, el marco teórico y el o los capítulos de aporte del trabajo de graduación titulado: "Sistemas Expertos Aplicados a Medicina, Diagnóstico de Influenza A (H1N1) en Guatemala Basado en el Cálculo de Probabilidades", y a mi criterio el mismo está completo y cumple a totalidad con los objetivos propuestos en el protocolo para su desarrollo.

Agradeciendo su atención a la presente,

Atentamente,


Ing. Herman Igor Veliz
Catedrático
Asesor de trabajo de graduación
Colegiado: 4836

Ing. Herman Igor Veliz Linares
COLEGIADO No. 4836



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 6 de Agosto de 2014

Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **MARIO SAMUEL LÓPEZ ALDANA** con carné **2006-14827**, titulado: **“SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A (H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES”**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A
D
E
C
I
E
N
C
I
A
S
Y
S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, del trabajo de graduación **"SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A (H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES"**, realizado por el estudiante MARIO SAMUEL LÓPEZ ALDANA, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



*Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas*

Guatemala, 27 de agosto 2014



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A MEDICINA, DIAGNÓSTICO DE INFLUENZA A (H1N1) EN GUATEMALA BASADO EN EL CÁLCULO DE PROBABILIDADES**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Samuel López Aldana**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2014



/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REPRESENTACIÓN DE PROBLEMAS Y TÉCNICAS DE RESOLUCIÓN	1
1.1. Inteligencia artificial e Inteligencia Natural	1
1.1.1. Procesamiento Simbólico.....	2
1.1.2. Inferencia	3
1.1.3. Heurística.....	3
1.1.4. Reconocimiento de patrones.....	3
1.1.5. Proceso de solución de problemas	3
1.2. Ramas de la inteligencia artificial.....	4
1.2.1. Sistemas expertos	5
1.2.2. Lenguaje natural	5
1.2.3. Entendimiento del habla.....	6
1.2.4. Visión y reconocimiento de imágenes	7
1.2.5. Robótica.....	8
1.3. Ventajas y desventajas de inteligencia artificial	9
1.3.1. Ventajas de inteligencia artificial	9
1.3.2. Desventajas de inteligencia artificial.....	10
1.4. Procesos de solución.....	10
1.5. Procesos de solución en inteligencia artificial	14

1.5.1.	Estrategias de búsqueda	14
1.5.1.1.	Optimización	15
1.5.1.2.	Búsqueda heurística	15
1.5.1.3.	Búsqueda a ciegas	16
1.6.	Métodos de búsqueda	17
1.6.1.	<i>Breadth First Search</i>	17
1.6.2.	<i>Depth First Search</i>	18
1.7.	Representación de problemas en inteligencia artificial	19
1.7.1.	Representación por estados	20
1.8.	Estrategias de control.....	21
1.8.1.	<i>Backward Chaining</i>	22
1.8.2.	<i>Forward Chaining</i>	22
1.8.3.	<i>Means-end Analysis</i>	22
1.8.4.	<i>Least Commitment</i>	23
2.	FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS Y SISTEMAS BASADOS EN REGLAS	25
2.1.	Adquisición de conocimiento	25
2.1.1.	Problemas en la adquisición del conocimiento	27
2.1.2.	Proceso de adquisición del conocimiento	28
2.1.3.	Análisis, codificación, documentación y diagramación	29
2.1.3.1.	Análisis, codificación y documentación	29
2.1.3.2.	Diagramación	30
2.2.	Representación del conocimiento.....	31
2.2.1.	Representación en lógica	31
2.2.1.1.	Lógica proposicional	32
2.2.1.2.	Lógica de predicados.....	32

2.2.2.	Redes semánticas	33
2.2.3.	<i>Scripts</i>	34
2.2.4.	Listas y árboles	34
2.2.4.1.	Listas	35
2.2.4.2.	Tablas de decisión	35
2.2.4.3.	Árboles de decisión	35
2.2.5.	<i>Frames</i>	36
2.2.5.1.	Contenido de un <i>Frame</i>	36
2.2.5.2.	Jerarquía de un <i>Frame</i>	37
2.3.	Inferencia y justificación.....	38
2.3.1.	Inferencia usando reglas <i>Forward Chaining</i> , <i>Backward Chaining</i>	40
2.3.2.	Árbol de inferencia	41
2.3.3.	Inferencia usando <i>Frames</i>	42
2.3.4.	Razonamiento usando modelos.....	42
2.3.5.	Razonamiento basado en casos	43
2.3.6.	Explicación.....	44
2.4.	Conceptos generales.....	45
2.5.	Intérprete de reglas.....	48
2.5.1.	Encontrar e identificar reglas.....	48
2.5.2.	Selección de reglas.....	48
2.6.	Características de un sistema basado en reglas.....	49
2.7.	Aspectos teóricos de la estructura de un sistema basado en reglas.....	50
2.7.1.	Propiedades.....	51
2.7.1.1.	Sistemas conmutativos	52
2.7.1.2.	Sistemas divisibles	53

3.	ESTUDIO DE LA INFLUENZA A (H1N1)	55
3.1.	Origen y desarrollo	56
3.2.	Variedad del virus	57
3.3.	Síntomas	58
3.4.	Tratamiento	58
3.4.1.	Vacuna	58
3.4.2.	Antivíricos.....	59
3.5.	Prevenciones	59
3.6.	Fases pandémicas	60
3.6.1.	Niveles de alerta de la OMS	62
3.6.1.1.	Nivel 3	62
3.6.1.2.	Nivel 4	62
3.6.1.3.	Nivel 5	63
3.6.1.4.	Nivel 6	63
3.6.1.5.	Período pospandémico	63
3.7.	Recomendaciones	64
3.8.	Gestión política	66
4.	INTEGRACIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO PARA INFLUENZA A (H1N1)	69
4.1.	Descripción del sistema	69
4.2.	Análisis.....	70
4.3.	Diseño.....	71
4.3.1.	Diseño de la <i>interfase</i> de usuario	72
4.3.2.	Representación del problema	72
4.3.3.	Diseño e implementación de la base de conocimiento y la máquina de inferencia	73
4.3.4.	Módulo de justificación	78

4.3.5.	Descripción de un sistema experto desarrollado utilizando la herramienta CLIPS	80
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA.....		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	<i>Breadh First Search</i>	17
2.	Depth First Search	19
3.	Representación por medio de un árbol.....	21
4.	Base de conocimiento	46
5.	Diseño de la base de conocimiento.....	77
6.	Arquitectura de un sistema de producción en CLIPS	82
7.	Relación entre los síntomas y enfermedades	83
8.	Regla definida en CLIPS	84
9.	Función en CLIPS	85

TABLAS

I.	Estructura general del identificador	75
----	--	----

GLOSARIO

Adquisición	Acto o hecho en virtud del cual una persona obtiene el dominio o propiedades de un bien.
Algoritmo	Es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.
Amantadina	Es un antiviral para el tratamiento de la influenza tipo A en adultos y también en el tratamiento de la gripe común.
Arquetipo	Es el patrón ejemplar del cual otros objetos, ideas o conceptos se derivan.
<i>Backtracking</i>	Es una estrategia para encontrar soluciones a problemas que satisfacen restricciones, se asemeja a un recorrido en profundidad dentro de un grafo dirigido.
Barbijo	Mascarilla de tela con que se cubren la boca y nariz los médicos y enfermeras.

Citosina	Son los agentes responsables de la comunicación intercelular, inducen la activación de receptores específicos de membrana, funciones de proliferación y diferenciación celular, quimiotaxis, crecimiento y modulación de la secreción de inmunoglobulinas.
Cognoscitivo	De lo que es capaz de conocer.
Conmutatividad	Una operación binaria es conmutativa cuando el resultado de la operación es el mismo, cualquiera que sea el orden de los elementos con los que se opera.
Distributividad	Es la propiedad de los operadores binarios que generaliza la propiedad distributiva del álgebra elemental.
Estereotipo	Es la percepción exagerada y con pocos detalles, simplificada, que se tiene sobre una persona o grupo de personas que comparten ciertas características, cualidades y habilidades, y que buscan justificar o racionalizar una cierta conducta en relación a determinada categoría social.
Exhaustivo	Que es muy completo y profundo.
Heurística	Se refiere a ayudar a descubrir o a aprender.

Inferencia	Es una evaluación que realiza la mente entre proposiciones.
Influenza	Es una enfermedad infecciosa de aves y mamíferos causada por un tipo de virus.
Interface	Se utiliza para nombrar a la conexión física y funcional entre dos sistemas o dispositivos de cualquier tipo dando una comunicación entre distintos niveles.
LISP	Es una familia de lenguajes de programación de computadora de tipo multiparadigma con una larga historia y una sintaxis completamente entre paréntesis.
Mediático	Es lo relativo a los medios de comunicación.
Metaconocimiento	Es el conocimiento sobre el conocimiento preseleccionado.
Nodo	Es un punto de intersección o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.
Oseltamivir	Es un profármaco antiviral selectivo contra el virus de la gripe.

Raciocinio	Es un acto de la mente por el que se pasan de varios juicios, comparándolos entre sí, a la formulación de un nuevo juicio, que necesariamente se sigue de los anteriores.
Resiliencia	Se refiere a la capacidad de los sujetos para sobreponerse a períodos de dolor emocional y situaciones adversas.
Rimantadina	Es un antiviral que se utiliza en el tratamiento de la influenza de tipo A.
Slot	Conector o puerto de expansión en la placa base del ordenador.
Software	Al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.
Top-down	Son estrategias de procesamiento de información características de las ciencias de la información, especialmente en lo relativo al software.

Zanamivir

Es un inhibidor de la neuraminidasa utilizado en el tratamiento de la gripe común y en la profilaxis del virus A y B. Asimismo, ayuda a reducir la duración de los síntomas y evita la propagación de la enfermedad.

RESUMEN

En la década de los 50's Alan Turing comenzó a dar los primeros pasos en el área de inteligencia artificial, utilizando el hardware desarrollado hasta el momento. Tiempo después, Edward Feigenbaum y otros programadores en la Universidad de Stanford desarrollaron "Dendral", este fue un sistema experto que tenía por objetivo estudiar un compuesto químico. Con el pasar del tiempo se han desarrollado muchos sistemas en diferentes campos, los cuales permiten imitar el pensamiento de un experto humano a partir de un conocimiento.

Hasta ahora la mayoría de los problemas resueltos por la computadora han sido de carácter numérico o algorítmico, pero existe una gran cantidad de problemas que no son de este tipo. La información es incompleta, los procedimientos no tienen una lógica definida, hay ambigüedad en los datos, es aquí donde el desarrollo de la inteligencia artificial juega un papel importante, ya que una nueva clase de problemas pueden ser resueltos con la ayuda del computador y la experiencia personal, aumentando la productividad en general.

Inteligencia artificial es la rama de la computación que trata de simular los procesos de razonamiento humano para resolver problemas computacionales, utiliza los trabajos de las ciencias cognoscitivas, filosofía, lingüística y psicología, para entender el razonamiento humano.

El sistema experto que se va a desarrollar tiene como función principal, el obtener el diagnóstico de influenza A (H1N1) en Guatemala basado en el cálculo de probabilidades, diseñado con el fin de dar soporte a médicos en esta

área, así como a estudiantes de ambos campos, informática y medicina, por lo que estará diseñado de tal forma que pudiese ser utilizado de modelo para otros sistemas expertos en otras áreas específicas, tanto de medicina como de informática.

Se respalda y se basa la investigación con la teoría de la Decisión del Comportamiento para verificar la factibilidad de la implementación de un sistema experto aplicado a medicina para el diagnóstico de influenza A (H1N1) basado en el cálculo de probabilidades.

El objetivo principal es lograr un diagnóstico verídico sobre la influenza A (H1N1) basado en el cálculo de probabilidades mediante un sistema experto, y de esta forma poder sustituir a los métodos ordinarios, teniendo una mejor precisión y confiabilidad en el resultado.

La metodología que se utilizará en la realización de la investigación será la teoría de la Decisión del Comportamiento.

La teoría de la Decisión del Comportamiento, es una teoría descriptiva de la toma de decisiones, intenta comprender e incorporar patrones de toma de decisión real de los seres humanos, se basa en el cálculo de probabilidades y tendencias para describir la toma de decisión. Estas tendencias, una vez entendidas, se pueden abordar mediante el diseño e intervención con sistemas apropiados de apoyo a las decisiones.

OBJETIVOS

General

Realizar un diagnóstico de influenza A (H1N1) basado en el cálculo de probabilidades mediante un sistema experto aplicado a medicina para tener una mejor precisión y confiabilidad en el resultado.

Específicos

1. Tomar decisiones para el diagnóstico con base en los conocimientos de expertos sobre la influenza A (H1N1), considerando al sistema experto como el encargado.
2. Sustituir a los métodos ordinarios de diagnóstico de influenza A (H1N1) teniendo una mejor precisión y confiabilidad en el resultado.
3. Dar soporte a médicos en el área de la enfermedad influenza A (H1N1), así como a estudiantes de ambos campos, informático y medicina.

INTRODUCCIÓN

Con la rápida evolución de la tecnología, se han realizado avances notables para lograr mejorar la calidad de la salud de los seres humanos. Como era de esperar, en la salud también se han desarrollado sistemas expertos.

Existen sistemas expertos que permiten detectar infecciones a partir de exámenes de sangre, cultivos de bacterias; otros permiten hacer el diagnóstico médico y formulación de medicamentos, a partir de los síntomas que reporta el paciente. Lo anterior es por mencionar algunos de los sistemas expertos desarrollados en el campo de la medicina.

Día a día, la tecnología cambia y con ella la forma en que las diferentes actividades son llevadas a cabo, de una manera menos eficiente a una más eficiente; dejando las tareas tediosas y repetitivas en manos de dispositivos que no descansan, no se enferman y por lo tanto no cometen errores. Esto permite al ser humano emplear su tiempo en trabajos más creativos, que requieren de su ingenio, su habilidad y su imaginación, atributos que serán imposibles de simular por una máquina.

Se empezaron a sustituir los trabajos repetitivos por medio de la utilización de robots en las fábricas en serie. Más tarde el uso del computador para hacer cálculos repetitivos alivió en gran medida el trabajo en las empresas, dejando más tiempo libre para efectuar tareas que requerían de un mayor conocimiento y habilidades personales. Ahora pueden incluirse dentro de la automatización todas aquellas tareas que de alguna manera tienen un patrón de actividad repetitivo, como lo es el razonamiento acerca del porqué de una falla, el

diagnóstico de una enfermedad o el análisis de un estado financiero, actividades que antes solo unos pocos podían realizar, a expensas de tiempo de aprendizaje, probabilidad de error e imposibilidad de compartir información. Con la utilización de los sistemas expertos, puede dejarse que las personas altamente calificadas efectúen otras tareas que son de más importancia, como la toma de decisiones, investigación en áreas nuevas, planeación estratégica y control.

En los países desarrollados el tema de sistemas expertos ha dejado de ser un área de investigación para convertirse en un área de aplicación de problemas cotidianos. Existen en el mercado un número bastante alto de programas relacionados con este tema, y a medida que pase el tiempo esto será más evidente. En Guatemala, aún es un área de investigación que se está desarrollando y cada día cobra más auge. Sin duda alguna existe un gran número de aplicaciones que pudieran llevarse a cabo dentro de la industria, comercio y enseñanza, pero debido a la falta de conocimiento y de confiabilidad en dichos sistemas, la implementación de un sistema experto de uso formal tendrá que esperar un tiempo para ser una realidad a nivel general, aunque algunos intentos han sido llevados a cabo con buenos resultados.

El presente trabajo tiene como finalidad presentar los fundamentos de sistemas expertos, sus orígenes y su implementación por medio de un caso práctico, en el cual se muestra que las técnicas desarrolladas son aplicables en la vida cotidiana y que el desarrollo de sistemas expertos en Guatemala puede ser una realidad.

1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REPRESENTACIÓN DE PROBLEMAS Y TÉCNICAS DE RESOLUCIÓN

1.1. Inteligencia artificial e Inteligencia Natural

Inteligencia artificial es la rama de la computación que trata de simular los procesos de razonamiento humano para resolver problemas computacionales.

