

**Universidad de las Ciencias  
Informáticas  
Facultad 5**



Título: Determinación del método más eficiente en el análisis de la Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.

Trabajo de Diploma para optar por el título de  
Ingeniero en Ciencias Informáticas.

**Autor:**

Kenia Madrazo de la Rosa.

**Tutores:**

Ing. Yanesky Montero Martínez.  
MSc. Roberto Millet Luaces.

Junio 2008

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro ser autora de la presente tesis y reconozco a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Kenia Madrazo de la Rosa

Autor.

\_\_\_\_\_

Ing. Yanesky Montero Martínez

Tutor.

\_\_\_\_\_

Msc. Roberto Millet Luaces

Tutor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a nuestro máximo líder, el comandante Fidel Castro que ha sido el motor impulsor de la Revolución Cubana y el creador de esta hermosa Universidad donde he tenido el privilegio de estudiar esta maravillosa carrera.

A Miriam mi adorada madre y a Albe mi querido padre por significar todo para mi y haberme cuidado, amado y guiado por la vida.

A mi querido hermano Michel por vivir orgulloso de mí y quererme tanto.

A mi amada abuela fallecida Felina que tanto me cuidó, adoró y aconsejó.

A mi estimada decana por siempre estar ahí para mí.

A mi queridísimo amigo Millet por haberme guiado, ayudado y querido tanto durante estos años de mi carrera y sobre todo por siempre confiar en mi.

A mi tutora Yanesky.

A todos los que de una forma u otra me han ayudado durante toda mi carrera.

A todos mis amigos y amigas.

A todos muchas gracias.

## **DEDICATORIA.**

A mis padres que son los más preciado en mi vida y que siempre confiaron en mí. Gracias por ser tan buenos, amorosos y exigentes conmigo. Ustedes son el ejemplo que siempre seguiré en mi vida y a ustedes les dedico todos mis logros y mi corazón.

A mi amado hermano del que vivo tan orgullosa. Gracias mi hermanito por enseñarme que no me lo merezco todo y que siempre debemos amarnos y cuidarnos entre nosotros.

A mi abuelita. Aunque ya no estés aquí conmigo físicamente seguirás por siempre viva en mi corazón.

A toda mi familia a la que tanto quiero.

A mis mejores amigos Jorge, Marcos y Maikel que me adoran y viven orgullosos de mi.

A mis mejores amigas Anaelis e Iliana que se han convertido para mi en las hermanas que no tuve.

A Grechi mi queridísima amiga del alma.

A mis entrenadores y amigos Millet y Alexander que siempre que me ha apoyado y defendido.

A los profesores de educación física por siempre confiar en mí.

A Todos los profesores de la facultad 5.

A mi querido novio por quererme y apoyarme tanto.

A todos lo que me han ayudado durante mi carrera.

A todas mis amigas y amigos que son muchos.

**Kenia**

## **RESUMEN:**

Desde los tiempos más remotos el hombre ha dependido en gran medida del uso de la matemática. Surge a raíz de la aparición de problemas reales que necesitaban algún tipo de análisis. Su campo de acción es muy amplio; es utilizada en casi todas las esferas de la vida humana. Dentro de esta ciencia constituye una parte importante, el tratamiento de la incertidumbre, que permite conocer el grado de desconocimiento que se tiene de algo y siempre está presente en todo lo que se hace o se pronostica hacer. Resulta indispensable cuando se procura que no existan selecciones erradas que puedan repercutir negativamente en el futuro resultado de una investigación.

Con el paso del tiempo y el incremento acelerado de los sistemas de cómputo se ha desarrollado la informática, que ha jugado un papel singular en el surgimiento de nuevas ciencias. Un ejemplo clásico es la Inteligencia Artificial. Esta en las últimas décadas ha tenido un gran auge y ha marcado el comienzo de una nueva era. Una de las áreas más importante dentro de este campo, la constituyen los Sistemas Expertos que han ganado popularidad con el paso del tiempo, debido a la gran utilidad y usabilidad que tienen en diferentes ramas de la vida. Se enfocan en la explicación y emulación de la conducta de procesos computacionales basados en la experiencia y el conocimiento humano. Su aplicación en la industria, salud, economía, así como en empresas militares por citar solo algunos ejemplos, ha marcado pautas en desarrollo de la humanidad. En el caso particular de la medicina han tenido un impacto singular, brindando a los especialistas humanos, un apoyo extraordinario en el diagnóstico clínico. Esto ha propiciado que los resultados sean aún más positivos. Sin embargo al igual que los humanos no están exentos de cometer errores; por eso necesitan tener un eficaz tratamiento de la incertidumbre.

Esta investigación se basa en la determinación del método más eficiente en el análisis de la Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales. Se tuvo en cuenta para el mismo la aplicación de la Lógica Difusa y las Redes Probabilísticas.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	II
<b>DEDICATORIA</b> .....	III
<b>RESUMEN:</b> .....	IV
<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	7
<b>CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.</b> .....	13
<b>1.1 Introducción a la Incertidumbre en los Sistemas Expertos.</b> .....	<b>13</b>
1.1.1 Inteligencia Artificial. ....	13
<b>1.2 Definición de Sistema Experto</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 Características y Estructura de un Sistema Experto.....	14
1.2.2 Tipos de Sistemas Expertos.....	14
1.2.3 Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico. ....	15
1.2.4 Aplicaciones de los Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico en el Mundo. ....	17
1.2.5 Aplicaciones de los Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico en Cuba.....	18
<b>1.3 Teoría de errores. Introducción al análisis de la Incertidumbre.</b> .....	<b>19</b>
1.3.1 Tipos de Incertidumbre: .....	24
1.3.2 Fuentes de Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de .....	25
las Sepsis Vaginales.....	25
<b>1.4 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas de Expertos.</b> .....	<b>26</b>
1.4.1 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas Expertos mediante Lógica Difusa. ..	27
1.4.2 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas de Expertos mediante Redes Probabilísticas.....	28
<b>1.5 El Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.</b> .....	<b>29</b>
<b>1.6 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.</b> .....	<b>30</b>
1.6.1 Método de Hajek. ....	30
1.6.2 Elementos del modelo de Hajek. ....	31
1.6.3 T-Norma y S-Norma: Referencia a la Teoría de Hajek. ....	31
Conceptos de CTR y GLOB:.....	31
1.6.4 Características definidas por Hajek para función Global GLOB (FC1, FC2):.....	31
<b>CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE. LÓGICA DIFUSA Y REDES PROBABILÍSTICAS.</b> .....	<b>33</b>
<b>2.1 Inicios de la Lógica Difusa.</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2 Introducción a la Lógica Difusa.</b> .....	<b>33</b>
2.2.1 Conjuntos difusos.....	34
2.2.2 Definición de conjunto difuso.....	34
2.2.3 Operaciones sobre conjuntos difusos. ....	35
2.2.4 La Teoría para el cálculo de la certeza. ....	35
2.2.5 T-normas y S-normas de la Lógica Difusa. ....	39
2.2.6 Resumen del modelo difuso para la propagación de la certeza. ....	39
2.2.7 Conceptos fundamentales. ....	41