La inteligencia artificial utiliza los trabajos de las ciencias cognitivas, filosofía, lingüística y psicología, para entender el razonamiento humano.

La inteligencia artificial aplicada trata de crear hardware y software que sea capaz de realizar actividades para las cuales el ser humano es mejor. De acuerdo con esta definición los objetivos finales son:

- Hacer que las máquinas sean más inteligentes
- Entender que es la inteligencia
- Hacer que las máquinas sean más útiles que ahora

Estas tres finalidades tienen varias implicaciones, una de ellas es entender cómo trabaja la inteligencia humana, para poder simularla. Algunas características de dicha inteligencia son las siguientes:

- Acumulación de experiencia
- Habilidad para responder a situaciones nuevas
- Adquisición y aplicación de conocimiento
- Pensar y razonar

- Entender mensajes que son ambiguos y/o contradictorios
- Reconocer la importancia relativa de cada uno de los elementos que componen una situación dada.

Estas características pueden ser resumidas en cuatro conceptos básicos que son necesarios para la toma de decisiones y solución de problemas. Estos conceptos son procesamiento simbólico, heurística, inferencia, y reconocimiento de patrones.

1.1.1. Procesamiento Simbólico

Para poder resolver un problema, el ser humano lo representa por medio de un símbolo al cual se le aplica una serie de reglas y estrategias para resolverlo. Para la inteligencia artificial un símbolo es una cadena de caracteres que representa un concepto del mundo real. Los símbolos pueden estar interconectados por medio de relaciones. Estas redes son llamadas estructuras simbólicas.

El procesamiento en inteligencia artificial se hace por medio de dos conceptos, el manejo de símbolos y el procesamiento no algorítmico.

El manejo de símbolos es parte de la inteligencia humana, pero esto no implica que no se puedan manejar números, los cuales son elementos atómicos que pueden ser incorporados dentro de símbolos para ser procesados.

La inteligencia humana no siempre trabaja algorítmicamente, ya que no sigue una secuencia paso a paso para resolver los problemas. Esto no quiere decir que la inteligencia artificial no pueda ser implementada usando la lógica y

los procedimientos convencionales, sino que los procesos para resolver los problemas no son algorítmicos.

1.1.2. Inferencia

Inferencia es otra de las capacidades de la inteligencia artificial. Es la habilidad de poder discernir de premisas básicas y reglas un resultado final. Para esto se utilizan técnicas de búsqueda que serán desarrolladas en capítulos posteriores.

1.1.3. Heurística

La mayoría de expertos utilizan reglas empíricas o heurísticas para resolver sus problemas. Estas reglas son obtenidas de la experiencia y utilizadas cuando un caso especial asociado se presenta.

1.1.4. Reconocimiento de patrones

Este concepto es utilizado en inteligencia artificial para reconocer objetos en base a sus características y relaciones. Esta es la forma como trabaja la inteligencia humana ya que es por medio de asociación que reconoce los diferentes objetos del mundo real.

1.1.5. Proceso de solución de problemas

Solucionar problemas es una de las características de los seres humanos. Pero debe quedar claro que un problema no necesariamente implica resolver un conflicto, también puede ser analizar una nueva oportunidad o tomar una decisión entre varias alternativas.

El proceso de solución de problemas en los seres humanos está bien definido, aunque puede variar de acuerdo con la aplicación y al punto de vista desde el cual se esté estudiando. Pero en general incluye los siguientes pasos:

- Identificación de problemas y oportunidades.
- Definición del dominio y las condiciones que lo rodean.
- Generación de las posibles alternativas de solución o selección.
- Búsqueda de la solución que más se adecúe al problema en cuestión.
- Elección y recomendación, que es el paso final de la búsqueda.
- Implementación de la solución. Si se resuelve el problema entonces el proceso de solución termina.

Aunque este proceso es lineal, cada uno de los pasos puede ser utilizado por otros, además, pueden existir ciclos de retroalimentación que proveen de datos a cada una de las etapas del proceso de solución.

1.2. Ramas de la inteligencia artificial

Son varias las áreas en las cuales se ha tratado de introducir la inteligencia artificial. Estas áreas se complementan entre sí como se verá más adelante y se pueden clasificar de acuerdo con las aplicaciones comerciales que han aparecido en el mercado. Aunque debe tomarse en cuenta que inteligencia artificial no es un producto comercial, sino una serie de técnicas y conceptos que pueden ser aplicados en diversos campos. La clasificación es la siguiente: sistemas expertos, lenguaje natural, entendimiento del habla, visión y reconocimiento de imágenes, robótica y sistemas sensores.

1.2.1. Sistemas expertos

De todas las aplicaciones existentes, los sistemas expertos son los que más éxito han tenido. Un sistema experto trata de tomar el conocimiento de una persona calificada y trasladarlo a la máquina para que esta simule el proceso de raciocinio y obtener un resultado tan bueno como si lo hubiera hecho la persona.

Esta área es muy importante ya que el conocimiento del experto es bastante caro y difícil de duplicar en términos de tiempo y espacio. Para que una persona llegue a ser experta tiene que pasar cierto tiempo, durante el cual adquiere el conocimiento necesario para resolver problemas. Debido a que la persona es considerada un experto, esta no puede atender varios problemas a la vez. Es aquí donde los sistemas expertos vienen a aliviar este problema, ya que el sistema puede ser duplicado en varias partes, no importando la distancia, además de estar disponible en cualquier momento. Otra ventaja es que los principiantes pueden aprender del sistema.

El problema principal de los sistemas expertos es la representación del conocimiento, y las reglas necesarias para resolver determinado problema, estas reglas incluyen la heurística que es utilizada en las técnicas de búsqueda para hacerla más rápida y eficiente.

1.2.2. Lenguaje natural

El entendimiento del lenguaje natural se divide en dos ramas que son el entendimiento de cada uno de los átomos de una oración y el entendimiento del significado de la misma. Se debe entender que aunque el sistema no conozca el significado exacto de uno de los átomos, si puede determinar el significado

de la oración, como lo haría cualquier ser humano. Los estudios en esta rama están en fase de experimentación aún, pero algunos de estos estudios han dado luces acerca de cómo manejar este tipo de información. Una de las soluciones planteadas por la Computers and The Cybernetic Society ha sido la definición de contextos para micromundos. Ya que no se puede tener almacenado todos los contextos de un lenguaje, se define un dominio bastante pequeño, micromundo, sobre el cual se almacena toda la información relacionada para entender el contexto sobre el cual se está hablando.

Este campo de la inteligencia artificial está dividido en dos subcategorías que son:

- Entendimiento del lenguaje natural, que representa el entendimiento del lenguaje utilizado por las personas.
- Generación del lenguaje natural, que estudia los medios para producir un lenguaje que sea entendido de una manera natural por las personas.

1.2.3. Entendimiento del habla

El entendimiento del habla se puede utilizar en computadoras que puedan recibir comandos directamente del usuario, solamente siguiendo la oración que este diga. Esto implica el reconocimiento de palabras, equivalente a lo que representa en el ser humano el sentido del oído.

Al reconocer el significado de una oración, no necesariamente se tiene que conocer el significado de todas las palabras, como ya se mencionó en la sección anterior.

Esta área de la inteligencia artificial, está empezando a tener entrada en el mercado comercial. Ya existen productos en el mercado que pueden responder a ciertos comandos emitidos por la voz humana.

Una combinación de esta área y del procesamiento natural es necesaria para que el computador pueda tener una conversación normal con un ser humano, aunque hoy en día esto está todavía en fase de experimentación.

1.2.4. Visión y reconocimiento de imágenes

El reconocimiento de imágenes ha sido definido como la adición de ciertos elementos a la computadora para poder digitalizar las imágenes y con base en esta información llevar a cabo tareas de control y análisis. El objetivo primordial de esta rama de la inteligencia artificial es interpretar las imágenes. El grado de precisión con que se debe generar la aplicación dependerá de la que se utilice. Un robot requerirá mayor aproximación que un analizador de imágenes en el espacio, por ejemplo.

Al implementar la visión en una máquina se debe digitalizar la imagen, para luego ser interpretada y analizada de acuerdo con la aplicación que la esté utilizando. Al digitalizar la imagen se deben tomar en cuenta los diferentes aspectos que esto conlleva, así como los objetivos de la aplicación. Luego que se han definido las características con las que se deben cumplir, se continúa con la identificación del objeto u objetos. Para hacer esto se utiliza el método de reconocimiento de patrones, que es lo que usa el cerebro humano. Una persona ve un objeto, lo compara contra los conceptos que él tiene almacenados en la memoria y encuentra qué objeto es, dentro de su contexto. El mismo procedimiento sería utilizado en la máquina, comparándose en la base de conocimiento. Si encuentra alguno que cumpla con la mayoría de las

características, lo asocia y da el resultado final. Si no, lo agrega a la base de conocimiento. Todo ello implica digitalización de señales de luz, métodos de búsqueda, y una amplia base de conocimiento con heurística para reconocimiento de patrones.

1.2.5. Robótica

De acuerdo al Instituto Americano de Robótica, un robot es “un manipulador preprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o artefactos especializados por medio de movimientos de programación variable para efectuar varios trabajos”.

En el presente, la mayoría de robots que son utilizados están constituidos por un brazo que ejecuta tareas repetitivas. Estos robots no están considerados dentro del estudio de la inteligencia artificial. Pero la generación que sigue utilizará esta para poder obtener mejores resultados y aumentar su productividad.

La diferencia principal entre un robot inteligente y un robot mecánico, es que el primero puede cambiar su programación automáticamente en base a los mensajes recibidos del exterior, es decir el robot puede interactuar con su medio ambiente mientras que el otro solo efectúa acciones repetitivas.

Para que un robot pueda desenvolverse en el medio ambiente, este debe poseer los sensores básicos que reconozcan las señales del exterior, estos son visión, tacto y reconocimiento de mensajes del exterior. Como se ve, es aquí donde se encuentran la gran mayoría de las aplicaciones de inteligencia artificial descritas anteriormente. Es de acuerdo con estas características que el

robot será más eficiente y podrá desenvolverse mejor en el medio ambiente para el cual fue creado.

1.3. Ventajas y desventajas de inteligencia artificial

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de la inteligencia artificial.

1.3.1. Ventajas de inteligencia artificial

Las interfases especiales de lenguaje natural permitirán a cualquier usuario tener acceso a la información contenido en las computadoras, sin necesidad de un entrenamiento extensivo o especial.

Hasta ahora la mayoría de los problemas resueltos por la computadora han sido de carácter numérico o algorítmico, pero existe una gran cantidad de problemas que no son de este tipo. La información es incompleta, los procedimientos no tienen una lógica definida, hay ambigüedad en los datos, es aquí donde el desarrollo de la inteligencia artificial juega un papel importante, ya que una nueva clase de problemas pueden ser resueltos con la ayuda del computador y la experiencia personal, aumentando la productividad en general.

El área en la que se cree se verá la mayor utilización de la inteligencia artificial será en el manejo de la información. En la actualidad se ve un fenómeno creciente en las empresas y es la acumulación desmedida de información. Debido al mismo uso de computar, se han creado medios para almacenar y producir datos en gran cantidad, esto lleva al problema de acceder la información, catalogarla y organizarla de una manera adecuada. Aquí es donde entran las interfases inteligentes, lenguaje natural, herramientas de

análisis y lo más importante, herramientas que conviertan los datos de simple información a conocimiento que puede ser aplicado en la resolución de problemas y toma de decisiones.

1.3.2. Desventajas de inteligencia artificial

Una de las desventajas que tiene la inteligencia artificial es que utiliza una gran cantidad de recursos debido a lo extenso de la información, por lo tanto necesita procesadores potentes y almacenamiento masivo. Pero esta desventaja está disminuyendo a medida que la tecnología avanza y los precios de las computadoras caen.

Otra desventaja es que el desarrollo de aplicaciones en inteligencia artificial es costoso en términos de tiempo y dinero debido a la complejidad del *software* y de los problemas a resolver.

La dificultad que presenta el desarrollo de *software* para inteligencia artificial requiere de personas con mayores habilidades que las que normalmente se necesitan en aplicaciones convencionales. Esto reduce la cantidad de personas disponibles para el desarrollo de inteligencia artificial. Pero esta desventaja se irá reduciendo ya que ésta es una tecnología en donde cada vez más personas se involucran y se especializan.

1.4. Procesos de solución

Cuando se inicia un proceso de análisis de un proyecto, la mayor parte del tiempo se emplea en representar, de alguna forma, el problema a resolver. Especialmente, si se habla de un sistema experto, debe establecerse cómo se

representará el problema en el computador y cuáles serán las técnicas de solución a utilizarse.

El ser humano, utiliza un proceso de razonamiento para resolver problemas y luego tomar decisiones. Este proceso es el que se trata de simular al implementar un sistema experto.

No todos los expertos en determinado campo resuelven los problemas de la misma manera y por esta razón el proceso involucrado en esta actividad es visto de diferente forma dependiendo del campo en que se esté trabajando.

Se ha tratado de desarrollar modelos que puedan automatizar esta tarea. Un ejemplo de estos es el presentado por Bell que trata de describir varios procesos para resolver problemas y tomar decisiones que van desde las cuantitativas hasta las intuitivas. Básicamente se tienen seis pasos en este proceso los cuales son: identificación y definición del problema, identificación de los factores que intervienen, generación de alternativas, búsqueda de soluciones y evaluación, elección y recomendación, e implementación.

Aunque este modelo parece secuencial, muchas veces estas actividades pueden darse en paralelo o cíclicamente. A continuación se tiene una breve descripción de cada una de estas etapas:

Etapa 1. Definición e identificación del problema: para poder desarrollar un sistema, primero se debe identificar o reconocer cuál es el proceso a automatizar o el problema a resolver, se debe de reconocer su importancia y su magnitud.

Etapa 2. Identificación de los factores involucrados: la solución a los problemas depende de los factores que se usen para analizar las diferentes alternativas disponibles. En esta etapa se determina cuáles son estos factores, así como el orden de importancia para cada uno de ellos.

Etapa 3. Generación de alternativas: luego de identificar el problema y los factores involucrados se debe examinar al menos dos líneas de acción a tomar para llegar a una solución eficiente. Para esto se necesita mucha creatividad e ingenio.

Etapa 4. Búsqueda de soluciones y evaluación: esta etapa involucra el examinar las soluciones candidatas tomando en cuenta todos los factores que se mencionaron anteriormente. Luego se busca la mejor o la más adecuada. En esta etapa se pueden usar diferentes metodologías de búsqueda y evaluación.

Etapa 5. Elección y recomendación: el resultado de una búsqueda es seleccionar una solución para recomendarla como una salida para el problema planteado.

Etapa 6. Implementación: luego de resuelto el problema, teóricamente, se debe de poner en marcha la implementación de la metodología seleccionada en los pasos anteriores.

Este es el proceso que se necesita para la resolución de un problema, aunque realmente cada una de las etapas puede ser subdividida.

Las tecnologías de inteligencia artificial, sistemas expertos en este caso particular, pueden, y son utilizadas en las etapas cuatro y cinco, ya que un

sistema experto utiliza metodologías de búsqueda dadas diferentes alternativas para solucionar un problema establecido.

Aunque la utilización de tecnologías de inteligencia artificial no se limita a resolver problemas, es muy útil en estas aplicaciones. Por supuesto, se pueden utilizar sistemas expertos para proveer información, imitar seres humanos o interpretar información.

Generalizando un poco este proceso, el modelo de Newell-Simon da una descripción del esquema que sigue una persona para la resolución de problemas. Este modelo fue desarrollado por Allen Newell y Herbert A. Simon y pretendía comparar el razonamiento humano con el proceso que sigue un computador para procesar información.

Según este modelo, el sistema de procesamiento de información de una persona está formado por varios subsistemas: un subsistema perceptivo, de proceso y motor.

Subsistema perceptivo: los estímulos externos son para el humano las entradas para el sistema de procesamiento de información. Estos estímulos son percibidos por diferentes sensores como los ojos y los oídos. Estos sensores guardan información por muy poco tiempo mientras es transmitida al subsistema de proceso.

Subsistema de proceso: los sentidos humanos siempre están acumulando mucha información, pues los estímulos externos son muchos para una persona. Cuando se necesita tomar alguna decisión el subsistema de proceso selecciona la información que es relevante y la procesa de la misma manera que lo hace

un computador, luego de procesada se envían las órdenes necesarias para que sean ejecutadas o se dé el resultado del proceso.

Subsistema motor: luego de procesada la información este subsistema inicia la acción de músculos y otros sistemas humanos internos, lo cual, en respuesta, resulta en alguna actividad como el habla.

1.5. Procesos de solución en inteligencia artificial

La aplicación principal de la inteligencia artificial y sus diferentes campos ha sido el proceso de solución a problemas utilizando varias metodologías de búsqueda y evaluación. Al igual que en el campo de la medicina, se ha tratado de simular por medio de sistemas expertos, diferentes procesos humanos para buscar soluciones.

Existen varias estrategias de búsqueda generales y algunas de ellas son utilizadas en sistemas expertos. Antes se deben conocer las diferentes estrategias de búsqueda que existen para poder establecer cuáles de ellas son útiles de acuerdo con los requerimientos presentados.

1.5.1. Estrategias de búsqueda

Como se mencionó, existen varias formas de realizar una búsqueda. Algunas de ellas son informales, como la intuición o actuación por impulsos. Otras son más formales, como las categorías de optimización, búsqueda a ciegas, y uso de la heurística.

1.5.1.1. Optimización

La optimización incluye básicamente métodos numéricos y cuantitativos, y trata de encontrar la mejor solución posible utilizando fórmulas matemáticas que modelan situaciones específicas. El dominio debe estar bien estructurado de modo que la optimización sea guiada paso a paso o por un algoritmo.

Este tipo de estrategia es utilizada comúnmente en aplicaciones que no son de inteligencia artificial, como aplicaciones matemáticas o de investigación de operaciones, que tienen un algoritmo definido para su solución.

1.5.1.2. Búsqueda heurística

Una búsqueda usando heurística es guiada principalmente por información, en muchas aplicaciones es posible encontrar datos que dirijan la búsqueda. Esta información es llamada heurística y los procesos que la utilizan, métodos de búsqueda heurísticos.

Según el Webster's New World Dictionary heurística se refiere a "ayudar a descubrir o a aprender". Una búsqueda de este tipo disminuye enormemente la cantidad de cálculos que deben realizarse en la misma. En otras palabras se refiere a ciertas reglas o cierta información que se tiene del problema que eliminan algunos caminos posibles.

Una búsqueda en inteligencia artificial puede ser dirigida por una meta, dirigida por datos o una combinación de ambos.

Búsqueda dirigida por información, conocida comúnmente en el ámbito de sistemas como *data-directed (forward) search*, da comienzo con cierta

información o hechos que se tienen y trata de sacar conclusiones de acuerdo con la situación. Por ejemplo, si en un paciente el diagnóstico de la influenza A (H1N1) es positivo, la búsqueda trata de averiguar por qué.

Búsqueda dirigida por una meta, conocida también con su nombre en inglés *goal-directed (backward) search*, da inicio con la que se espera sea la meta o lo que se espera que pase, y busca evidencias que soporten o contradigan lo que se esperaba. Por ejemplo, se espera que la fiebre baje por cierta medicina que se esté tomando, luego se busca si esto es verdadero o falso.

1.5.1.3. Búsqueda a ciegas

En una búsqueda a ciegas, al igual que en la heurística, se involucra ya sea análisis numérico o análisis cualitativo, que también se denomina análisis simbólico. En este caso la búsqueda es conducida por la descripción de la solución deseada. Se tiene un espacio de soluciones y la búsqueda es llevada a cabo en este espacio.

Las técnicas asociadas a una búsqueda a ciegas exploran las alternativas y los eventos de una situación, uno a la vez. Existen dos formas de efectuar este proceso; una es exhaustivamente, donde todas las alternativas son exploradas, y una parcial, donde se ejecuta la búsqueda hasta que se encuentre una buena solución. En este tipo de búsqueda el camino a seguir es arbitrario pues no existe inteligencia asociada para dirigirla. La principal desventaja es que, si el espacio de soluciones posibles es muy grande, una búsqueda de este tipo podría tomar mucho tiempo, aunque se utilizara tecnología avanzada.

1.6. Métodos de búsqueda

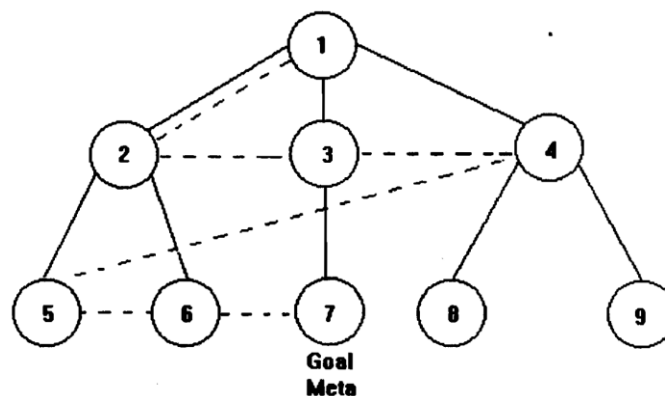
Como se mencionó existen varios métodos de búsqueda que pueden utilizarse al desarrollar un sistema experto. Se escribió acerca de la búsqueda a ciegas o *blind-search*, la cual se puede realizar en forma exhaustiva o parcial.

Relativo a las búsquedas parciales, frecuentemente se hace referencia a las búsquedas *breadth-first* y *depth-first*.

1.6.1. Breadth First Search

Una búsqueda de este tipo examina primero todos los nodos del árbol (o estados) que estén en el mismo nivel y luego continúa con el siguiente nivel hasta que encuentra una solución o llega a un *dead-end*, que ocurre cuando no encuentra solución alguna.

Figura 1. **Breadh First Search**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

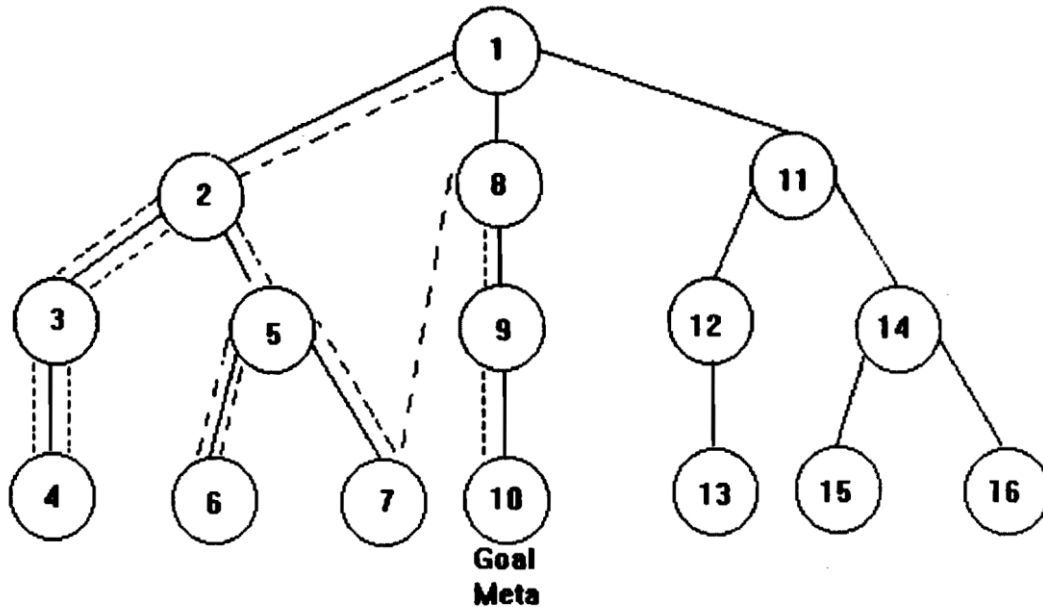
1.6.2. *Depth First Search*

Esta búsqueda inicia en el estado inicial y continúa hacia abajo a los siguientes niveles. Este método busca el nodo más profundo y si no se encuentra una meta o *goal* entonces regresa al nivel anterior y ejecuta la misma acción.

Otro método mencionado entre los métodos de búsqueda fue la búsqueda heurística, la cual reduce la cantidad de búsquedas por una solución. Cuando se presenta la información por medio de un árbol este método trata de reducir el tamaño del árbol por medio de depurar información que no es relevante para llegar a la mejor solución. Se establecen ciertas reglas para llegar a una solución y de acuerdo con estas reglas se eliminan los datos que no cumplan con las mismas.

Cuando se está desarrollando un sistema experto se debe de elegir una de las metodologías mencionadas anteriormente para trabajar con la información e inferir de ella. Luego que se ha seleccionado el método de búsqueda, se procede a elegir la estrategia de control.

Figura 2. **Depth First Search**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

1.7. **Representación de problemas en inteligencia artificial**

Para entender cómo funcionan las estrategias anteriormente descritas es necesario primero ilustrar cómo los problemas son representados en inteligencia artificial.

La forma en que se representa el problema en inteligencia artificial juega un papel muy importante al elegir el método de búsqueda que se va a utilizar y es por eso que estas dos etapas de desarrollo de un sistema experto están muy relacionadas.

1.7.1. Representación por estados

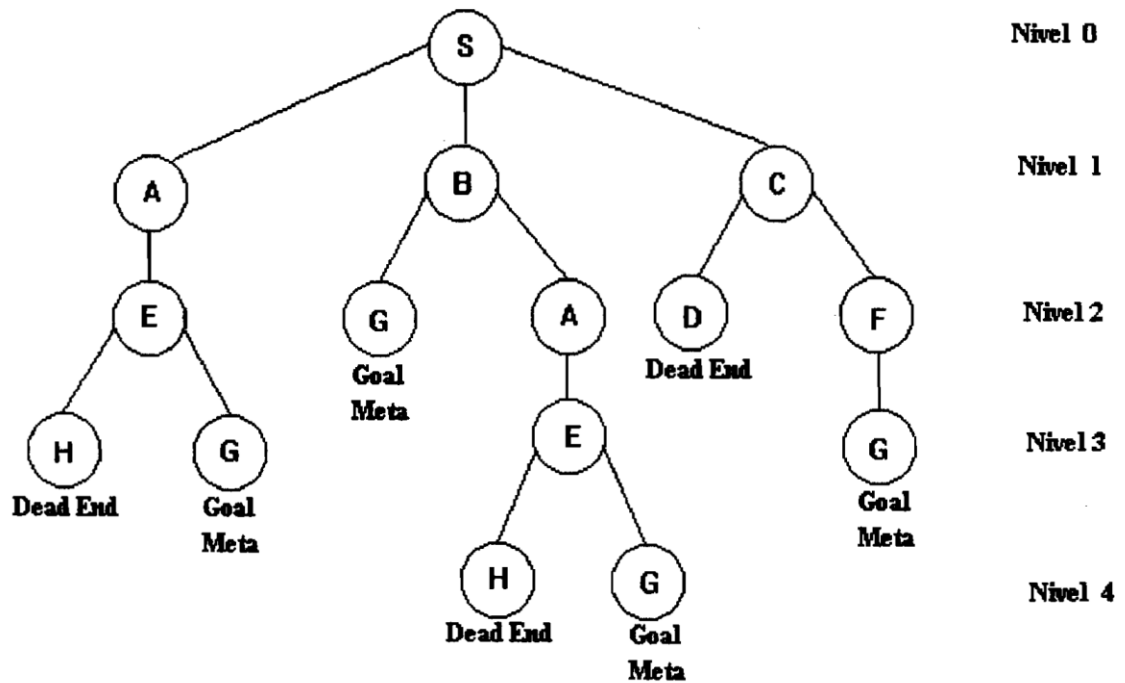
El proceso general de resolver cualquier problema utilizando las técnicas de sistemas expertos involucra tres elementos: los estados del problema, la meta y los operadores.

Los estados del problema definen la situación y las condiciones existentes. Se pueden visualizar como fotografías de las condiciones variantes de un ambiente o como las soluciones potenciales al problema. Las metas son las alternativas potenciales de solución. Los operadores son los procedimientos utilizados para cambiar de un estado a otro.

Es muy útil representar un problema y sus estados por medio gráfico, pues permite visualizar de mejor manera el espacio en que se está trabajando. El método más usado, y que se emplea en el desarrollo del sistema experto aplicado a medicina, es la representación por medio de un árbol. Esto facilita la elección de la búsqueda a utilizar para trabajar más eficientemente y obtener mejores resultados.

En la figura 3 se muestra la representación gráfica de problemas por medio de un árbol.

Figura 3. Representación por medio de un árbol



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

1.8. Estrategias de control

Después de establecer el tipo de búsqueda que se va a utilizar se tiene que activar de alguna manera, es decir, es necesario saber qué operador (o procedimiento) utilizar y cuándo aplicarlo. Existen cuatro estrategias de control básicas las cuales son: *backward chaining*, *forward chaining*, *means-end* y *least commitment*.

1.8.1. *Backward Chaining*

Esta estrategia sirve para controlar búsquedas orientadas por metas, es decir *goal-directed*, inicia con la meta o conclusión y regresa a chequear condiciones anteriores hasta llegar a hechos que verifiquen o rechacen las hipótesis propuestas. Este tipo de estrategia puede ser utilizada en sistemas basados en reglas.

1.8.2. *Forward Chaining*

Este método trata de simular el razonamiento deductivo de los seres humanos. Es un proceso controlado principalmente por la información. La meta es desconocida al inicio de la búsqueda, y se llega a ella de acuerdo con los datos que se obtengan del usuario.

Para trabajar con este tipo de estrategia es necesario obtener toda la información que se pueda para poder llegar al resultado deseado, muchas veces, la meta a la que se puede llegar por medio de cierta información no es única, pues pueden darse diferentes resultados con la misma secuencia de información.

1.8.3. *Means-end Analysis*

Este método es un proceso interactivo que consiste en disminuir la diferencia entre el estado actual y la meta hasta que esta desaparece. Se necesitan varios operadores o procedimientos para lograr reducir la diferencia de la manera más eficiente posible.

Por ejemplo si se quiere llegar a algún lugar, primero se debe saber la distancia entre el lugar donde se encuentra y el lugar a donde se desea llegar; esta viene a ser la diferencia, y luego se busca la forma más eficiente de reducir esta distancia, pudiendo ser en carro, que se convierte en el operador para disminuir la diferencia. Al aplicarlo, el próximo estado donde se encuentre será el lugar a donde se deseaba llegar lo cual hace que la diferencia, distancia en este caso, haya desaparecido.

1.8.4. *Least Commitment*

Con este método se necesita saber primero qué se considera como suficiente información, ya que este asume que no se puede sacar conclusiones hasta que se tenga suficiente información. Además se debe saber qué hacer en caso de que no se encuentre suficiente información, es decir, cómo averiguar si se debe seguir preguntando o parar con los datos que se tienen. Esta estrategia es complicada para implementarse y regularmente se asocia con otra rama de la inteligencia artificial, redes neuronales.

Las estrategias de control son implementadas a través de un programa que se llama “Máquina de Inferencia”. Este programa determina cómo y en qué secuencia la base de conocimiento es accesada para buscar la solución. La base de conocimiento y la máquina de inferencia son los componentes principales de un sistema experto.

2. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS Y SISTEMAS BASADOS EN REGLAS

Una de las partes principales del desarrollo de sistemas expertos, es la representación del conocimiento. Al escoger un método adecuado de representación también se estarán escogiendo los medios adecuados para accederla.

2.1. Adquisición de conocimiento

La adquisición del conocimiento puede verse desde dos puntos de vista, uno reducido y otro extenso. El punto de vista reducido se refiere a la adquisición, representación, validación, inferencia, explicación y mantenimiento del conocimiento. El extenso se refiere a la descripción de todo el proceso de desarrollo y mantenimiento del sistema experto.

Una de las metas de los sistemas expertos es consumir la base de conocimiento de una manera estructurada. Esto facilita la modificación o actualización del mismo, debido a que solamente se debe afectar un módulo, en vez de todo el conocimiento involucrado.