2.2.8 Fuzzificación de variables. ....	44
2.2.9 Tratamiento de la incertidumbre en un SE de diagnóstico médico basado en reglas de producción. ....	44
<b>2.3 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las Sepsis Vaginales mediante la Lógica Difusa. ....</b>	<b>46</b>
2.3.1 El modelo Hajek. Justificación del método seleccionado. ....	46
2.3.2 Funciones utilizadas para el cálculo de CTR en el Sistema Experto. ....	48
2.3.3 Fuzzificación de las variables difusas en el Sistema Experto. ....	52
2.3.4 Obtención de las certezas de las reglas. ....	54
2.3.5 Proceso para determinar la incertidumbre mediante Lógica Difusa en el Sistema Experto. ....	54
<b>2.4 Introducción a las Redes Probabilísticas en los Sistemas Expertos. ....</b>	<b>55</b>
2.4.1 Definiciones fundamentales: ....	55
2.4.2 Teorema de Bayes. ....	58
2.4.3 Redes Probabilísticas. ....	60
2.4.4 Redes Bayesianas. ....	60
<b>2.5 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales mediante las Redes Bayesianas. ....</b>	<b>68</b>
2.5.1 Aplicación de las Redes Probabilísticas. Redes Bayesianas. ....	69
2.5.2 Uso de las Redes Bayesianas en el SE. ....	69
2.5.3 Certeza por Probabilidad. ....	70
2.5.4 Obtención de la probabilidad de cada regla. ....	71
2.5.5 El modelo seleccionado. ....	72
2.5.6 Proceso de análisis de la Incertidumbre en el Sistema Experto. ....	74
<b>CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS. TRATAMIENTO DIFUSO Y TRATAMIENTO PROBABILÍSTICO. ....</b>	<b>76</b>
<b>3.1 Comparación del tratamiento de la incertidumbre mediante la lógica difusa y las redes bayesianas en el sistema experto. ....</b>	<b>76</b>
3.1.2 Tratamiento de la incertidumbre mediante la Lógica Difusa. ....	78
3.1.3 Cálculo de la certeza en Lógica Difusa. ....	82
3.1.4 Tratamiento de la incertidumbre mediante la Redes Bayesianas. ....	85
3.1.5 Cálculo de la certeza en Redes Bayesianas. ....	87
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>92</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>94</b>

## INTRODUCCIÓN:

El avance incontenible de la computación en los últimos tiempos ha tenido un impacto favorable en el desarrollo de la informática. Cada vez la sociedad asimila más este término, incluso en los países subdesarrollados, es usual ver como varias esferas mantienen una estrecha relación de dependencia con esta rama del saber. En la medicina cubana tiene un amplio dominio de aplicación, donde las técnicas computacionales se aplican tanto al tratamiento de los datos de los pacientes como a los procesos a través de los cuales se desarrollan el diagnóstico y el tratamiento médico. Entre otras aplicaciones que tiene se pueden encontrar: tratamiento automatizado de historias clínicas, sistemas automatizados para el control de las estadísticas sanitarias, tutoriales y entrenadores para la enseñanza de las ciencias médicas, Sistemas Inteligentes(SI) para la ayuda a la gerencia de salud, Sistemas Expertos(SE) para la ayuda al diagnóstico y tratamiento de diversas entidades.

El desarrollo de la informática unido al incremento de la capacidad de razonamiento humano, propició el surgimiento de la Inteligencia Artificial (IA). Esta es una de las ciencias más jóvenes que existe en la actualidad y en las últimas décadas ha tenido un gran desarrollo. Sus aplicaciones son incontables y cada vez se amplían aún más. Una parte importante dentro de esta rama la constituyen los Sistemas Basados en Conocimientos (SBC), los que a su vez tienen implícitos los SE, que surgen con el objetivo de simular comportamientos inteligentes, mediante la conducta de procesos computacionales basados en la experiencia y el conocimiento humano. Se han desarrollado e incrementado en cuanto a su utilidad de tal manera, que su inserción en casi todas las ramas de la sociedad es una realidad.

La utilización de técnicas de IA en la medicina para el control y diagnóstico de diversas enfermedades se ha generalizado en todo el mundo. Actualmente los SI facilitan en un porcentaje muy elevado el diagnóstico médico. En teoría estos sistemas son capaces de razonar siguiendo pasos comparables a los que sigue un especialista cuando resuelve un problema. No obstante, necesitan tener un alto grado de confiabilidad en su diagnóstico, ya que si cometen muchos errores, no estarían ayudando en ninguna medida a encontrar el correcto tratamiento que requiere el paciente.

Los expertos humanos solucionan los problemas utilizando una combinación de conocimientos basados en hechos y en su capacidad de razonamiento. La relevancia de los SE se observa en el gran campo de aplicaciones que presentan, jugando un papel muy importante en el



desarrollo de las ciencias médicas. En Cuba se aplican para el tratamiento de la hipertensión arterial y anomalías craneofaciales. Son utilizados además en el diagnóstico de abdomen agudo, entre otras aplicaciones.

En estos sistemas la vía utilizada para elevar el grado de confiabilidad en los diagnósticos es el tratamiento de la incertidumbre. Por constituir una razón indispensable para incrementar el grado de credibilidad en el resultado final de cada investigación, los especialistas han desarrollado minuciosas investigaciones llegando a conclusiones necesarias e imprescindibles. Los SI de diagnóstico médico al igual que los expertos humanos no están exentos de cometer errores, por esta razón necesitan ser profundamente analizados.

Inicialmente, se eligió la probabilidad como medida para tratar la incertidumbre, pero se encontraron problemas, debidos al uso incorrecto de las hipótesis de independencia, utilizadas para reducir la complejidad. Consecuentemente, surgieron medidas alternativas a la probabilidad (factores de certeza, credibilidades, plausibilidades, necesidades o posibilidades). Sin embargo con el paso de los años y el surgimiento de las Redes Probabilísticas (RP) se ha demostrado que el uso de la probabilidad continúa siendo una vía muy eficaz.

El SE de diagnóstico médico de la sepsis vaginales que actualmente se encuentra en construcción, no cuenta con el análisis de la incertidumbre asociada a sus diagnósticos, por lo que no es muy confiable. Tiene como objetivo fundamental el tratamiento de infecciones cérvico-vaginales en féminas de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI). En el centro de altos estudios se cuenta con solo una especialista en ginecología, la población de féminas excede el 50% del estudiantado y por ello se dificulta la atención especializada en las consultas de ginecología. En la actualidad la recepción y archivo de los datos de las pacientes se realiza de forma manual, dificultando así la fluidez del trabajo en la consulta. El sistema cuenta con una Base de conocimiento (BC), realizada mediante elementos de la consulta a expertos.

El tratamiento de la incertidumbre en el sistema, permite y le brinda al mismo un grado elevado de confiabilidad en su diagnóstico.

### **Problema Científico.**

¿Cómo determinar la incertidumbre del Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales?

### **Objetivo General.**

Aplicar la Lógica Difusa y las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas) para analizar la incertidumbre y determinar el método más eficiente a utilizar en el Sistema Experto.

### **Objeto de estudio.**

Proceso de cálculo de la incertidumbre en los Sistema Experto.

### **Campo de acción.**

Aplicar la Lógica Difusa y las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas) como métodos de obtención de la incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales.