El proceso de adquisición del conocimiento consta de las siguientes partes:

- Adquisición del conocimiento que puede obtenerse de personas expertas, libros, documentos, en si cualquier fuente de información existente. El conocimiento puede referirse a un dominio reducido o bien

puede ser metacocimiento que es el conocimiento que los expertos utilizan para hacer inferencias.

- Representación del conocimiento que es parte integral del éxito de un sistema experto. Esto se debe a que los métodos de búsqueda dentro de la base de conocimiento se harán con respecto a la representación diseñada. Esta representación puede incluir mapas de conocimiento y una codificación correcta del conocimiento.
- Validación del conocimiento es efectuada varias veces, mediante la prueba de casos reales. Esto se hace hasta que el resultado sea satisfactorio.
- Inferencia se refiere especialmente al desarrollo de software adecuado para que utilice el conocimiento obtenido. En base a esta inferencia se obtiene el resultado deseado.
- Explicación y justificación, en todo momento el sistema experto debe dar información de cómo se llegó a una conclusión y por qué.

El conocimiento puede, además, ser dividido en varias categorías. Estas categorías son:

- Conocimiento declarativo: este tipo de conocimiento se refiere a hechos exactos. Especifica cómo son las cosas, las nombra por sus cualidades o relaciones.

- Conocimiento procedural: este conocimiento describe las acciones a ejecutarse ante cierto evento o situación. Es decir, describe procedimientos a ser efectuados.
- Metaconocimiento: este es conocimiento acerca de cómo usar el conocimiento, el cual incluye las reglas necesarias para interpretar la información contenida en la base de conocimiento.

2.1.1. Problemas en la adquisición del conocimiento

La parte más difícil en el desarrollo de un sistema experto es la transferencia de información del experto al ingeniero del conocimiento, esto se debe a las siguientes causas:

- Dificultad en la expresión del conocimiento: al recopilar la información necesaria acerca de determinado tema, el ingeniero del conocimiento debe pedirle al experto que exprese el proceso que él utiliza para la resolución de los problemas. Esto se hace difícil, ya que el experto no siempre recuerda los pasos necesarios para llegar a una conclusión. Además de esto, el experto muchas veces toma algunas decisiones en base a la intuición, a presentimientos, o a experiencias pasadas, esto no es fácil de expresar y dar a conocer.
- Dificultad en el traslado de la información a la máquina: el conocimiento después de ser obtenido, debe ser debidamente codificado para poder ser ingresado en la máquina, lo que implica un trabajo extra, ya que la forma de razonar humana puede ser muy abstracta y/o general, en comparación a la forma de trabajar de una computadora que necesita datos específicos para poder ser interpretados.

- Dificultad en el número de participantes: en el proyecto pueden estar incluidas, varias personas, entre expertos, ingenieros del conocimiento y programadores. Cada uno de los cuales puede tener diferentes niveles de conocimiento. Así, el experto puede no conocer nada de programación y el ingeniero no saber acerca del problema en cuestión. Por lo tanto la comunicación entre ambos puede ser bastante complicada.
- Dificultad en la estructuración del conocimiento: para poder desarrollar un sistema experto, no solamente es necesario codificar el conocimiento, también lo es, codificar su estructura. Un ejemplo de esto son las reglas necesarias para la obtención de resultados.

2.1.2. Proceso de adquisición del conocimiento

Existen cinco etapas que describen este proceso:

- Identificación: en esta etapa, se determina el problema a ser desarrollado, sus características, y si es necesario, se divide en varios subproblemas. Es aquí donde se define el propósito exacto del sistema experto.
- Conceptualización: aquí es donde se define el conocimiento a ser utilizado, asimismo, las relaciones existentes entre los diferentes tipos de conocimiento involucrado. Las reglas que serán utilizadas también son especificadas en este paso.
- Formalización: la formalización se refiere a la adquisición del conocimiento para ser debidamente codificada en la base de

conocimiento. Muchas veces la forma en que es organizada la base, determina la metodología de extracción de información. Aquí también se desarrollan los métodos necesarios, para la obtención de información de la base. Esta etapa puede ser la más complicada debido a que incluye la recopilación de datos.

- Implementación: aquí es donde se desarrolla un prototipo del sistema experto. Todos los elementos de software son definidos en esta etapa, aunque el refinamiento del conocimiento también es incluido.
- Prueba: esta es la etapa final, el sistema experto es puesto a prueba por el ingeniero utilizando varios ejemplos. Los resultados son mostrados al experto para su revisión.

2.1.3. Análisis, codificación, documentación y diagramación

A continuación se realiza una descripción del análisis, codificación, documentación y diagramación.

2.1.3.1. Análisis, codificación y documentación

El conocimiento obtenido debe ser debidamente analizado, codificado y documentado. La técnica utilizada dependerá de la manera en que haya sido obtenida la información. Una metodología deberá basarse en los siguientes pasos:

- Transcripción: toda la información obtenida durante la sesión es escrita en papel. Además de la información dada por el experto, también debe ser incluida cualquier impresión del ingeniero del conocimiento.

- Creación de índices: el documento escrito debe ser dividido en frases. Cada frase corresponderá a un hecho relevante que el experto haya conceptualizado, o una parte del conocimiento que sea debidamente entendible. Las frases deben ser cortas y les será asignado un índice para poder ser identificado.
- Codificación del conocimiento: aquí el conocimiento debe ser clasificado de acuerdo con su categoría. Una división apropiada podría empezar por determinar cuál es conocimiento declarativo, y cuál es el de procedimientos. Cada categoría y subcategoría del conocimiento una vez identificado, es debidamente nombrado con un índice.
- Documentación: el conocimiento debe ser debidamente documentado. Para esto se clasifica de la siguiente manera, documentación acerca del dominio, documentación acerca del conocimiento declarativo, documentación acerca del conocimiento de procedimientos, y el glosario. Esta documentación debe ser debidamente actualizada.

2.1.3.2. Diagramación

Esta técnica es utilizada para mejorar el proceso de adquisición del conocimiento. Consiste en un modelo *top-down* de los principales tipos de conocimiento en el sistema. Estos tipos son objetos, eventos, ejecución y metaconocimiento. Este modelo también describe las relaciones existentes entre los diferentes niveles del conocimiento. A medida que avanza el proceso de adquisición el modelo soporta la inclusión de esta información dentro de su diagrama. Esto ayuda a la planeación y construcción del sistema experto, con lo cual se incrementa la calidad del resultado.

2.2. Representación del conocimiento

Cualquier sistema experto consta de dos partes, la base de conocimiento y la máquina de inferencia. La base de conocimiento contiene información, hechos y relaciones existentes en el dominio que se haya escogido. La base de conocimiento contiene la fuente de información necesaria para ser usada por la máquina de inferencia y resolver problemas.

La máquina de inferencia contiene procedimientos y reglas necesarias para poder utilizar la base de conocimiento. Estas reglas son de tipo genérico, por lo tanto, pueden ser utilizadas para resolver una variedad de problemas que tengan como única condición tener la misma estructura.

Para representar el conocimiento en la base se han desarrollado varias técnicas, las cuales tienen varias cosas en común, una de ellas es que todas se pueden programar en lenguajes existentes, otra es que la información obtenida se puede almacenar para luego ser utilizada.

A continuación se describen algunas de las técnicas más utilizadas.

2.2.1. Representación en lógica

La forma general del proceso lógico puede dividirse en el ingreso de la información, determinación de hechos y obtención de observaciones acerca de estos hechos. Los hechos a ser examinados son llamados premisas. El proceso de obtener conclusiones a través de éstas premisas se llama inferencia. El método para representar este tipo de conocimiento en la computadora es llamado procesamiento simbólico, y corresponde a una serie de reglas y procedimientos para procesar información.

El procesamiento lógico puede dividirse en dos categorías, lógica proposicional y lógica de predicados.

2.2.1.1. Lógica proposicional

Una proposición es un hecho que puede ser verdadero o falso. Una vez que ha sido comprobado que es verdadero, se pueden obtener otras premisas a partir del mismo.

Los diferentes eventos o hechos son representados por medio de letras.

Estos hechos pueden ser combinados con otros por medio de conectores, estos conectores son “*and*”, “*not*”, “*xor*”, “*or*”, “*implica*”, “*equivalente*”. La forma en que se procesan estas premisas es la misma que la del álgebra booleana.

2.2.1.2. Lógica de predicados

Una desventaja con la lógica proposicional es que los hechos no pueden ser divididos en sus componentes, por lo tanto no se puede obtener información a partir de ellos. En la lógica de predicados, las proposiciones pueden dividirse en objetos, características de los objetos y/o alguna afirmación acerca de los mismos. Este tipo de lógica permite variables y funciones dentro de dicha proposición, esto implica que es una herramienta de presentación más poderosa que la lógica proposicional.

La lógica de predicados es la base de PROLOG, que es el lenguaje utilizado en inteligencia artificial.

En el cálculo de predicados, la proposición es dividida en dos partes, los argumentos, y el predicado. Los argumentos son los objetos que están siendo descritos y el predicado es una afirmación de dicho objeto.

2.2.2. Redes semánticas

Una red semántica es un método gráfico jerárquico que representa los diferentes niveles de conocimiento y las relaciones existentes.

Una red semántica consta de nodos y arcos. Un nodo puede ser un objeto, una característica, un hecho, una afirmación o categoría. Los arcos pueden ser de dos tipos, *is-a* (es un), o *has-a* (tiene un). El primero, generalmente nombrado *isa*, representa una relación de pertenencia a una clase mayor. Por ejemplo, el ser humano es un ser vivo. Esto implica que el hombre pertenece a la clase de los seres vivos. El segundo, *has-a*, muestra una característica del objeto examinado.

Una de las ventajas de las redes semánticas es que muestran herencia entre los objetos, por ejemplo, puede decirse José es un hombre, un hombre es un ser vivo, de aquí se infiere que José es un ser vivo porque hereda las características del hombre.

El grado de detalle en este tipo de red depende del problema a ser analizado. Aunque es un método gráfico, no se transporta a la computadora, sino es representado por medio de sentencias para ser usado por medio de cualquier lenguaje. Cuando la red es demasiado complicada es necesario convertirla en reglas y *frames* para su mejor utilización. También puede ser utilizada en combinación con otras técnicas de análisis.

2.2.3. Scripts

Un *script* describe una secuencia de eventos. En general describe una situación estereotipada.

Un *script* consta de varias partes, condiciones iniciales, proposiciones, funciones, *tracks* y escenarios. Las condiciones iniciales describen las características que deben ser cubiertas antes que cualquier evento sea tomado en cuenta dentro del *script*. Las proposiciones, son los eventos a ocurrir dentro de la situación descrita. Las funciones son las personas involucradas dentro de cada uno de los eventos. Los *traces* describen las variaciones que pueden ocurrir, dada una situación, y los escenarios describen la secuencia exacta en que ocurrirá cada evento dentro de la situación descrita.

Ya que este tipo de representación es adecuado en situaciones particulares, su uso puede ser extenso debido a que existen una gran cantidad de ellas. Una vez hechos los scripts cualquier pregunta acerca de la misma puede contestarse con la información obtenida. Asimismo, se pueden hacer conclusiones. La forma en que se puede representar este conocimiento es simbólica, y es trasladada a la computadora en un lenguaje que maneje este tipo de procesamiento, como LISP o cualquier otro lenguaje simbólico.

2.2.4. Listas y árboles

Listas y árboles son representaciones jerárquicas del conocimiento.

2.2.4.1. Listas

Una lista es un conjunto de objetos, o hechos que están interrelacionados por medio de arcos.

El conocimiento representado en las listas, representan un grupo de objetos que han sido categorizados y agrupados. Las relaciones existentes entre cada grupo o jerarquía son mostradas por medio de arcos. La forma más simple es una lista, pero las listas se pueden interrelacionar entre sí.

2.2.4.2. Tablas de decisión

Otro método de representación es por medio de tablas de decisión. Las tablas de decisión se hacen por medio de columnas y filas, en una columna se ponen los atributos a ser estudiados, en las columnas siguientes se ponen todos los posibles valores que pueden ser obtenidos. Después de ello se pone una columna con las conclusiones. A partir de esto se hace una comparación con los atributos. La información que se representa es obtenida de las sesiones de adquisición del conocimiento. Las tablas de decisión son fáciles de programar y entender y pueden ser el punto de entrada de otras herramientas de análisis.

2.2.4.3. Árboles de decisión

Los árboles de decisión están ligados a las tablas de decisión. Estos árboles enlazan la estrategia de búsqueda con las relaciones existentes en el conocimiento. Dichos árboles están compuestos de nodos, que representan las metas, y arcos que representan las decisiones. Un árbol de decisión muestra una relación de causa y efecto. Su mayor ventaja es que simplifica el proceso

de adquisición del conocimiento, ya que el experto está más acostumbrado a este tipo de representación que cualquier otro aquí presentado.

2.2.5. Frames

Un *frame* es una estructura que incluye todo el conocimiento de un objeto. Esta es una rama de programación por objetos orientada a inteligencia artificial.

Un *frame* contiene toda la información necesaria para describir un objeto. Esta técnica se utiliza para describir situaciones que son estereotipadas a semejanza de *scripts*. La información contenida puede ser de tipo declarativo, y puede estar dividida en secciones llamadas *slots*.

Los *frames* son utilizados para analizar objetos nuevos, en base a las características y situaciones descritas en él. En conclusión se podría decir que un *frame* provee los medios para organizar el conocimiento en secciones que describen atributos y características acerca de un objeto.

2.2.5.1. Contenido de un Frame

Un *frame* está formado por dos elementos:

- *Spot*: es un conjunto de atributos que describen el objeto.
- Facetas: que pueden llamarse *subslots*, describen procedimientos o conocimiento acerca de los atributos en el *spot*.

Las facetas pueden tomar varias formas que son:

- Valores: los valores de los atributos que están siendo descritos.
- Default: si el atributo no tiene, o no se le asigna un valor, se le asigna uno por omisión, el que se encuentra descrito en esta faceta.
- Rango: determina el dominio de valores que puede contener el atributo.
- Si es adicionado: esta faceta contiene procedimientos o adiciones que pueden ser hechas al agregarse un elemento al “*slot*”. Este procedimiento es llamado *demon*.
- Si es necesitado: este procedimiento entra en acción cuando ningún valor es dado al *slot*. Entonces un *trigger* es accionado para computar u obtener la información necesaria.
- Otros: los *slots* pueden contener cualquier tipo de información, otros cuadros, características, etcétera.

2.2.5.2. Jerarquía de un *Frame*

Muchos de los sistemas en inteligencia artificial utilizan varios *frames* que guardan relaciones entre sí. Cuando ocurre esto se puede hablar de una jerarquía, por ejemplo, una característica puede estar relacionada con otro *frame*, otra característica de este último con otro, y así sucesivamente. Esto da lugar a que se hereden los atributos de los *frames* anteriores o padres, a los *frames* hijos. Así un *frame* que es hijo, tendrá todas las características del *frame* de donde fue llamado.

Los *frames* padres contienen características más generales que las de los hijos. Debe tomarse en cuenta que un *frame* padre puede ser a su vez hijo de otro, cuando esto no ocurre se dice que es un *master frame* o *root frame*. Cuando se determina un objeto real con sus valores y características se dice que ocurrió una instancia. Es decir, se toma la definición del *frame* y se le asigna los valores correspondientes junto con todas las características heredadas de los predecesores.

La forma de utilización de los *frames* es la siguiente, el *frame* es comparado con la base de conocimiento, el *frame*, cuyo mayor número de características es llenado, es el escogido. Al llenar estas características, se busca llenar las características del siguiente nivel del predecesor, si no se cumple, se elige otro *frame* para ser comparado. Esto es hecho hasta que se encuentra el *frame* que cumpla con las condiciones impuestas por el objeto en estudio.

2.3. Inferencia y justificación

Una vez que la base de conocimiento ha sido creada es necesario crear los medios para accederla y obtener el resultado deseado. La máquina de inferencia es la encargada de ejecutar esta tarea. La máquina de inferencia es un programa que contiene un proceso de razonamiento y en sistemas basados en reglas es llamado el interpretador de reglas.