### **Tareas investigativas:**

- Estudiar el estado del arte de los Sistemas Expertos, en particular los de diagnóstico médico.
- Estudiar el estado del arte del tratamiento de la incertidumbre en estos sistemas, en particular los de diagnóstico médico.
- Analizar y optimizar las reglas de producción.
- Obtener los valores de certeza de las reglas de producción mediante consultas a expertos.
- Estudiar y analizar elementos de la teoría de la incertidumbre.
- Estudiar y analizar elementos de la teoría de la Lógica Difusa.
- Estudiar y analizar el tratamiento de la incertidumbre mediante la Lógica Difusa.
- Analizar el método de Hajek, seleccionado dentro de la Lógica Difusa para el tratamiento de la incertidumbre en el Sistema Experto.
- Estudiar el proceso de cálculo de la incertidumbre mediante el método de Hajek en Prolog.
- Estudiar y analizar elementos de las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas).
- Estudiar y analizar el tratamiento de la incertidumbre mediante las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas).
- Analizar el modelo seleccionado para el tratamiento de la incertidumbre través de la probabilidad en el Sistema Experto. Teorema de las causas.

- Estudiar el proceso de cálculo de la incertidumbre mediante el modelo del Teorema de las causas en Prolog.
- Evaluación del análisis de la incertidumbre mediante el uso de las vías propuestas.
- Selección de la vía óptima para determinar la incertidumbre en el Sistema Experto.
- Propuesta de la introducción de la funcionalidad que permita conocer la incertidumbre en el sistema.

### **Idea a defender.**

Si se determina la incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales mediante el método más eficiente, entonces se estará mejorando cualitativamente la funcionalidad y el grado de confiabilidad que este brindará cuando se realice el diagnóstico clínico.

### **Métodos de investigación:**

**Los Métodos Teóricos:** posibilitaron descubrir, analizar y sistematizar los resultados obtenidos, para llegar a conclusiones confiables que permitan resolver el problema, por ello se usaron:

**Analítico-Sintético:** analizar las teorías, documentos así como para extraer los elementos más importantes que se relacionan con el objeto de estudio.

**La inducción-deducción:** se utilizó durante toda la investigación, para llegar a conclusiones y hacer generalizaciones.

**El análisis histórico lógico:** nos permitió estudiar la evolución y desarrollo con el objetivo de constatar teóricamente como ha evolucionado el tema.

### **Los Métodos Empíricos:**

Estos métodos empleados en el transcurso de la investigación permitieron descubrir y acumular un conjunto de datos, que sirven de base para dar respuesta a las preguntas científicas. Para ello se utilizaron:

La **observación y el experimento**, ambos tienen su base en el análisis de la incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales mediante las distintas vías existentes (Lógica Difusa y Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas)), para extraer de ahí

ideas, puntos de vistas, que contribuyan al desarrollo de la investigación y aporten conocimientos específicos del tema.

Esta investigación en el **Capítulo 1: Fundamentación Teórica**, analiza: aspectos generales de la IA así como definición, principales características y tipos de SE que existen en la actualidad. Se hace referencia además a las aplicaciones que tienen en Cuba y en el mundo, en particular los de diagnóstico médico. Se plantean distintas definiciones y características de la incertidumbre, analizando los aspectos fundamentales, donde se incluyen los distintos tipos y las principales fuentes. Se describen las vías existentes para determinar la incertidumbre en los SE (la Lógica Difusa y las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas)), particularmente en los de diagnóstico médico. Se describe a grandes rasgos el SE de diagnóstico médico de la sepsis vaginales, haciendo una descripción de su objetivo principal. Se enuncia el Método de Hajek propuesto para tratar la incertidumbre por los creadores de la BC.

En el **Capítulo 2: Análisis de la Incertidumbre**, se analizan: aspectos teóricos de la LD .Se definen los conjuntos difusos, las operaciones sobre estos, así como conceptos fundamentales. Se plantean las características del modelo difuso para la propagación de certezas y se enuncian las T-Normas y las S-Normas que propone la LD. De forma general se explica cómo debe ser el tratamiento de la incertidumbre en un SE de diagnóstico médico basado en reglas de producción. Se justifica la selección del modelo de Hajek dentro de la LD para el tratamiento de la incertidumbre. Además son seleccionadas y analizadas las variables difusas que se encontraron en la BC. Se analiza como debe realizarse en Prolog el análisis de la incertidumbre el mediante el método de Hajek. También son analizados una serie de conceptos fundamentales necesarios para adentrarse en las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas)). Se hace referencia al teorema de Bayes. Se definen el concepto y las principales características de las Redes Bayesianas. Se analiza como es que se realiza el tratamiento de la incertidumbre en SE probabilísticos, particularmente los de diagnóstico médico. Se justifica el modelo seleccionado (teorema de las causas). Se explica como se debe realizar el proceso del cálculo de la incertidumbre mediante ese modelo en Prolog.

En el **Capítulo 3: Análisis de los Resultados**, se enuncian los aspectos fundamentales que deben ser analizados para comparar los métodos. Se hace una comparación de las vías analizadas durante la investigación en cuanto a su efectividad y la forma en que se desarrolla el proceso en cada una. Se propone y justifica la vía que se considera más eficaz para el cálculo de la incertidumbre en el SE.

**Palabras claves:** Sistema Experto o Sistemas Expertos (SE), Inteligencia Artificial (IA), Sistemas Basados en Conocimientos o Sistema Basado en Conocimientos (SBC), Lógica Difusa(LD), Redes Probabilísticas(RP), Redes Bayesianas(RB), Base de Conocimientos o Bases de Conocimientos(BC), Sistemas Inteligentes o Sistema Inteligente(SI).

## **CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

### **1.1 Introducción a la Incertidumbre en los Sistemas Expertos.**

#### **1.1.1 Inteligencia Artificial.**

Actualmente el desarrollo de la computación se ha tornado imprescindible para la vida humana, es necesaria en casi todas las esferas en las que el hombre se desenvuelve. Ha propiciado el surgimiento de nuevas ciencias. Una de ellas es la Inteligencia Artificial (IA), que se ha convertido en las últimas décadas en la más popular de todas, propiciando un acelerado incremento de la utilidad de los sistemas de cómputo.

La IA es un área de la investigación donde se combinan las computadoras, la fisiología y filosofía, reuniendo varios campos como la robótica y los SE, los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden pensar por medio de algoritmos.

Básicamente lo que pretende la IA es crear una máquina secuencial programada que repita indefinidamente un conjunto de instrucciones generadas por un ser humano.

Esta ciencia tiene implícitas varias ramas y dentro de ellas una de las más populares en la actualidad son los SE por la gran cantidad de aplicaciones que tienen, sobre todo en la medicina.

#### **1.2 Definición de Sistema Experto.**

Se define un SE como un programa de computadora diseñado para modelar la habilidad de resolver un problema que posee un experto humano. Simula el proceso de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y de acción de un especialista en una determinada rama de la ciencia, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirle con ciertas garantías de éxito. Sin embargo al igual que un humano, puede cometer errores y esto tiene consecuencias negativas, es por ello que deben tener un profundo análisis de la incertidumbre que tienen sus respuestas.

Es importante aclarar que aunque los SE contienen conocimientos y habilidades de diferentes expertos humanos, no pueden dar solución a problemas que aún los hombres no han logrado resolver. Esto permite observar que las soluciones y asesorías que infiere el sistema depende de los conocimientos que tenga y no de la inteligencia de la programación.

Las áreas de aplicación de estos sistemas son innumerables, por lo que se podrían desarrollar diferentes SE en cada una de las áreas del conocimiento.

### **1.2.1 Características y Estructura de un Sistema Experto.**

Un SE es perdurable, fácil de transferir y documentar. No es impredecible, en la mayoría de los casos es menos caro que el experto humano. Sin embargo no es creativo, necesita ser enseñado y posee conocimiento técnico. Tiene además un enfoque cerrado y sobre todo no contiene experiencia personal. Su efectividad está dada por el conocimiento que se le haya suministrado y no porque sea lo suficientemente inteligente y creativo como para arribar a conclusiones de la misma forma que lo hace el especialista humano.

Contiene tres elementos fundamentales:

Base de conocimientos (BC): contiene conocimiento modelado extraído del diálogo con el experto.

Base de hechos (memoria de trabajo): contiene los hechos sobre un problema que se ha descubierto durante el análisis.

Motor de inferencia: modela el proceso de razonamiento humano.

### **1.2.2 Tipos de Sistemas Expertos.**

En el mundo existen diversos tipos de SE pero siempre en todos los casos algunos se destacan más que otros, así es el caso de los basados en reglas y los basados en probabilidades, los cuales han sido los más estudiados y difundidos.

**Sistemas Expertos Basados en Reglas:** son definidos a través de un conjunto de objetos, que representan las variables del modelo que se trabaja y estas a su vez ligadas mediante un conjunto de reglas, representan las relaciones entre ellas.

**Sistemas Probabilísticos:** Son más abstractos a la hora del humano entenderlos, la BC de estos sistemas está compuesta por un espacio probabilístico y un motor de inferencia, que calcula la probabilidad de los sucesos a través de diversos métodos de cálculo aplicando varias

hipótesis de independencia. Generalmente trabajan con una base de datos previamente creada con las probabilidades.

También pueden clasificarse según la naturaleza del problema en.

**Determinísticos:** el estado actual depende del anterior y las acciones sobre el entorno. Son los SE basados en reglas, que usan un mecanismo de razonamiento lógico para sacar conclusiones. En situaciones inciertas, es necesario introducir algunos medios para tratar la incertidumbre. Por ejemplo, algunos SE utilizan la misma estructura de los sistemas basados en reglas, pero introducen la certeza como medida para tratar la incertidumbre.

**Estocásticos:** Son los SE probabilísticos y la estrategia de razonamiento es el razonamiento probabilístico o inferencia probabilística. En estos sistemas existe incertidumbre, por lo que necesita ser tratada. La medida que utilizada en este tipo de sistemas es la probabilidad.

Además se pueden clasificar de acuerdo a la función que realizan en: pronóstico, planificación, reparación, diseño y control.

### **1.2.3 Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico.**

Los SE en medicina generalmente se utilizan en soluciones complejas a problemas específicos, las características de los procesos que realizan, simulan las del juicio clínico y utilizan además la esquematización matemática del pensamiento médico. Estos sistemas se utilizan en apoyo a las decisiones médicas, de tipo diagnóstica y no deben ser asumidos como sustitutos del médico. La necesidad de su uso se debe al aumento constante de la cantidad de conocimientos y datos a considerar en una decisión, debido al gran avance tecnológico y a la intensa investigación clínica. El éxito que han tenido se debe a la capacidad de las computadoras de manejar una gran cantidad de información.

En la estructura de un SE de diagnóstico médico se pueden distinguir dos partes fundamentales:

- La BC.
- El mecanismo de inferencias.

La BC está formada por los conocimientos que se usan para resolver los problemas que se plantean. El mecanismo de inferencia se refiere a la estrategia que usa el sistema para el



manejo de los conocimientos que le permitan llegar a resultados satisfactorios. Los médicos, que son los expertos que lo construyen, deben tener bien claro la definición de la variable y la caracterización matemática entre ellos, así como el modelo matemático necesario para describir el fenómeno encontrado o a investigar.

Los SE de diagnóstico médico deben realizar un tratamiento de la incertidumbre que tiene cada uno de sus diagnósticos para afianzar la confiabilidad de los mismos.

Los SE de diagnósticos médicos no han alcanzado el desarrollo esperado debido a dos causas fundamentales:

- La primera causa del estancamiento de su desarrollo, está determinada por no ser lo suficientemente atrayente para interesar a las grandes mentes científicas, pues es mucho más apasionante resolver un problema médico complejo por esfuerzo propio que compartir los méritos con una computadora.
- La segunda causa, y esta es de carácter objetivo, es que el tiempo de utilización de una máquina es a veces corto en comparación con el tiempo empleado en suministrar toda la información necesaria para que el SE pueda funcionar.

Cuando se suministra la información a la máquina, los científicos deben ser lo más exactos posibles en la descripción de la realidad objetiva. Esto requiere un gran esfuerzo de los especialistas para desarrollar el pensamiento médico en aras de una mejor descripción de la realidad objetiva, donde se trata de sustituir la intuición por procesos lógicos o matemáticos. Los investigadores médicos en el juicio clínico, deben sustituir la descripción de los procesos biológicos, ya sean estos fisiológicos o patológicos por medio de la formalización matemática. Uno de los métodos de formalización es la creación de modelos matemáticos.

Un modelo es la descripción matemática de un fenómeno. Este debe simplificar y omitir ciertos detalles. El éxito del modelo depende de si los detalles omitidos tienen o no importancia en el desarrollo del fenómeno estudiado. Los modelos pueden ser determinísticos o probabilísticos; los primeros son aquéllos en que los procesos implicados en el desarrollo del fenómeno determinan o no la aparición de éste; los modelos probabilísticos son los que describen fenómenos en los cuales se determina sólo un comportamiento probabilístico de los procesos observables.

Dentro de los modelos, el más simple es aquél donde los procesos se representan por cuadros y flechas, las que representan una formalización matemática de un proceso de decisión de cómo manejar un problema médico por medio de un cuidadoso seguimiento de un encadenamiento simple. A esta representación gráfica se le denomina algoritmo.

Otra forma de utilización de los modelos para la descripción formalizada de un fenómeno o proceso biológico, es la utilización de modelos análogos. Recordemos que modelos de distintas disciplinas pueden ser isomorfos, o sea, que el modelo de irrigación sanguínea es isomorfo con una red de distribución hidráulica de una ciudad; con un modelo isomorfo accesible podemos describir otro menos aparente y llegar a soluciones razonables.

La primera ayuda a los diagnósticos médicos por parte de la informática, se tuvo con la creación de los sistemas estadísticos y de probabilidades, computarizados para los diagnósticos, o sea, se calculaba la probabilidad de cada signo en el diagnóstico y se determinaba el más indicado. Posteriormente surgen los SE, en los cuales es permitida la interacción del médico con la computadora.

#### **1.2.4 Aplicaciones de los Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico en el Mundo.**

Generalmente los SE usados para los diagnósticos médicos son los probabilísticos o basados en probabilidad. En la mayoría de los casos trabajan con una base de datos previamente creada con las probabilidades individuales de ocurrencia de una enfermedad dado un síntoma y están preparados para enfrentarse a situaciones que encierren incertidumbre. También existen otros, los determinísticos que no son basados en probabilidades sino que funcionan a partir de un conjunto de reglas definidas por el especialista y no están preparados para tratar situaciones inciertas, sin embargo algunos les agregan grados de certezas a las reglas que forman la BC y esto permite que puedan tratar la incertidumbre del diagnóstico a partir de certezas definidas.