El objetivo final de la máquina de inferencia, es administrar el conocimiento, descartar información irrelevante, y dar los caminos correctos a través de la base de conocimiento para obtener la solución del problema. En resumen, trata de simular el proceso de razonamiento humano. El razonamiento humano puede ser deductivo e inductivo, de éstos el segundo es el más difícil

de simular. Existen dos estrategias de control que tratan de simular estos procesos de razonamiento y son *forward chaining*, búsqueda hacia delante, y *backward chaining*, búsqueda hacia atrás.

Las formas de razonar se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Razonamiento deductivo: las conclusiones son derivadas de premisas generales.
- Razonamiento inductivo: este toma en cuenta varias premisas para obtener una conclusión general. El problema con esta forma de razonamiento es que no se está cien por ciento seguro de su veracidad, a menos que todas las premisas hayan sido tomadas en cuenta. Además de esto el resultado puede variar si cambia alguna de las premisas sobre la cual se hizo la conclusión.
- Razonamiento analógico: en este tipo de razonamiento las conclusiones son derivadas por analogía. Por ejemplo, se podría preguntar “Cual es la hora de salida de una secretaria”. La secretaria es una trabajadora de oficina por lo tanto se puede inferir que su hora de salida es a las cinco de la tarde. Este tipo de razonamiento es lo más cercano al sentido común en la mente humana y no ha sido explotado en lo referente a inteligencia artificial.
- Razonamiento formal: este razonamiento incluye estructuras simbólicas para representar y reducir el conocimiento a conclusiones, un ejemplo es el método de reducción de ecuaciones en matemáticas.

- Razonamiento de procedimientos numéricos: este tipo de razonamiento utiliza modelos matemáticos para dar respuestas a un sistema dado.
- Razonamiento de meta-nivel: este razonamiento es acerca de lo que se conoce, por ejemplo la importancia de hechos que están contenidos en la base de conocimiento.

El uso y aplicación de cada uno de estos tipos de razonamiento dependerá de la estructura elegida para representar el conocimiento. Aquella que sea más adecuada al modelo presentado será la que se utilice.

2.3.1. Inferencia usando reglas *Forward Chaining*, *Backward Chaining*

Al inferir por reglas, es necesario encontrar la adecuada para ser probada con los datos disponibles. Las reglas son del tipo *IF* condición *THEN* acción. La inferencia puede hacerse por medio de una comparación de los símbolos en la parte *IF* o en la acción de la regla. Esto es llamado *pattern-matching*. Cada regla debe ser probada con la información, ya sea hacia atrás, o hacia delante.

Backward Chaining: este tipo de búsqueda es direccionada por la meta a alcanzar, *goal-driven*, se sabe la conclusión que es la hipótesis, y se busca información que la sustente. El método a seguir es el siguiente, se chequea la parte del *then* de las reglas, cualquier regla que cumpla con la condición es tomada y se chequea si la premisa es verdadera, *if*, si los es, se toma y si no, se toma otra regla, hasta que se encuentre la adecuada.

Forward Chaining: este tipo de razonamiento es direccionado por la información, *data-driven*. En esta búsqueda, lo que importan son las premisas y

a partir de ellas se llega a una conclusión. En base a las premisas dadas, se busca una regla que las satisfaga, *if*, si se encuentra la regla se toma la conclusión que está dada por la misma, *then*.

La ejecución de cualquiera de estos dos procedimientos es hecha por la máquina de inferencia o el interpretador de reglas. Cuál de estos sistemas es el más adecuado, dependerá de la forma del problema que se está trabajando y del espacio asignado a la base de conocimiento.

2.3.2. Árbol de inferencia

El árbol de inferencia provee una vista esquemática del proceso de inferencia. Las premisas y conclusiones representan nodos en el árbol. Cada nodo es interrelacionado por medio de arcos. Además de esto se utilizan nodos “AND” y “OR”, para especificar las relaciones existentes. Con un “AND”, la premisa se cumple si y solo si todas las ramas relacionadas al “AND” se cumplen. Con un nodo “OR”, con que se cumpla una de las ramas basta para que se cumpla. Si se ha llegado a determinar cómo verdadero el número de nodos que la cabeza del árbol requiere, se dice que el árbol de inferencia ha sido aceptado. El modo de recorrer este árbol puede ser utilizando las técnicas antes vistas *backward chaining*, o *forward chaining*.

Los árboles de inferencia proveen los medios necesarios, para contestar las preguntas de por qué la máquina de inferencia está pidiendo cierta información, y cómo la máquina llegó a determinada conclusión. La primera pregunta se responde haciendo un recorrido de los nodos hijos, y así dar un reporte de por qué se necesita la información, ya que sin ella, no se sabe por qué rama del árbol debe continuar. La segunda se responde recorriendo el

árbol hasta llegar a la conclusión en la cual se encuentra y dar una respuesta del camino seguido para arribar a la misma.

2.3.3. Inferencia usando *Frames*

Para inferir por medio de *frames*, la técnica utilizada es llamada *expectation-driven* o dirigida por expectativas. En este tipo de razonamiento, los *slots* vacíos son llenados con la información esperada, la expectativa, si ninguna información ha sido ingresada, se toma del valor por omisión que ha sido asignado.

El proceso de razonamiento usando *frames* se resume a la búsqueda de datos que llenen las expectativas esperadas por cada uno de ellos. En este tipo de razonamiento es menos complicado analizar nuevos objetos, ya que los cuadros proveen información de experiencias previas.

Los métodos para este proceso son los que usan reglas y pueden razonar acerca de las características de un *frame* utilizando los valores contenidos en los *slots*. El otro, es por medio de un razonamiento jerárquico, en el cual ciertos niveles pueden ser eliminados basándose en la información obtenida.

2.3.4. Razonamiento usando modelos

Este tipo de razonamiento se utiliza principalmente en la solución de problemas causados por máquinas. Aquí el conocimiento no se basa en el conocimiento de un experto sino en el funcionamiento de la máquina. Este tiene la ventaja de que el sistema puede fácilmente ser utilizado por varias máquinas y es más confiable. Esto se debe a que en un sistema basado en reglas se

toma en cuenta la experiencia y los aciertos del experto, mientras que en este sistema se toman los manuales de funcionamiento de la máquina.

Actualmente existen dos tipos de modelación, modelos matemáticos, y modelos de componentes. En el primero, el modelo se construye en base a fórmulas que describen el funcionamiento de la máquina, en el segundo, el modelo se hace en base a las funciones de cada uno de los componentes, cómo se interrelaciona cada uno y el efecto que tiene sobre otros.

Existen dos tipos de modelos, que son los modelos que representan situaciones estáticas, es decir, que su comportamiento no varía, y los que representan situaciones dinámicas que incluyen eventos variables.

2.3.5. Razonamiento basado en casos

Este razonamiento intenta utilizar la experiencia de casos anteriores para resolver problemas actuales. El proceso a realizarse es el siguiente, la máquina de inferencia busca en casos anteriores y formula reglas a partir de los mismos, los cuales son utilizados en el problema actual a analizarse. En este proceso se toman en cuenta las diferencias existentes entre el problema actual y los históricos.

La base de este razonamiento es que el ser humano no utiliza el razonamiento en cada caso, sino utiliza experiencias previas que se adecúen al problema sobre el cual está procesando.

2.3.6. Explicación

En la realidad los expertos deben dar una razón por la cual llegaron a determinada conclusión, dar observaciones y puntos de vistas acerca de las mismas. Si un sistema experto ha de simular el razonamiento debe también dar estas facilidades. La parte del sistema experto que provee esto es llamada el módulo de justificación.

La explicación de un sistema experto debe, de alguna manera, ser obtenida del proceso de inferencia. Por lo tanto, es más fácil obtener la información de sistemas basados en reglas que de sistemas que no lo son. Debido a la complejidad que envuelve este proceso los sistemas expertos en la actualidad solamente presentan dos capacidades, responder el porqué de una conclusión y cómo. El “por qué” como ya se dijo, es para determinar por qué se está pidiendo cierta información y el cómo es el presentar la metodología o los caminos seguidos para determinar o llegar a una conclusión.

Los propósitos principales del módulo de justificación son los siguientes:

- Hacer el sistema más inteligible al usuario.
- Describir las limitaciones de las reglas y la base de conocimiento.
- Explicar situaciones que no fueron previstas por el usuario.
- Satisfacer necesidades psicológicas y/o sociales al darle al usuario la seguridad de cómo trabaja el sistema experto.

- Conducir análisis sensitivo, es decir usando el módulo de justificación, el usuario puede predecir y probar los efectos de cambios en el sistema.

2.4. Conceptos generales

Uno de los modelos más usados en la representación de conocimiento y su manipulación, son los sistemas basados en reglas, estos sistemas han sido desarrollados en muchos campos que se fundamentan en reglas específicas, el incremento de estos en el ámbito computacional ha sido de mucha utilidad a nivel comercial, principalmente porque la mayoría de aplicaciones pueden ser reducidas a reglas, lo que facilita la programación de los mismos.

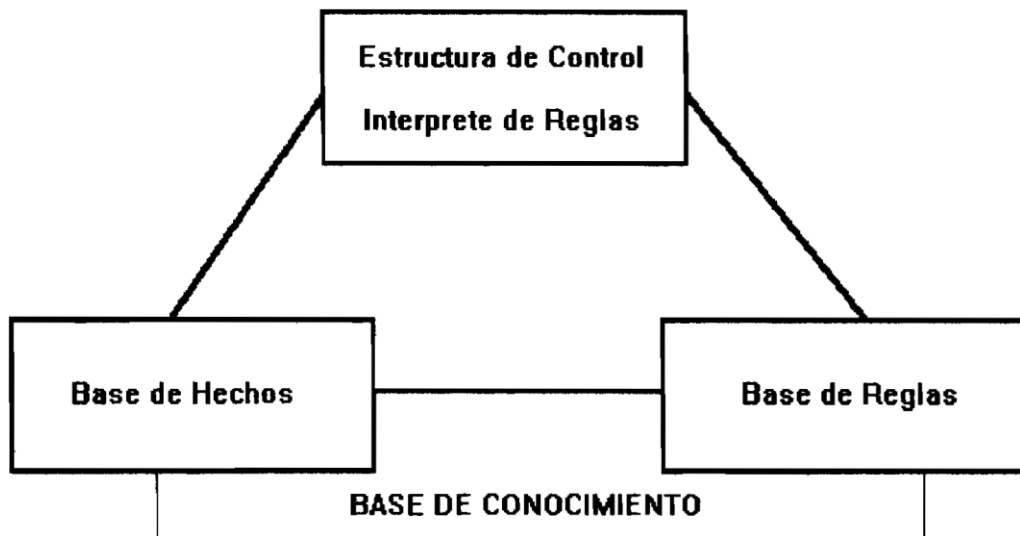
Al desarrollar un sistema experto la etapa de programación se complica un poco al tratar de implementar los conceptos de esta rama de la inteligencia artificial. Una forma de facilitar el desarrollo de sistemas expertos a un programador que no esté muy relacionado con los mismos, es utilizar un sistema basado en reglas.

Un sistema de este tipo consiste principalmente en tres elementos:

- a. Un conjunto de reglas que modifican la base de conocimiento existente y cuya aplicación está condicionada en la misma.
- b. Una base de información.
- c. Un mecanismo de control como un intérprete de reglas, que determina la aplicación de las reglas en el contexto de la base existente, la selección de reglas apropiadas y la solución de conflictos cuando dos o más de ellas se pueden aplicar al mismo tiempo.

De esta manera se puede observar que se cumple con los componentes de un sistema experto, la figura 4 muestra la relación de estos tres componentes.

Figura 4. **Base de conocimiento**



Fuente: elaboración propia.

La producción de reglas requiere la especificación de condiciones y acciones a tomar dadas esas condiciones. En este tipo de sistemas las producciones se forman a partir de datos que se reciben del usuario. En otras palabras, estos sistemas se basan en condiciones que se especifican por medio de reglas del tipo *IF X THEN Y*, de esta forma se deben de establecer las reglas que van a regir la salida del sistema.

Claro está que la implementación de un sistema de este tipo es menos complicada para un programador no familiarizado con lenguajes que se utilizan en inteligencia artificial.

Los sistemas basados en reglas proveen una forma natural de expresar situaciones y acciones a tomar en la resolución de problemas. Ellos fueron creados tanto como para representar conocimiento, como para manipularlo, imitando así el comportamiento humano de una manera mecánica. Entre sus características principales se encuentran el estar basado en reglas representadas por IF-THEN y el aplicarse en dominios pequeños.

Basarse en reglas representadas por sentencias *IF-THEN* permite fácilmente, el agregar reglas. Es decir, debido a la estructura en que se presenta la información, si se tiene una nueva regla que debe tomarse en cuenta en el proceso simulado, no implica gran cantidad de trabajo para el programador, pues se limita a instrucciones simples construidas con sentencias *IF-THEN*, lo cual no es complicado en los lenguajes de programación de tercera generación.

El mismo hecho de que se utilicen reglas específicas para el desarrollo de estos sistemas, no permite que los campos de aplicación sean muy extensos.

Al implementar un sistema basado en reglas, la etapa más complicada es la de diseño, pues se debe de encontrar la forma de representar el conocimiento de la forma pregunta y resultado, es decir, en forma de *IF-THEN*. Todo el conocimiento debe de estar de esta manera para poder desarrollar esta clase de sistemas.

El término de sistema experto, como comúnmente se usa en inteligencia artificial, es usado para indicar un subconjunto de sistemas basados en reglas restringido a un dominio específico.

2.5. Intérprete de reglas

Como se mencionó, un sistema basado en reglas está compuesto por tres partes principales, que coinciden con los elementos de un sistema experto.

La parte principal puede definirse como la que controla o ejecuta las reglas, en otras palabras, la máquina de inferencia en un sistema experto. Las funciones principales de este intérprete de reglas se pueden definir como:

- Encontrar e identificar reglas.
- Seleccionar reglas.
- Ejecutar reglas.
- Chequear las condiciones para establecer si se llegó a la meta buscada.

2.5.1. Encontrar e identificar reglas

Este es el proceso fundamental del intérprete, el de buscar las reglas que se adapten a los datos obtenidos del usuario para darle el resultado que se necesita de acuerdo al conocimiento de la máquina acerca del tópico. Cuando se habla de conocimiento se refiere a las reglas que de alguna manera fueron almacenadas en el computador.

2.5.2. Selección de reglas

Esta es una de las partes críticas en la operación del intérprete, por esa razón es la que se desarrolla más extensamente, esta consiste en tres aspectos importantes:

- La selección de reglas apropiadas o aplicables.

- La selección de reglas que permitan llegar a la meta sin realizar una búsqueda extensiva, así como producir o verificar conclusiones eficientes y confiables.
- Solventar los conflictos de reglas, es decir reglas que produzcan resultados contradictorios.

2.6. Características de un sistema basado en reglas

Las características de los sistemas que emplean producciones en forma de reglas son las siguientes:

- La base de conocimiento se modifica fácilmente (las reglas y los hechos pueden ser agregados o removidos).
- Facilidad en explorar la base de conocimiento contenida en el sistema, en otras palabras la codificación de la información está en una forma fácil de leer.
- Flexibilidad de proceso, el mecanismo de inferencia puede ser elegido para satisfacer los requerimientos.
- El mecanismo de inferencia es fácil de seguir, el orden en que las reglas se siguieron pueden ser guardadas y luego accesadas para dar una explicación del resultado.
- Estandarización en términos de representación de conocimiento y mecanismos de inferencia.

- Habilidad de compactar el software para luego ser implementado.

Por supuesto que el desarrollo de esta clase de sistemas también tiene sus desventajas, entre las cuales se encuentran la dificultad que se tiene de representar el sentido común de una persona por medio de reglas, además como se dijo anteriormente, los dominios que se emplean son muy pequeños lo cual hace difícil implementarlo en cualquier campo.

2.7. Aspectos teóricos de la estructura de un sistema basado en reglas

El intérprete de reglas de un sistema debe tener un mecanismo para resolver problemas, como se mencionó anteriormente se puede hacer una analogía entre este y la máquina de inferencia de un sistema experto, este es un mecanismo determinístico y aplica las reglas en un orden determinado.