Los sistemas de diagnosis y depuración se encuentran presente en las aplicaciones de diagnóstico médico como es el ejemplo de **MYCIN y TROPICAID**.

**MYCIN** es el primer SE utilizado en la realización de diagnósticos, iniciado por Ed Feigenbaum y posteriormente desarrollados por E.Shortliffe y sus colaboradores. Este sistema, altamente especializado, fue diseñado para ayudar a los médicos a tratar con infecciones como meningitis (inflamación de las membranas que envuelven al cerebro y la médula espinal) y bacteriana

(infección que implica la presencia de bacterias en la sangre), dichas enfermedades pueden ser fatales si no son atendidas con rapidez.

**TROPICAID** tiene objetivo obtener información adicional sobre los medicamentos más usados, seleccionando un conjunto de posibles diagnósticos a partir del análisis del cuadro médico, propone además un tratamiento óptimo para el caso concreto.

Con el desarrollo acelerado de la IA se han obtenido resultados muy positivos en salud humana. En la actualidad existen SE especializados en diagnóstico y tratamiento para: diabetes, dermatología, cardiología, hipertensión arterial, problemas en la visión, en la sangre, trastornos neurológicos. También se han creado otros para apoyar el diagnóstico de abdomen agudo, anomalías craneofaciales, entre otros.

### **1.2.5 Aplicaciones de los Sistemas Expertos de Diagnóstico Médico en Cuba.**

MYCIN en Cuba: se utiliza en la enseñanza médica el GUIDON, un tutorial inteligente basado en MYCIN. Este tutorial inteligente tiene como objetivo diagnosticar infecciones bacterianas en la sangre y sugerir el tratamiento adecuado. El GUIDON se inicia con la presentación de un caso clínico sobre el cual el sistema va proporcionando información adicional a solicitud del estudiante y almacena la información sobre el tipo y número de consultas que va realizando, así como el orden de razonamiento que emplea el estudiante al tratar de resolver el caso problema. Puede interrumpir la consulta y reorientar al estudiante en el momento en que presenta una de las reglas apropiadas para la solución. También cuenta con la posibilidad de hacer presentaciones de casos clínicos de tipo tutorial, con el propósito de introducir nuevo material o establecer diálogos sobre los mecanismos de inferencia referentes al caso para llegar al diagnóstico y tratamiento adecuados.

EPILEP: sistema creado para el diagnóstico y tratamiento de la epilepsia. No es más que una BC, que junto con la máquina de inferencias ARIES constituyen un SE cuyo objetivo central es servir como consultante a médicos que se enfrenten al complejo diagnóstico de pacientes con ciertos ataques, para establecer si éstos son de naturaleza epiléptica o no, así como todas las posibles acciones derivadas de ello.

HIPERTENCID: es un SE computarizado cuya eficiencia ha sido demostrada en los últimos años.

La hipertensión arterial es una enfermedad crónica, generalmente asociada a una serie de factores de riesgo que pueden conducir a diferentes complicaciones, entre ellas la cardiopatía isquémica si no se controla adecuadamente. El programa Hipertencid permite realizar un pronóstico sobre las posibilidades de riesgo, especialmente de cardiopatía isquémica.

GINECO: sistema multiagentes desarrollado para el diagnóstico de las patologías ginecológicas más comunes en el Hospital provincial “Dr. Gustavo Aldereguía Lima” de Cienfuegos, Cuba. Se creó para apoyar a médicos jóvenes en los diagnósticos de dichas dolencias. La ingeniería del conocimiento realizada permitió recopilar todo el conocimiento necesario para definir el conjunto de patologías ginecológicas reportadas y obtener de las 37 más comunes, seleccionadas por especialistas en Gineco-Obstetricia, los rasgos que las caracterizan y luego los rasgos predictores. El sistema GINECO constituye un avance positivo en la aplicación de SI en medicina en Cuba.

### **1.3 Teoría de errores. Introducción al análisis de la Incertidumbre.**

La incertidumbre es la validación de los resultados de la medición de un modelo, independientemente de que se hayan tomado las medidas necesarias para cometer el mínimo posibles de errores. Es por esto que resulta necesario hacer referencia a algunos elementos de la teoría de errores, ya que estos conceptos (error e incertidumbre) están muy vinculados, aunque es incorrecto llamarle a la incertidumbre error y viceversa.

El término incertidumbre enuncia la falta de certeza, siendo esta el conocimiento seguro y claro de algo. Las situaciones que sugieren incertidumbre, son generalmente.

- Cuando los hechos o datos pueden no ser conocidos con exactitud (por ejemplo, un paciente puede no estar seguro de haber tenido fiebre la noche pasada), esto trae consigo subjetividad, imprecisión, errores, datos ausentes.
- Cuando el conocimiento no es determinista. Por ejemplo, las relaciones entre enfermedades y síntomas; un mismo conjunto de síntomas puede estar asociado a varias enfermedades.

Concepto de la incertidumbre desde un punto de vista estadístico: es el intervalo de confianza estadístico dentro del cual se tiene una alta probabilidad de que se encuentre el valor convencionalmente verdadero.

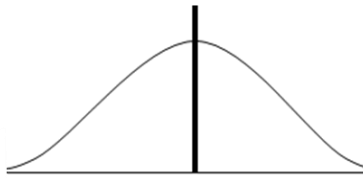


Figura 1. Intervalo de confianza estadístico.

Concepto normalizado: la incertidumbre es un parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos al mensurando. El concepto es válido siempre y cuando el proceso de medición esté normalizado. Esto significa que siempre se mide igual. Por lo tanto, los errores aleatorios se presentan de la misma forma. Lo que permite establecer un modelo matemático que describa su posible comportamiento.

Consecuencias:

Generalmente, cuando un método está normalizado la población de los posibles resultados de la medición de un mismo mensurando se comportan semejante a una distribución de frecuencias simétrica centrada. Por lo tanto, los modelos establecidos conforme la teoría de la propagación de las incertidumbres, teorema del límite central y teoría de distribuciones de probabilidad normal (Gaussiana) se pueden aplicar.

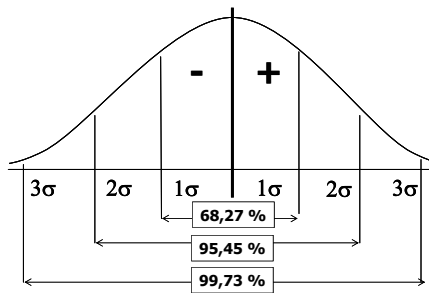


Figura 2. Distribución de probabilidad normal (Gaussiana).

Se tiene dispersión por los errores.

Sin embargo, existe la posibilidad de que la población de los posibles resultados de un proceso de medición normalizado presente una distribución sesgada. En este caso, se tendrán que desarrollar modelos y/o metodologías especiales para continuar con el proceso de evaluación.

Error:

Los errores son objetivos.

La incertidumbre tiene un grado de subjetividad.