Puesto que este intérprete de reglas, o estructura de control es la máquina de inferencia del sistema, utiliza las mismas estrategias, es decir, *forward chaining* y *backward chaining*.

Cuando se habla de sistemas basados en reglas, una clasificación de estas estrategias está basada en la diferenciación entre estrategia irrevocable y tentativa.

Una estrategia de control irrevocable selecciona y aplica reglas sin tomar en consideración algún suceso futuro en la secuencia de inferencia. Por otro lado, la estrategia tentativa, selecciona y aplica reglas pero sí toma en consideración alguna condición futura en el proceso de inferencia, por esta razón es una estrategia que permite regresar a reglas anteriores (*backtracking*).

La forma en que se implemente un intérprete de reglas, ya sea de forma irrevocable o tentativa, el resultado que realmente importa es que se llega a una meta determinada, ya sea una respuesta a un problema o una recomendación, aunque muchas veces el intérprete debe de revisar reglas que pueden ser redundantes o seguir alguna secuencia que no sea la correcta. Por esta razón es recomendable usar toda la información a priori que esté disponible, por ejemplo, propiedades de conmutatividad y distributividad si se aplican, para evitar estos problemas.

2.7.1. Propiedades

Los sistemas basados en reglas, como su nombre lo indica están compuestos principalmente por reglas, la aplicación de estas para resolver problemas puede hacerse de varias formas, aunque muchas veces puede aplicarse reglas redundantes, es decir, reglas que de alguna manera ya fueron revisadas con anterioridad o que resulta absurda su aplicación si ya se aplicaron reglas contradictorias a las mismas, por esto, se debe de tener el criterio para detectar que tipo de sistema se tiene.

Existen varios tipos de sistemas, entre ellos están los sistemas conmutativos y los sistemas divisibles, que son los que se estudiarán en detalle por considerarse los de más utilidad en Guatemala.

Si el orden en que se aplican las reglas no es determinante en el resultado de la búsqueda, se pueden aplicar muchas propiedades útiles que llevan a paradigmas para la selección de reglas y resultados. Esta clase de sistemas son conocidos como sistemas conmutativos.

2.7.1.1. Sistemas conmutativos

Los sistemas conmutativos tienen tres características importantes, para enumerarlas de una forma más general se llamará una regla aplicable en el contexto de una base de datos, es decir, la regla coincide con los datos contenidos en la base de datos, se llamará a esta base D.

Las características son:

- Cualquier regla que es aplicable a D es también aplicable a cualquier base de datos derivada de D por la aplicación sucesiva de reglas aplicables, nótese que esto solo se aplica a reglas que son adaptables a D inicialmente, esto se aclara pues la base puede ir cambiando en el tiempo y generarse nuevas reglas que sean empleadas a bases de datos derivadas de D.
- Si una meta está contenida en D, entonces también está contenida en cualquier base de datos producida aplicando reglas a D, es decir, si puede llegar a una solución aplicando reglas a D debido a que la solución está contenida en D.
- La base de datos generada por la aplicación de reglas sucesivamente a D es invariable a la permutación de la secuencia seguida.

Trabajar con este tipo de sistemas facilita la implementación de la estructura de control, ya que ésta no tiene que considerar la aplicación de todas las permutaciones posibles de las reglas para llegar a una solución y puede evitar todos los caminos que difieran solamente en el orden en el cual se aplican las reglas. Esto puede reducir la búsqueda de una forma significativa.

Además permite usar una estrategia de control del tipo irrevocable, que es más fácil de implementar.

2.7.1.2. Sistemas divisibles

La propiedad de conmutatividad de los sistemas da flexibilidad en la aplicación de reglas a una base de datos, pero existe otra propiedad que permite en mayor grado facilitar el orden de aplicación de las reglas, esta propiedad es llamada de divisibilidad, esta permite desarrollar e implementar una estructura de control más eficiente.

La descomposición de problemas es muy importante, no solo en aplicaciones de inteligencia artificial, pues permite trabajar con problemas más pequeños.

“Una base de datos, D , es divisible si esta puede ser particionada en subconjuntos que pueden ser procesados independientemente (incluso en paralelo)”.

Para que esta propiedad sea útil, es necesario que la meta también sea divisible en componentes que estén contenidos en las bases particionadas. Para unir estas bases de nuevo se necesita una función lógica, la que se utiliza es la función *AND*.

Uniendo estos dos conceptos se tiene que: “Un sistema divisible es aquel en donde tanto la base de datos como las metas pueden ser subdividas”.

La propiedad de divisibilidad es muy importante por dos razones:

- La división, permite que las inferencias sean hechas en paralelo.
- Elimina muchos de los caminos redundantes y búsquedas relacionadas a estos que de otra manera tendrían que ser explorados, debido a que no toda la base de hechos y reglas están involucradas en el proceso.

3. ESTUDIO DE LA INFLUENZA A (H1N1)

La gripe A (H1N1) surgido en 2009, fue una pandemia causada por una variante del influenza virus A (subtipo H1N1). Las denominaciones gripe A y gripe A (H1N1), usadas por numerosos medios de comunicación, pueden dar lugar a confusiones, ya que ha habido otras pandemias de gripe A (H1N1) en épocas pasadas. Por esta razón, este virus fue conocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud como Virus H1N1/09 Pandémico, haciendo referencia al año de su aparición. Esta nueva cepa viral es conocida como gripe porcina (nombre dado inicialmente), gripe Norteamérica (propuesto por la Organización Mundial de la Salud Animal) y nueva gripe (propuesto por Unión Europea), nombres que han sido objeto de diversas controversias. El 30 de abril de 2009 la Organización Mundial de la Salud (OMS) decidió denominarla gripe A (H1N1). Esta es una descripción del virus: la letra A designa la familia de los virus de la gripe humana y de la de algunos animales como cerdos y aves, y las letras H y N (Hemaglutininas y Neuraminidasas) corresponden a las proteínas de la superficie del virus que lo caracterizan.

El origen de la infección es una variante de la cepa H1N1, con material genético proveniente de una cepa aviaria, dos cepas porcinas y una humana que sufrió una mutación y dio un salto entre especies (o heterocontagio) de los cerdos a los humanos, para después permitir el contagio de persona a persona.

El 11 de junio de 2009 la Organización Mundial de la Salud (OMS) la clasificó como de nivel de alerta seis; es decir, "pandemia en curso". Para poder clasificar una enfermedad a dicho nivel, debe verse involucrada la aparición de brotes comunitarios (ocasionados localmente sin la presencia de una persona

infectada proveniente de la región del brote inicial). Sin embargo, ese nivel de alerta no define la gravedad de la enfermedad producida por el virus, sino su extensión geográfica.

El 10 de agosto de 2010 la OMS anunció el fin de la pandemia, 14 meses después y luego de haberle dado la vuelta al mundo. La pandemia tuvo una mortalidad baja, en contraste con su amplia distribución, dejando tras de sí unas 19 000 víctimas.

3.1. Origen y desarrollo

Las autoridades mexicanas atribuyeron la amplia distribución del influenza A (H1N1) a una "gripe de temporada tardía", la cual coincide normalmente con un ligero aumento del influenza virus B, cuando los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de Estados Unidos dieron la voz de alarma a los medios acerca de dos casos aislados de una nueva gripe porcina. Los dos primeros casos confirmados fueron dos niños residentes en los Estados Unidos (una niña de 9 años en el condado de Imperial, California y un niño de 10 años en el condado de San Diego) que enfermaron el 28 y 30 de marzo de 2009 respectivamente, no habiendo tenido ningún contacto con cerdos ni antecedentes de haber viajado a México. La primera muerte debida a la gripe A ocurrió el 11 de abril de 2009 en una niña que fue atendida en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México. Más conocida es otra ocurrida el 13 de abril de 2009, cuando una mujer diabética natural de Oaxaca murió por complicaciones respiratorias. Se enviaron algunas muestras al CDC y a Winnipeg (Canadá) desde México el 21 de abril de 2009, que dieron positivo en gripe porcina y se relacionaron rápidamente con el aumento de la gripe tardía. Algunos casos en México y los Estados Unidos fueron identificados por la Organización Mundial de la Salud como una nueva cepa del H1N1. Los

primeros casos de influenza en México se detectaron el 11 de abril de 2009 en el estado mexicano de Veracruz. Al mes se extendió por varios estados de México, Estados Unidos y Canadá, para exportarse a partir de entonces, con aparición de numerosos casos en otros países de pacientes que habían viajado a México y Estados Unidos. Se constataron unos pocos casos de contagios indirectos, de personas que no han estado en dicha región, que se han dado en España, Alemania, Corea del Sur y Reino Unido. En marzo y abril de 2009, se detectaron más de 1 000 casos sospechosos de gripe porcina en humanos de México y del suroeste de Estados Unidos. También se notificaron casos en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Estado de México, dentro de México central.

3.2. Variedad del virus

Cuando los virus influenza A padecen un cambio antigénico, causan gripe con brotes más graves y extensos y dan epidemias globales o pandemias que han ocurrido en ciclos de diez-quince años desde la aparición de la pandemia de 1918. Las variaciones menores antigénicas en estos virus Influenza A y en los influenza B (y en mucha menor medida los influenza C) llevan a producir las gripes estacionales y que se dan casi todos los años con extensión variable y generalmente menos grave.

La tasa de morbilidad o proporción de personas con enfermedad en la región afectada por influenza A son muy variables, pero de forma general oscilan entre 10 y 20 % de la población general. Las cepas H1N1 que han circulado en los últimos años se considera que han sido menos virulentas intrínsecamente, causando una enfermedad menos grave, incluso en sujetos sin inmunidad al virus, por lo que existen otros factores no precisados para la gravedad, no llegando a producir pandemias, sino únicamente epidemias. La

última pandemia de influenza A (por subtipo H3N2) se dio en 1968-1969 (Gripe de Hong Kong) con unas condiciones sociosanitarias diferentes a las actuales.

Se sabe que el virus causante de la gripe porcina no se transmite consumiendo carne de cerdo infectado, ya que el virus no resiste altas temperaturas como las empleadas para cocinar alimentos.

3.3. Síntomas

Los síntomas de este virus nuevo de la influenza H1N1 en las personas son similares a los síntomas de la influenza o gripe estacional. Incluyen fiebre muy alta (38 y 40°), tos seca recurrente, dolor de garganta, moqueo o secreción nasal, dolores en el cuerpo, dolor de cabeza, escalofríos, fatiga, dolor en los ojos, pérdida del apetito, problemas para respirar como falta de aliento. Una cantidad significativa de personas infectadas por este virus también ha informado tener vómito y diarrea. En este momento no se conocen los grupos de personas que corren un alto riesgo de contraer la nueva influenza A (H1N1), pero es posible que sean los mismos que sufren complicaciones por la influenza estacional.

3.4. Tratamiento

A continuación se realiza una descripción del tratamiento.

3.4.1. Vacuna

Durante gran parte del desarrollo y propagación del brote no se dispuso de una vacuna para esta cepa, hasta el 12 de junio de 2009, cuando el grupo farmacéutico suizo Novartis, con el apoyo económico del gobierno

norteamericano, anunció haber producido el primer lote de vacunas contra el virus. Los ensayos clínicos para la obtención de la licencia de la vacuna se realizaron en julio del 2010, para poder iniciar la producción en masa de la vacuna y su posterior distribución.

En agosto de 2009 investigadores del Centro de Control y Prevención de Enfermedades de China realizaron pruebas en seres humanos con resultados positivos, y que los exámenes muestran que la primera dosis de la vacuna provoca una respuesta inmune en el cuerpo humano, lo que resulta suficiente para proteger contra la cepa del virus A (H1N1), según Yin Weidong, director general de la farmacéutica Sinovac Biotech.

La OMS ratificó que la vacuna es segura y que los procedimientos establecidos para la concesión de licencias a las diferentes compañías farmacéuticas son rigurosos, a pesar del procedimiento de aprobación.

3.4.2. Antivíricos

Respecto al tratamiento con antivíricos, la OMS ha indicado la utilidad de zanamivir (en inhalación) y oseltamivir (tratamiento oral) como tratamiento efectivo, considerándose que el caso resistente a este último "es aislado" y "sin implicaciones para la salud pública". Por otro lado, el virus se ha mostrado como resistente a los inhibidores como la amantadina y rimantadina.

3.5. Prevenciones

Para prevenir esta gripe se han recomendado varias medidas:

- Evitar el contacto directo con las personas enfermas o que tengan fiebre y tos.
- Lavarse las manos con agua tibia y jabón entre 10 y 20 segundos de manera frecuente. Lavarse también entre los dedos, y por último el pulso o la muñeca. Como alternativa, puede usar alcohol en gel o líquido para desinfectar.
- Tratar de no tocarse la boca, nariz y ojos.
- Ventilar los lugares habitados.
- Taparse la boca y la nariz al estornudar o toser con un pañuelo descartable o, si no tuviera, con el pliegue del codo.
- Usar mascarillas o barbijos (recomendable solamente en ambientes públicos o en cercanía a contagiados), recordando que tienen un determinado tiempo de uso.
- Evitar los besos y dar la mano al saludarse. Además, evitar contactos muy cercanos, tales como compartir vasos, cubiertos y otros objetos que hayan podido estar en contacto con saliva o secreciones.

3.6. Fases pandémicas

- Nueva cepa: el virus es una nueva cepa de gripe, para la que las poblaciones humanas no han sido vacunadas o no están inmunizados de forma natural.

- Transmisión entre humanos: el virus se transmite de humano a humano. Las investigaciones realizadas en pacientes infectados indicaron que no tuvieron contacto directo con cerdos, como una granja o ferias agrícolas. En contraposición, la transmisión del brote más severo entre humanos por gripe, la gripe aviar (que alcanzó su cénit en 2006), se producía por contacto directo entre humanos y pájaros.
- Virulencia: por razones todavía desconocidas, todos los fallecidos hasta el 29 de abril de 2009 eran mexicanos, incluido el niño que fue llevado a EE. UU. para su tratamiento. Más aún, es en México principalmente donde las muertes producidas a causa de la enfermedad han sido entre jóvenes y adultos sanos. Otras cepas de influenza reproducen los síntomas más graves entre niños pequeños, ancianos, y aquellos con sistemas inmunes debilitados. Sin embargo, el CDC señaló que los síntomas mostrados por la gripe porcina son muy similares a los provocados por una gripe normal; mientras que algunos medios de información han especulado sobre el virus que podía provocar una tormenta de citosinas en los pacientes. Actualmente no hay evidencias que sustenten esta hipótesis, añadiendo el CDC que hay información insuficiente hasta la fecha sobre complicaciones clínicas sobre esta variante de gripe porcina A (H1N1).
- Carencia de datos: actualmente se desconocen otros factores determinantes (como las tasas, patrones de transmisión, y la eficacia de los tratamientos actuales de la gripe). Combinados con la imprevisibilidad innata de las cepas de la gripe, dificultan la elaboración de previsiones fiables.

Como nota, predecir el tamaño y la severidad de los brotes de gripe es una ciencia inexacta. El gobierno estadounidense se equivocó durante la predicción de 1976, durante la pandemia de gripe porcina que nunca se materializó. Durante una declaración, la OMS dijo: “Como hay casos humanos asociados con un virus de gripe de animal, y debido a la extensión geográfica de múltiples brotes (sumado todo ello a los inusuales grupos de edad afectados), estos acontecimientos son motivo de preocupación”. Aun así, las muertes causadas por el virus de la gripe A (H1N1) son hasta la fecha mucho menores que las de la gripe estacional, que produce entre 250 000 y 500 000 muertes al año. Por este motivo, algunos grupos de médicos y doctores creen que dar el nivel de alerta seis fue una decisión precipitada por parte de la OMS.

3.6.1. Niveles de alerta de la OMS

A continuación se detallan los niveles de alerta de la OMS.

3.6.1.1. Nivel 3

La OMS decidió no elevar el nivel de alerta por pandemia mundial tras su primera reunión, el 25 de abril de 2009. Un nivel de alerta 3 significa que se ha confirmado la presencia de un nuevo virus, pero que no hay evidencia de contagio de humano a humano, o bien este es insuficiente para provocar epidemias a nivel de una comunidad. El nivel 3 lleva activado desde la crisis de la gripe aviar en 2006.

3.6.1.2. Nivel 4

Después del segundo encuentro del Comité de Emergencia el 27 de abril de 2009, se elevó el nivel de alerta por pandemia a la fase 4. La fase 4

("Transmisión sostenida de humano a humano") implica brotes por toda la comunidad.

3.6.1.3. Nivel 5

A finales del día 29 de abril de 2009, la OMS incrementó el nivel de alerta por pandemia a 5 (el penúltimo nivel), indicando que la pandemia era "inminente". Se han registrado casos de transmisión entre humanos en múltiples regiones. En España, fuentes oficiales confirmaron el primer caso europeo de una persona infectada que no había viajado a México, pero cuya pareja sí lo había hecho.

3.6.1.4. Nivel 6

El 11 de junio de 2009, se adoptó la medida de declarar la fase 6 de alerta de pandemia, tras reuniones y consensos con equipos de científicos y los responsables de salud pública en los países afectados. La OMS declaró que la fase 6 reflejaría el hecho de que la enfermedad está propagándose geográficamente de manera exitosa, pero este nivel de alerta no necesariamente indica cuán virulenta es la enfermedad.

3.6.1.5. Período pospandémico

Para el 10 de agosto de 2010, tras poco más de un año de la declaración de la alerta pandémica de fase 6, el Comité de Emergencias de la OMS concluyó que dicha fase de la alerta por pandemia de gripe había concluido y que empezaba el periodo pospandémico confirmando que la trayectoria del virus H1N1 se había agotado aunque no desaparecido y posiblemente perdure durante años.

3.7. Recomendaciones

Una de las medidas tomadas consistió en la elaboración, por parte de la Secretaría de Salud del gobierno mexicano, de la lista siguiente de recomendaciones para evitar la infección:

- Mantenerse alejados de las personas que tengan una infección respiratoria.
- No saludar de beso ni de mano (salvo que se trate de familiares y conocidos cercanos que no presenten los síntomas).
- No tocarse la cara, en particular las zonas donde las mucosas están expuestas (los ojos, la boca, el interior de la nariz, el interior de las orejas).
- No compartir alimentos, vasos ni cubiertos.
- Ventilar y permitir la entrada de sol en la casa, en las oficinas y en todos los lugares cerrados.
- Mantener limpias las cubiertas de cocina y baño, las manijas y los barandales, así como los juguetes, los teléfonos o los objetos de uso común.
- En caso de presentar un cuadro de fiebre alta de manera repentina, o presentar, simultáneamente, los síntomas siguientes: tos, dolor de cabeza, dolor muscular y de articulaciones; acudir de inmediato al médico o a la unidad de salud más cercana.

- Abrigarse y evitar cambios bruscos de temperatura.
- Comer frutas y verduras ricas en vitamina A y en vitamina C (zanahoria, papaya, guayaba, naranja, mandarina, lima, limón y piña).
- En caso de que no se tenga acceso a los alimentos mencionados, consumir suplementos alimenticios de vitamina C y vitamina D.
- Lavarse las manos frecuentemente con agua y jabón (aunque el jabón no ejercerá ningún efecto químico sobre las partículas del virus, estas se eliminarán de las manos por la acción física de frotarse las manos con agua y jabón).
- En oficinas, *call centers* y cibercafés, limpiar teclados y ratones de las computadoras con alcohol para desinfectar y evitar una posible propagación del virus, sobre todo si han sido utilizados en las últimas horas o si las utilizan muchas personas durante el día.
- Desinfectar cerraduras de puertas y pasamanos de lugares públicos con hipoclorito de sodio (el hipoclorito de sodio es el limpiador y desinfectante de uso común en todos los hogares, la gente lo identifica sin excepción con el nombre común de CLORO o cloro, se consigue en cualquier comercio de víveres o abarrotes, supermercados etcétera, solo hay que buscar o pedir cloro, no tiene variantes en el nombre, solo en la marca comercial, otros nombres coloquiales son blanqueador para ropa, pero nunca confundir con lejía, lavandina o jabón, etcétera, (leerse las instrucciones de uso).
- Evitar exposición a contaminantes ambientales.

- No fumar en lugares cerrados ni cerca de niños, ancianos o enfermos.

3.8. Gestión política

Numerosos artículos científicos han cuestionado desde el principio la gestión política de la pandemia de gripe A (H1N1) tanto por parte de la OMS, como de los ministerios de sanidad de diferentes países, por la alarma sanitaria mundial generada innecesariamente. Así como los intereses económicos que han condicionado la definición de pandemia, la vacunación y los antivirales.

Respecto al clima de miedo generado por la gripe A, algunos expertos aseguran que los medios de comunicación y la gestión política desdibujaron los límites perceptuales entre lo probable y lo posible. Partiendo de la base que la función del virus es reforzar a las poblaciones, la idea de una gripe de alta mortalidad y fácil transmisión era posible pero improbable. El discurso creado por la gripe A no solo paralizó la vida social obligando a los ciudadanos a autorecluirse por precaución sino que además aceleró la paranoia y la dependencia visual respecto de lo que transmitían los medios. Si bien por un lado, los discursos estaban orientados a llevar calma a la población, las imágenes decían otra cosa.

Se dio, lo que algunos expertos como M Korstanje llaman proceso de ambigüedad (desestructuración) normativa. Si se asume que la resiliencia es la posibilidad de aprender de los errores frente a un estado de emergencia, la gripe A por ser un evento mediático ha representado el fin de la resiliencia. A diferencia de un desastre clásico cuya capacidad destructiva se experimenta en la comunidad, los desastres modernos no tienen consecuencias materiales concretas. Dos componentes caracterizan a esta clase de nuevos riesgos: a) una fuerte carga emocional que alude a un arquetipo común (evento similar

como ser la Gripe Española del principio de siglo), b) las consecuencias no se dan en tiempo presente sino que son abstracciones ancladas en el futuro. No se teme por lo que ya ha pasado, sino por lo que puede suceder. Las desinteligencias acaecidas luego de la gripe A han inspirado muchas películas de ciencia ficción como por ejemplo el film Contagio, estrenada en 2011.

4. INTEGRACIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO PARA INFLUENZA A (H1N1)

4.1. Descripción del sistema

El sistema experto que se desarrollará tiene como función principal, el obtener un diagnóstico verídico sobre la influenza A (H1N1), basado en respuestas, sí o no, a diferentes preguntas que se le hacen al usuario. De acuerdo con la metodología médica a seguir, se hacen varias interrogaciones acerca de la ficha médica del paciente, hasta que se pueda dar un tratamiento a dicho diagnóstico o se decida que no se cuenta con la información necesaria para dar una respuesta.

La *interfase* de usuario será bastante amigable. Todas las pantallas que se utilizarán podrán ser manejadas por un mouse, y si no se tiene uno, por medio del teclado. Tiene ayuda sensible al contexto en la mayoría de sus opciones, en caso que la persona no tenga experiencia en computación.

Este programa fue diseñado con el fin de dar soporte a médicos en el área de influenza A (H1N1), así como a estudiantes de ambos campos, informática y medicina, por lo que fue diseñado de tal forma que pudiera ser utilizado de modelo para otros sistemas expertos en otras áreas específicas, tanto de medicina como de informática.

4.2. Análisis

Para iniciar el desarrollo del sistema se necesitará obtener los requerimientos de los expertos en el área. Se requerirá un programa que pueda simular el análisis que se sigue cuando se presenta una emergencia con un paciente con influenza A (H1N1).

Se utilizará la técnica de entrevistas para obtener la información necesaria y establecer las limitaciones que tendría el sistema, puesto que el emular el proceso de razonamiento de un experto podría extenderse demasiado. Después de varias entrevistas con los expertos se determinará de común acuerdo cual va a ser el dominio que se incluiría en el trabajo de tesis, conscientes de que para que un sistema experto funcione más eficientemente se deben elegir dominios pequeños.

La etapa de análisis llevará un período bastante extenso, debido a que se tendría que unificar conocimientos de dos ramas diferentes, inicialmente, para entender los requerimientos y la forma de razonamiento de un médico experto cuando se presenta un problema. Se deberá entender el proceso biológico del paciente que se toma en cuenta para dar un tratamiento. Luego se explicará cómo funcionan los sistemas expertos con el fin de establecer limitaciones al programa. Estos datos serán utilizados para el diseño de la base de conocimiento.

La fase de análisis también debe de incluir la evaluación del software que se desarrollaría y el diseño de la *interfase* del usuario. Por el tipo de *interfase* que se requerirá, se concluyó que será más factible obtener un sistema amigable si se trabaja con ventanas, por ejemplo elegir trabajar con Java. Este ambiente presta gran flexibilidad para trabajar con ventanas y con el mouse.

Java cuenta con objetos ya definidos que manejan estos, y el programador solamente debe hacer una instancia de ellos para obtenerlos, lo cual hace la programación más simple. La descripción de cómo funcionan los objetos y el lenguaje de programación está fuera del contexto de esta tesis, por lo cual solo se mencionarán las herramientas utilizadas.

Las fuentes de información serán principalmente del experto, quien proporcionará la metodología de análisis para el diagnóstico de influenza A (H1N1), y libros de texto relacionados con el tema. La forma en que se recopilará dicha información será la siguiente: se establecerá el dominio y los elementos que influirán en el proceso para elegir un tratamiento. Luego se redactarán esos elementos como preguntas para poder elaborar las reglas en las cuales se basaría la inferencia. Teniendo la información de la forma anterior, se elegirá el modelo de representación que se utilizaría.

Recopilada la información necesaria, se procederá a elaborar el diseño de la base de conocimiento, la máquina de inferencia y el módulo de justificación.

4.3. Diseño

La fase de diseño será subdividida en varias etapas. En primer lugar se diseñará la *interfase* de usuario. A continuación se representará el problema de forma que pueda ser almacenado en el computador formando la base de conocimiento. Teniendo esta base ya diseñada se elegirá el tipo de búsqueda que se emplearía y la estructura de control que haría las inferencias.

4.3.1. Diseño de la *interfase* de usuario

El primer paso al iniciar el diseño del sistema será crear las diferentes pantallas y menús que incluiría el programa. Debido a que entre los requerimientos se debe de incluir que el sistema sea muy amigable, tomando en cuenta que podría ser utilizado por personas no muy familiarizadas con computadoras, se diseñarán estos de manera que tuvieran toda la ayuda posible con sólo presionar una tecla o usar el mouse.

Diseñadas las pantallas, se procederá a hacer un prototipo con las diferentes pantallas, para que el experto pueda dar su opinión.

4.3.2. Representación del problema

La información que se obtendrá de los expertos se deberá representar de alguna forma para ser ingresada al computador. La manera más simple, por el tipo de información con que se contará, será representada por reglas. El formato que se seguirá será el siguiente:

```
IF Diagnóstico = X THEN
    IF Pregunta THEN Camino1 ELSE Camino2
```

De esta manera se obtendrán todas las reglas que conformarán la base de conocimiento.

Las siguientes son algunas de las reglas que se formarán:

- IF Diagnóstico = “Tos seca recurrente” THEN
IF “Paciente sufre dolor de garganta” THEN

```
        Aplique tratamiento X001
    ELSE
        Aplique tratamiento X002
    END
END
```

- IF Diagnóstico = “Secreción nasal” THEN
 IF “Paciente sufre de dolores en el cuerpo” THEN
 Aplique tratamiento X003
 ELSE
 Aplique tratamiento X004
 END
END

4.3.3. Diseño e implementación de la base de conocimiento y la máquina de inferencia

La máquina de inferencia debe de ser diseñada usando la técnica de árboles de decisión. Se eligió esta técnica para representar la información debido a que el proceso de análisis de un doctor es por medio de eliminación de posibilidades, es decir, toma las opciones, y las descarta binariamente, sí o no, de acuerdo con la información que obtenga del paciente o de sus observaciones. Tomando en cuenta los métodos de representación de conocimiento, redes semánticas, scripts, listas, árboles y *frames*, se deduce que el método más adecuado es el de listas y árboles en su caso especial de árboles de decisión.

Cada elemento de información debe ser representado como una pregunta con tres posibles caminos, “sí”, “no” y un nodo terminal, donde “sí” y “no” son

apuntadores a otro árbol de decisión y el nodo terminal es un apuntador al tratamiento necesitado. Cada tratamiento es un archivo de texto que puede ser modificado de acuerdo con las necesidades del usuario. El árbol de decisión debe ser implementado en un arreglo de archivos planos.

Las estructuras que se deben de utilizar son las siguientes:

- Enfermedades

A = Identificador.

El identificador debe de ser la llave primaria de la tabla de enfermedades y debe de ser utilizada para reconocer todos los elementos en la base de conocimiento que contienen información acerca de la enfermedad que se está consultando.

B = Nombre de la enfermedad

Debe de ser la descripción de la enfermedad. Aquí solamente se deberá de almacenar el nombre que será desplegado en pantalla para las diferentes opciones de consulta, elección de enfermedad, etcétera.

- Árbol de Conocimiento, Árbol de Inferencia

A = Identificador

El identificador es la llave primaria de la tupla en la base de conocimiento. Está formada de tal manera que con sólo inspeccionarla se sepa qué nodo del

árbol representa, su nivel y la enfermedad a la que pertenece la información. Su estructura general es como sigue:

Tabla I. **Estructura general del identificador**

Posición	Descripción
1-2	Identificador de la enfermedad
2-3	Puede contener un 1 ó 2
	1 = proviene de un nodo "Si"
	2 = proviene de un nodo "No"
4-5	Mismas condiciones anteriores

Fuente: elaboración propia.

Así hasta llegar a 200 caracteres.

La longitud de la llave especifica el nivel en que se encuentra en el árbol. Por ejemplo, longitud 2, es el nivel uno, longitud 4, el nivel dos, longitud 6 es el nivel 8, y así sucesivamente.

B = Pregunta

Este contiene información concerniente a la enfermedad en forma de pregunta. Este campo debe estar en blanco cuando es un nodo terminal.

C = Si

Contiene la llave del próximo elemento a ser leído en la base de conocimiento en caso de que la respuesta sea "si" a la pregunta presentada. Está en blanco cuando el nodo es terminal.

D = No

Contiene la llave del próximo elemento a ser leído en la base de conocimiento en caso de responder “no” a la pregunta. Está en blanco cuando el nodo es terminal.

E = Apuntador

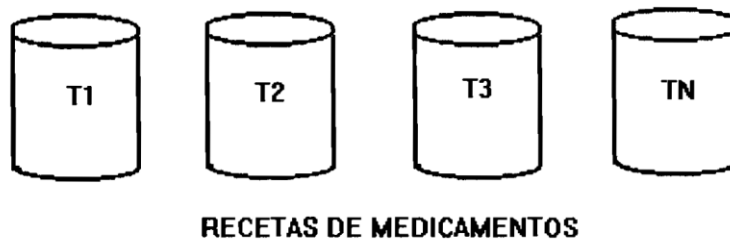
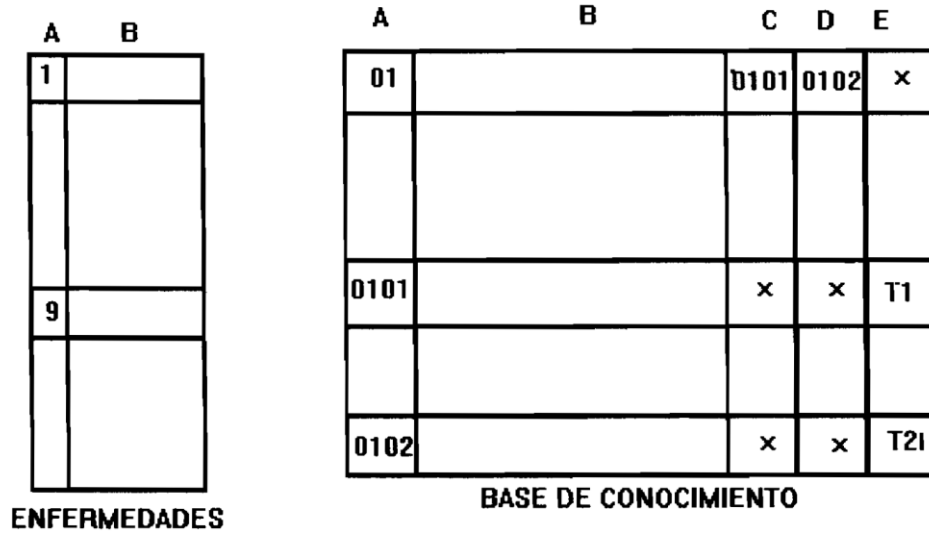
Este contiene el nombre del archivo de texto que almacena el tratamiento medicamentoso de la enfermedad que se está consultando. La estructura del nombre del archivo es Tx001, donde 001 es solamente un número correlativo.