El análisis de las variables que están implicadas en un proceso de medición permite detectar un sin número de factores que intervienen directamente al efectuarla. Todos estos factores provocan un cierto grado de desviación  $D$ , en la estimación del valor del mensurando debido al desconocimiento o a la falta de control de la influencia de estos factores en el proceso de medición. En otras palabras, la desviación que existe entre el valor obtenido y el valor convencionalmente verdadero se llama error.

Los errores aleatorios son las perturbaciones que no afectan siempre en la misma forma en las mediciones. Son la suma de un gran número de pequeñas desviaciones, las cuales tienen igual probabilidad de ser positivas o negativas, que originan que se asignen diferentes valores como resultado de una misma medición que se repite.

Incertidumbre normal: es la incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación normal.

$$u = \sigma$$

Este valor representa los errores aleatorios que pueden asociarse al resultado de la medición.

Concepto incertidumbre: se debe a errores aleatorios de causas comunes presentes en el momento en que se realiza la medición, más todos aquellos que se heredan por otras causas. Tales como:

- Trazabilidad de los materiales de referencia,
- Errores instrumentales.
- Correcciones, etc.

Si la incertidumbre  $U_m$  de la medición debida a los errores aleatorios que suceden durante la medición más los heredados por trazabilidad  $u$  o otras fuentes de error es menor o igual a la máxima incertidumbre  $U_r$  requerida por el cliente al nivel de confianza establecido.

$$U_m \leq U_r$$

Se dice que la medición es exacta.

Existe un método denominado: “Guía para la expresión de incertidumbre en mediciones” (GUM) que permite cuantificar este intervalo. Fue creado por ISO/BIPM/IEC.

El método presentado por ISO está basado en la Recomendación INC-1 (1980) del Grupo de Trabajo para la Expresión de Incertidumbres que fue presentado en 1981 por la BIPM en respuesta a la solicitud del CIPM.

GUM. Características.

- Es universal.
- Es internamente consistente.
- Es transferible.

GUM. Incertidumbre normal.

Es la incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación normal.

GUM. Métodos de estimación.

Bases:

La incertidumbre del resultado de una medición generalmente se forma de varias componentes que son agrupadas en dos categorías que dependen de la forma en que se evalúan:

Tipo A

Tipo B

Método de evaluación de incertidumbre tipo A:

Método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones. Los componentes estimados por el método tipo A se determinan mediante la estimación de la varianza como desviación normal experimental, tomando una muestra de la población de los posibles resultados y sus grados de libertad asociados. En el caso de que existan covarianzas entre los componentes es necesario considerar su valor.

## $\sigma$

Método de evaluación de incertidumbre tipo B:

Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones. Los componentes estimados por el método tipo B se determinan mediante la suposición de valores que pueden ser considerados como aproximaciones de las varianzas reales correspondientes. Estas cantidades supuestas se manejan como desviaciones normales de la población. En el caso de que existan covarianzas entre los componentes es necesario considerar su valor.

## $e/k$

Cuando se presenta un informe detallado de la estimación de la incertidumbre, éste debe contener una lista completa de los componentes individuales que integran la incertidumbre, indicando para cada caso el método A o B que se utilizó para su estimación.

Incertidumbre combinada. Bases.

La incertidumbre combinada total se obtiene mediante la suma de las componentes utilizando el método normal de combinación de varianzas. El resultado final se expresa como una desviación normal.

Incertidumbre normal combinada:

La incertidumbre normal del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, es igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo estos términos las varianzas y covarianzas de estas otras magnitudes ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con respecto a los cambios de estas magnitudes

Incertidumbre normal combinada:



$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{dy}{dx_i} u_{(x_i)} \right)^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{dy}{dx_i} \frac{dy}{dx_j} u_{(x_i)} u_{(x_j)} r_{i,j}}$$

Figura 3. Incertidumbre normal combinada.

Incertidumbre expandida:

Si para una aplicación particular se requiere expandir la incertidumbre combinada para mejorar su nivel de confianza, el factor multiplicativo utilizado debe especificarse.

Factor de cobertura:

Factor numérico usado como multiplicador de la incertidumbre normal combinada con el propósito de obtener una incertidumbre expandida. Si la función de densidad es simétrica centrada, se puede estimar como:

$K=t(\%,v)$

Cantidad que define un intervalo alrededor de una medición dentro del cual puede esperarse que se encuentre una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando.

$U= k \cdot u_c$

### 1.3.1 Tipos de Incertidumbre:

- 1) El determinismo: es la no existencia o consideración de incertidumbre.
- 2) La aleatoriedad: cuando los posibles eventos resultantes de un experimento son conocidos, por ejemplo en el lanzamiento de un dado o de una moneda. También aparece en situaciones de conflicto como en el caso de una afirmación que puede ser verdadera o farsa.
- 3) La ambigüedad o no especificidad: la ambigüedad proviene de la existencia de diferentes significados de una palabra o de una expresión. En este caso los eventos no están especificados o definidos claramente. Corresponde a la falta de información y se da cuando existe una relación de uno a muchos.
- 4) La vaguedad: la vaguedad hace imposible establecer la verdad o falsedad de una afirmación.

Difiere en general de la ambigüedad en que esta última envuelve diferentes significados incompatibles y puede resolverse con mayor información. Una mayor cantidad de información no ayuda en general a resolver el problema de vaguedad como sí sucede en el caso de la ambigüedad.

5) La confusión: es un tipo de incertidumbre de conflicto, que reúne características tanto ambiguas como vagas.

### **1.3.2 Fuentes de Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.**

La presencia de incertidumbre en los sistemas de razonamiento es causada por varias fuentes, entre ellas se pueden mencionar:

1) Imprecisiones en la definición de los conceptos y sus relaciones que integran el conocimiento sobre el dominio de aplicación. Ejemplo: en la BC se puede ver como que las reglas de producción son inciertas.

2) Imprecisiones y pobre seguridad de los instrumentos usados para hacer las observaciones. Ejemplo: viene dada por la inseguridad de los valores de certeza como medida subjetiva.

3) Imprecisiones del lenguaje de representación en el cual se trasmite la información. Ejemplo: la frase “casi siempre” en la regla “Si la paciente presenta trichomonas vaginales, entonces, casi siempre, se presenta la enfermedad trichomoniasis.”

4) Falta de idoneidad de un formalismo para representar cierta clase de conocimiento. Ejemplo: Si la paciente presenta células levaduriformes y su ph vaginal es menor que 4, entonces puede tener la enfermedad candidiasis vulvovaginal.

5) Agregación de información desde múltiples fuentes. Ejemplo: puede ser la opinión de experto en ginecología.

6) Falta de seguridad. Ejemplo: si la variable proporción de la secreción que presenta la paciente pertenece al conjunto de la proporción escasa con una certeza total, o si la pertenencia es parcial.

7) El mundo relevante es realmente aleatorio. Ejemplo: el aumento de estrés en una paciente, la alteración de su ph vaginal.

8) El mundo relevante no es aleatorio dada la suficiente cantidad de datos, pero nuestro programa no siempre tendrá acceso a todos esos datos. Por ejemplo, la probabilidad de de que exista vaginosis bacteriana si se conoce que el ph vaginal es 6.