Estas estructuras permiten utilizar perfectamente la teoría de árboles para encontrar el tratamiento a la enfermedad, de acuerdo con los diferentes caminos que son presentados.

El algoritmo para la máquina de inferencia es el siguiente:

1. Almacena el identificador.
2. Busca nivel uno en la base de conocimiento que contenga identificador
3. Presenta la pregunta, si responde “sí”, toma la llave almacenada en el campo “Si” y la busca en la base de conocimiento. Al responder “no” toma la llave del campo “No” y la busca.

Figura 5. **Diseño de la base de conocimiento**



Fuente: elaboración propia.

4. Al encontrar la llave puede tener tres posibles opciones. Si tiene tratamiento, es decir "apuntador" es diferente de vacío, busca el archivo de texto, lo presenta en pantalla y termina la operación. De lo contrario, tiene pregunta y va de nuevo al paso 3. La tercera opción, es que no tiene ningún dato y termina la operación sin ningún resultado.

Este algoritmo será implementado utilizando la teoría de árboles y recursión en Java. La teoría de árboles fue aplicada en el diseño de la base de conocimiento, utilizando el concepto de apuntadores, que son los nodos, “sí”, “no” y “apuntador”, y la recursión en la codificación de los pasos 3 y 4 de la máquina de inferencia.

La estrategia de control que es utilizada es *forward chaining*, y debido a que el resultado será obtenido gracias a la información que se obtendrá del usuario, *data-driven*. La estrategia de búsqueda utilizada es *depth-first*, ya que la búsqueda es dirigida hacia los niveles inferiores de cada nodo antes que en el nivel en que se encuentra.

4.3.4. Módulo de justificación

Debido a la necesidad de que los usuarios sepan cómo se llegó a una receta médica determinada, se presentará el problema de justificar la respuesta dada por el sistema.

Para implementar este módulo, se utilizarán en gran medida las ventajas que ofrece la estructura de árboles diseñada para representar el conocimiento y el modo en que este árbol será recorrido por la máquina de inferencia.

En la máquina de inferencia, al recorrer un nodo del árbol, solamente puede ocurrir que se trate de “sí”, “no”, o de un nodo de tratamiento. Esto nos permite construir un solo camino de acceso al tratamiento. Este camino puede ser representado en una lista encadenada. El diseño de lista que debe de utilizarse es el de tipo *FIFO*, *first-in*, *first-out*. Aunque los elementos de la lista nunca serán eliminados, los elementos nuevos deben de ser agregados al final de la lista, indicando de esta manera el orden en que fueron accesados y su

importancia en el proceso de decisión. La lista podrá crecer tanto como la profundidad del árbol lo requiera, y podrá ser recorrida secuencialmente en cualquier momento que el usuario lo desee, aunque no haya terminado la consulta del tratamiento.

La estructura de la lista es la siguiente:

A = Pregunta

Contiene la pregunta que fue accesada.

B = Respuesta

Contiene un “si” o un “no”, que es la respuesta dada por el usuario.

T = Apuntador

Contiene la dirección de la siguiente pregunta o un nulo, en caso de haberse llegado al final de la consulta o que todavía no se haya efectuado la siguiente pregunta.

Este procedimiento tiene la desventaja de utilizar mucha memoria RAM en caso que la profundidad del árbol se extienda en varios niveles, pero dado que se necesitan respuestas rápidas a los requerimientos de los usuarios se decidió que era la mejor opción a implementar.

Otra posibilidad puede ser utilizar la llave primaria de cada tupla en la base de conocimiento, ya que requiere mucho menos espacio en memoria. En el diseño, el identificador da toda la información necesaria para conocer el

camino de acceso al nodo en el cual se encuentra el usuario. Para obtener los datos, solamente será necesario buscar cada nodo involucrado en la formación de la llave, pero esto tiene una desventaja, debido a que la información estará almacenada en disco y la búsqueda de los nodos es lenta, lo que daría como resultado una consulta quizás más eficiente en cuanto a recursos, pero también más lenta a la vista del usuario. Es por esta razón que se descartaría esta posibilidad.

4.3.5. Descripción de un sistema experto desarrollado utilizando la herramienta CLIPS

- Situación actual

En el mercado se encuentran varios sistemas expertos para el diagnóstico médico. Muchos médicos practicantes o estudiantes utilizan este tipo de aplicaciones, debido a que les permite tener una “ayuda” al momento de la consulta médica. La fiabilidad de estos sistemas es un factor importante, por lo que la decisión final beneficiará al paciente luego del diagnóstico, jamás se desea que el paciente salga perjudicado por un mal diagnóstico del sistema experto.

Diagnos es un sistema experto desarrollado en España, según sus autores, es una potente herramienta de utilidad continua en la consulta, que ayuda al diagnóstico al combinar un conjunto de datos (síntomas, signos, resultados analíticos anormales, etc.) con el país, sexo y edad del paciente, ofreciendo con criterio un listado de enfermedades posibles, con potentes herramientas para afinar en el diagnóstico.

En ese sistema, está presente que el caso clínico puede variar dependiendo del país, razón por la cual la información del país es relevante al momento de generar el diagnóstico, esto es importante para determinar posibles infecciones.

Differential Diagnosis es una herramienta capaz de realizar diagnósticos evaluando los síntomas de un paciente. Si los síntomas son específicos, el programa identifica con gran exactitud el mal o la enfermedad. De lo contrario presentará un listado con todas las enfermedades posibles.

Your Diagnosis es una aplicación que funciona en línea, este sistema hace un análisis complejo de toda la información recopilada acerca de los síntomas del paciente y elabora una lista de todos los diagnósticos médicos posibles y probables a través de la web.

Los sistemas mencionados anteriormente no son de libre uso, algunos ofrecen una versión de evaluación, la cual permite conocer un poco más del sistema a los interesados, antes de que estos decidan comprarlo.

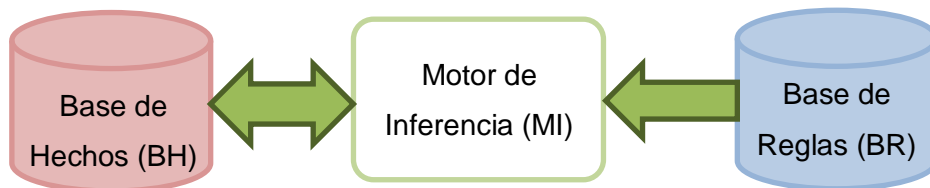
- CLIPS

CLIPS es un acrónimo de “C Language Integrated Production System” (Sistema de Producción Integrado en Lenguaje C). Como indica el acrónimo es un lenguaje programado en C, tiene comunicación con otros lenguajes como C y ADA y mantiene similitudes al lenguaje C y LISP.

CLIPS permite manejar una amplia variedad de conocimiento, soportando tres paradigmas de programación: el declarativo, el imperativo, y el orientado a objetos. La programación lógica basada en reglas, permite que el conocimiento

sea representado como reglas heurísticas que especifican las acciones a ser ejecutadas dada una situación.

Figura 6. **Arquitectura de un sistema de producción en CLIPS**



Fuente: elaboración propia.

La arquitectura de CLIPS, tiene tres componentes tal como se observa en la figura 6.

La BH también conocida como memoria de trabajo representa conocimientos del dominio sobre el problema (datos, hechos establecidos y metas a alcanzar). El MI razona sobre el conocimiento del problema y sobre su solución. Determina cómo se aplican las reglas. La BR representa conocimientos sobre cómo conseguir la solución del problema en forma de reglas de producción “SI <A> ENTONCES ”.

Como estrategia de inferencia, CLIPS utiliza encadenamiento hacia delante (dirigido por el antecedente o “*forward chaining*”):

- Se parte de unos hechos particulares (el contenido de la BH).
- Se buscan reglas cuyo antecedente esté satisfecho por esos hechos (BH).

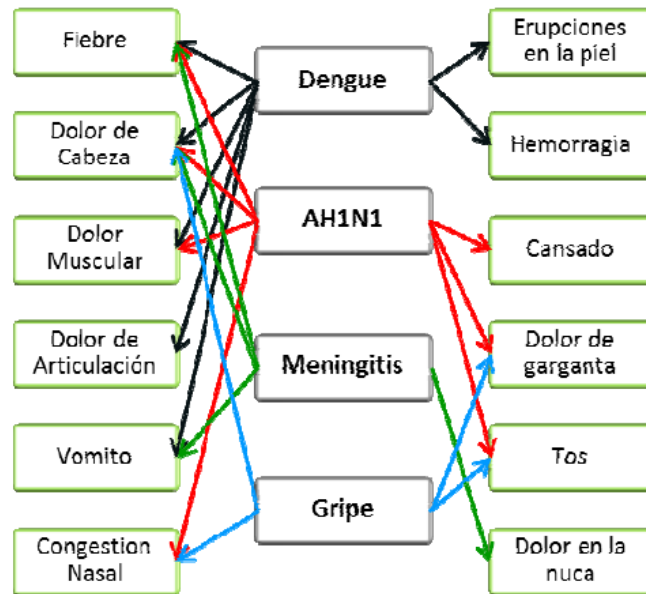
- Se modifica la BH ejecutando las acciones del consecuente de alguna de las instancias de reglas.

Luego de conocer la arquitectura, la sintaxis, algunas funciones de CLIPS, se procede a encontrar las relaciones entre los síntomas y cada una de las cuatro enfermedades: dengue, gripa AH1N1, meningitis y gripa simple.

- Solución planteada

El sistema tiene en total doce posibles síntomas. En la figura 7 se observa la relación entre los síntomas y cada una de las posibles enfermedades.

Figura 7. **Relación entre los síntomas y enfermedades**



Fuente: elaboración propia.

A partir de las relaciones se definen y se formalizan las reglas y los hechos del sistema en CLIPS. En la figura 8, se ve una de las reglas definidas. Para definir las reglas se comienza con la palabra reservada *defrule* y para crear un hecho se utiliza la instrucción *assert*. En esta parte del código también se hace un llamado a la función *tiene_fiebre* la cual espera un parámetro (ver figura 9).

Figura 8. Regla definida en CLIPS

```
(defrule determine-estado-fiebre ""
  (estado-general salud fiebre)
  (not (estado-fiebre salud ?))
  (not (diagnostico ?))
  =>
  (if (tiene_fiebre "Ingrese su temperatura en
  .....
  grados centigrados:")
      then (assert (estado-fiebre salud fiebre))
  else
  .....
      (assert (estado-fiebre salud no-fiebre))
  )
)
```

Fuente: elaboración propia.

Las funciones se definen comenzando con la palabra *deffunction* y estas se pueden diseñar para recibir parámetros, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 9.

De forma similar, se definieron todas las reglas, los hechos y todas las funciones necesarias para satisfacer las condiciones del problema.

Figura 9. **Función en CLIPS**

```
(deffunction tiene_fiebre (?pregunta)
  (printout t ?pregunta)
  (bind ?temperatura (read))
  (if (> ?temperatura 39)
      then TRUE
      else FALSE)
)
```

Fuente: elaboración propia.

La depuración paso a paso en CLIPS es de gran problema, debido a que no es fácil ver lo que sucede con el código en tiempo de ejecución, esto es una desventaja de CLIPS frente a los otros entornos de desarrollo, pero se debe a que la forma de programar es un paradigma diferente al imperativo y al orientado a objetos.

- Resultados obtenidos con este sistema

Las pruebas que se realizaron con este sistema, fueron con datos aleatorios, y garantizaban el correcto diagnóstico para cada uno de los casos. Cuando la información de los síntomas ingresados por el paciente no se ajusta a ninguna de las enfermedades de la base del conocimiento, se informa al usuario:

“Estimado(a) paciente: lo sentimos, no hay enfermedades asociadas a sus síntomas por favor diríjase al centro de salud más cercano.”

Esto se debe a que solamente se tienen las reglas para cuatro enfermedades. En caso contrario cuando se puede diagnosticar una enfermedad a partir de los síntomas, el sistema le informa al usuario:

“Estimado(a) paciente: usted puede tener Meningitis. Visite al médico de inmediato”.

El diagnóstico es excluyente, es decir, el sistema está diseñado para diagnosticar solamente una enfermedad a la vez por paciente. Por otro lado, el diagnóstico se realiza si la enfermedad cumple con todos los síntomas que se definieron en las reglas.

CONCLUSIONES

1. De todas las aplicaciones existentes, los sistemas expertos son los que más éxito han tenido. Un sistema experto trata de tomar el conocimiento de una persona calificada y trasladarlo a la máquina para que esta simule el proceso de raciocinio y obtener un resultado tan bueno como si lo hubiera hecho la persona.
2. La implementación de un sistema experto no es una tarea difícil de llevar a cabo si se tienen los conceptos de qué son y cómo funcionan. Además, pueden ser aplicados no solo al área de medicina sino en cualquier otra área donde su expertaje pueda ser representado por reglas.
3. El problema principal de los sistemas expertos es la representación del conocimiento, y las reglas necesarias para resolver determinado problema, estas reglas incluyen la heurística que es utilizada en las técnicas de búsqueda para hacerla más rápida y eficiente.
4. CLIPS es una excelente herramienta para el diseño y desarrollo de sistemas expertos. Se conoció otra forma de programar apoyado en reglas, esta forma de programar causa gran impacto debido a que no es la usual.
5. Se conoció el funcionamiento de la herramienta CLIPS, sobre su arquitectura y como a partir de los hechos el motor de inferencia logra llegar a alguna solución.

RECOMENDACIONES

1. Las fuentes de información deben de ser principalmente de un médico experto en el área, quien debe proporcionar la metodología de análisis para el diagnóstico de influenza A (H1N1).
2. Debido a la necesidad de que los usuarios sepan cómo se llegó a una receta médica determinada, se debe de justificar la respuesta dada por el sistema.
3. Para poder resolver un problema aplicando inteligencia artificial, el ser humano debe de representar el problema por medio de un símbolo al cual se le aplica una serie de reglas y estrategias para resolverlo. Para la inteligencia artificial un símbolo es una cadena de caracteres que representa un concepto del mundo real. Los símbolos pueden estar interconectados por medio de relaciones. Estas redes son llamadas estructuras simbólicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELL D.E. *Decision making*. New York: Cambridge Univ. Press, 1988.
2. ESCALONA, Luis. *Sistemas basados en conocimiento*. [en línea]. <http://www.slideshare.net/LUIS5111987/sistema-basados-en-conocimientos>. [Consulta: enero de 2014].
3. GILLILAND, Matt. *¿Qué es un microcontrolador?* Versión en Castellano 1.1. s.l. s.e. 1999. 111 p.
4. NEWELL, A.; SIMON, H. A. *Human problem solving*, Englewood, Cliffs. New Jersey: Prentice Hall, 1972. 108 p.
5. NILSSON, N. J. *Principles of artificial intelligence*. Palo Alto, CA: Tioga Publishers, 1980. 230 p.
6. RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. *Inteligencia artificial, un enfoque moderno*. México: Prentice Hall. 1995.
7. SCHALKOFF, Robert. *Artificial intelligence, an engineering approach*. EEUU: McGraw Hill, 1990. 286 p.
8. TURBAN, E., *Expert systems and applied artificial intelligence*. EEUU: Macmillan, 1992. 230 p.