#### 1.4 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas de Expertos.

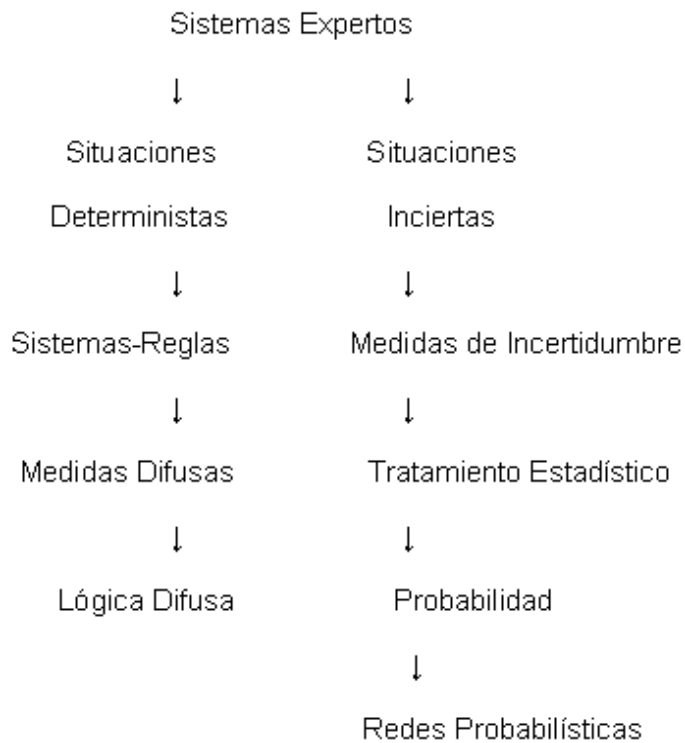


Figura 4. Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas de Expertos.

El adecuado tratamiento y modelamiento de la incertidumbre conduce a sistemas confiables y seguros. No existe, prácticamente, ningún problema de ingeniería en donde se tenga la información total sobre todas las variables y en donde esta información no tenga ningún grado de imprecisión. Un problema de ingeniería, con todos los datos y completamente determinístico no es un problema real. La principal dificultad en el tratamiento o modelaje de la incertidumbre es precisamente sus características inciertas. Tradicionalmente en los SE ha sido modelada a través de la teoría de la probabilidad, sin embargo, debido a que no es igual en todos los casos, se han formulado otras formas de manejarla, tales como la teoría de las posibilidades, la Lógica Difusa, entre otras.

A través de la inferencia se utilizan observaciones del mundo para revelar otros hechos que no se han observado o se pueden conocer efectos causales a partir de los datos observados.

El término inferencia se utiliza como sinónimo de ilación. En un sentido amplio la inferencia va desde la implicación hasta el proceso mental operativo mediante el cual, partiendo de determinada información, se llega por implicación o también por inducción a una conclusión.

Bajo incertidumbre la inferencia utiliza diferentes técnicas para el tratamiento de las características inciertas. De esta manera, es importante diferenciar el tipo de incertidumbre que se está tratando para determinar la técnica más conveniente a utilizar.

#### **1.4.1 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas Expertos mediante Lógica Difusa.**

Muchos de los sistemas basados en reglas pueden aplicarse solo a situaciones deterministas. Sin embargo, hay casos prácticos donde se presentan situaciones inciertas. Por ejemplo en el diagnóstico médico, la presencia de algunos síntomas no siempre implica la existencia de una enfermedad dada, incluso aunque haya una fuerte evidencia sobre la existencia de la misma. Por ello, es útil extender la lógica clásica para incorporar incertidumbre. Esto ha sido realizado mediante la introducción de nuevas medidas para realizar ese tratamiento. Un ejemplo de clásico es la certeza.

Estos sistemas son capaces de trabajar con información incompleta o no exacta. Se basan en la LD para realizar el análisis de toda esta información. Esta lógica se fundamenta en los denominados conjuntos difusos y un sistema de inferencia difuso basado en reglas de producción, donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos. De esta forma las reglas siempre convierten un conjunto difuso en otro.

El análisis que necesita hacer el sistema debe realizarse a partir de tener bien definidos cuales son los tipos de incertidumbre a los que se enfrenta el SE. Generalmente son la ambigüedad y la vaguedad. En estos casos donde no es posible definir de manera precisa la verdad o falsedad de una afirmación, esto se puede hacer bajo la teoría de la LD, donde se usan elementos del lenguaje que asocian grados de pertenencia de una forma natural a los eventos o procesos en cuestión. Esto se hace porque el SE deberá tratar con variables normales y variables difusas, las cuales no permiten a simple vista conocer el valor de certeza de su existencia, sino que requieren ser tratadas mediante procesos definidos para ello.

Los SE que tienen la estructura general de un sistema basado en reglas, pero que utilizan elementos de la LD para tratar la incertidumbre asociada a cada diagnóstico que realizan, se puede afirmar son bastante confiables en sus diagnósticos. La determinación de las certezas asociadas a cada una de las reglas, mediante elementos de la consulta a expertos en el caso de los de diagnóstico médico es determinante.

Lo que ocurre cuando la incertidumbre que proviene de las fuentes de la misma se combina produciendo resultados parciales y finales que tienen su propia incertidumbre, se le conoce como propagación y se utiliza durante el razonamiento. Para esto se necesita conocer los valores de certeza de todas las variables, incluyendo las difusas, que necesitan ser tratadas por otros procesos. Los resultados de las propagaciones en cada una de las reglas de producción son utilizados por la acumulación de evidencia, que es también otro proceso fundamental, pues es la vía que utiliza el SE para obtener la certeza final que está investigando.

También debe tenerse en cuenta el método de estimación de la incertidumbre que se utiliza. En este caso es el método de evaluación tipo B. Los componentes estimados por el método tipo B se determinan mediante la suposición de valores que pueden ser considerados como aproximaciones de las varianzas reales correspondientes. Estas cantidades supuestas se manejan como desviaciones normales de la población.

#### **1.4.2 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas de Expertos mediante Redes Probabilísticas.**

Los sistemas basados en probabilidad son capaces de tratar situaciones que sugieran incertidumbre, que generalmente en estos sistemas son de tipo aleatorio, desde el punto objetivista de la probabilidad. Todo esto posibilita en muchas ocasiones modelar estos problemas asignando probabilidades a los distintos eventos a través de la frecuencia relativa y el análisis estadístico; estos posibles resultados están claramente definidos y de esta manera es posible obtener una medida muy concreta de la probabilidad de que esos eventos ocurran.

El método de estimación de la incertidumbre que se utiliza es el método de evaluación tipo A, que se usa para evaluarla, mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones. Los componentes estimados por el método tipo A se determinan mediante la estimación de la varianza como desviación normal experimental, tomando una muestra de la población de los posibles resultados y sus grados de libertad asociados.

El proceso de determinación de la incertidumbre en estos SE no es igual que en los basados en reglas que introducen la certeza. Generalmente un sistema probabilístico requiere de una base de datos para interactuar con las probabilidades. Su funcionamiento se basa en las RP.

Las RB son un tipo de RP y son imprescindibles para el análisis de los SE probabilísticos. Utilizan el teorema conocido como la probabilidad de las causas, que se basa en que la presencia de un fenómeno que podemos llamar  $x$ , ocurre como efecto de una de las posibles causas mutuamente excluyentes. Esta aplicación del teorema de Bayes ofrece potencialmente un método exacto para la probabilidad de enfermedades basadas en la observación y datos de frecuencia. Dichos análisis requieren de grandes bases de datos imposibles de manejar sin medios cibernéticos. Esta es la ayuda que recíprocamente se obtiene de las computadoras al pensamiento médico y que justifica la utilización del tiempo en el suministro de bloques de información previamente elaboradas. En estos SE no se trata las variables difusas, sin embargo, las bases de datos ofrecen un soporte fundamental, porque guardan la probabilidad de todas las posibles relaciones entre variables. Debe destacarse que los sistemas probabilísticos son los más utilizados para la ayuda en diagnósticos médicos.

El proceso de inferencia se realiza mediante la inferencia bayesiana, que es un tipo de inferencia estadística en la que las evidencias u observaciones se emplean para actualizar o inferir la probabilidad de que una hipótesis pueda ser cierta.

### **1.5 El Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.**

El Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales se comenzó a construir hace aproximadamente un año y 6 meses en un trabajo de diploma que culminó con la creación de una BC, que está conformada por la base de hechos y la base de reglas. Sin embargo el resto de los elementos que conforman el sistema de producción no han sido implementados aún, es por ello que este SE no está completo.

Se utilizó el lenguaje Prolog en su versión LPA WinProlog para representar la BC y la máquina de inferencia de prolog como estrategia de control.

La BC consta de 220 reglas las cuales relacionan 24 hechos dinámicos entrados por teclado, está diseñada para que el sistema identifique tres enfermedades: la Candidiasis Vulvovaginal, la Trichomoniasis y la Vaginitis Bacteriana. Cada uno de los síntomas y signos que sugieren la

presencia de estas enfermedades están representados en las reglas definidas. La metodología IDEAL fue la usada para el desarrollo del sistema.

El diagnóstico se realiza a partir de un conjunto de preguntas que son presentadas por el sistema a los usuarios. La BC creada unido a un conjunto de hechos dinámicos implementados y el motor de Inferencia de Prolog, permitirá realizar el diagnóstico médico. El sistema no hace un tratamiento de la incertidumbre, se limita a proponer un método de la Lógica Difusa que puede ser utilizado. El método de Hajek.

Durante la fase de Adquisición del Conocimiento se realizaron una serie de encuestas que enriquecieron el conocimiento educido de los expertos a través de entrevistas realizadas a los mismos, que permitieron seleccionar las enfermedades cérvico-vaginales que identifica el sistema así como el conjunto de síntomas y signos asociados a estas enfermedades.

Su objetivo principal es facilitar el diagnóstico clínico de las sepsis vaginales en féminas de la UCI. En el centro médico de la universidad donde se encuentra la consulta de ginecología solo se cuenta con una especialista, por lo que el diagnóstico de mujeres con estas afecciones se dificulta cada día más, partiendo de que cada vez se incrementan más las afectadas. A continuación se muestra un diagrama que ilustra como normalmente el especialista hace el diagnóstico médico de estas enfermedades.

Esta investigación hace referencia al trabajo de diploma mencionado y se centra en la determinación de la incertidumbre en la BC obtenida en el mismo. Por esto tributará cualitativamente al sistema mencionado, al proporcionarle un tratamiento de la incertidumbre que anteriormente no tenía, por lo se puede afirmar que el SE será más confiable.

## **1.6 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.**

### **1.6.1 Método de Hajek.**

Petr Hajek, matemático checo, presentó en los años 80 una Teoría que permitía darle una base común a los diferentes modelos de tratar la incertidumbre que se venían trabajando. De esta forma, se puede decir que la Teoría de Hajek es una generalización de las demás teorías, quedando las otras como casos particulares de esta. Hajek supone que la certidumbre es un elemento de un conjunto ordenado y continuo que tiene dos elementos externos: la certeza absoluta de la presencia de un hecho y la certeza absoluta de su ausencia.

### 1.6.2 Elementos del modelo de Hajek.

#### Negación:

La negación de un verdadero absoluto (1) da como resultado (-1) que es el falso absoluto y viceversa.

#### Conjunción:

Es un criterio pesimista que intenta aumentar la seguridad de la decisión.

Aquí quedan los casos extremos como casos particulares. Por ejemplo, la conjunción entre un V (1) y un F (-1) da como resultado F (-1, mínimo).

#### Disyunción:

Aquí vuelven a quedar los casos extremos como casos particulares. Por ejemplo, la disyunción entre un V (1) y un F (-1) da como resultado V (1, que es el máximo de ambos).

### 1.6.3 T-Norma y S-Norma: Referencia a la Teoría de Hajek.

#### Conceptos de CTR y GLOB:

CTR: Contribución de certezas en reglas con antecedentes. Los antecedentes de las reglas pueden ser o no compuestos.

GLOB: Global o acumulación de evidencias por la contribución de varias reglas (GLOB).

Según Hajek la función para determinar la conjunción y CTR es  $\min(x,y)$ , y para determinar la disyunción y el GLOB es  $\max(x,y)$ , coincidiendo con el primer par T-S de las T-normas y las S-normas (Mínimo-Máximo).

#### 1.6.4 Características definidas por Hajek para función Global GLOB (FC1, FC2):

- $GLOB(FC1,FC2)=GLOB(FC2,FC1)$
- $GLOB(FC1,FC2,FC3)=GLOB(FC1,GLOB(FC2,FC3))$   
 $= GLOB(GLOB(FC1,FC2),FC3)$
- $GLOB(FC1,FC2)$  está en  $[FC2, 1]$  si  $0 < FC1 \leq FC2$   $GLOB(FC1,FC2)$  está en  $[-1, FC2]$  si  $FC2 \leq FC1 < 0$
- $GLOB(FC1,FC2)$  está en  $[0, FC2]$  si  $FC1 < 0 < FC2, |FC1| < |FC2|$
- $GLOB(FC1,FC2)$  está en  $[FC1, 0]$  si  $FC1 < 0 < FC2, |FC1| > |FC2|$
- $GLOB(FC1,FC2) = 0$  si  $FC2 = -FC1, |FC1| < 1$
- $GLOB(FC1,FC2) = FC1$  si  $FC2 = 0$



- $\text{GLOB}(\text{FC1}, \text{FC2}) = 1$  si  $\text{FC1} = 1$  ó  $\text{FC2} = 1$
- $\text{GLOB}(\text{FC1}, \text{FC2}) = -1$  si  $\text{FC1} = -1$  ó  $\text{FC2} = -1$
- $\text{GLOB}(\text{FC1}, \text{FC2}) = \text{Indefinido}$  si  $\text{FC1} = 1, \text{FC2} = -1$

## **CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE. LÓGICA DIFUSA Y REDES PROBABILÍSTICAS.**

### **2.1 Inicios de la Lógica Difusa.**

Esta simple idea nació en un artículo de Lotfi A. Zadeh publicado en 1965 y titulado "Fuzzy Sets" (Conjuntos Difusos). La LD permite representar de forma matemática conceptos o conjuntos imprecisos, tales como días fríos, meses calurosos, personas altas, salarios bajos, guisos con mucho condimento, o profesores poco valorados, por solo mencionar algunos ejemplos. Pero hay que tener en cuenta que la idea en sí, de que las cosas son blancas o negras no es correcta, sino que existen infinitos matices de grises. Esto viene ya desde la época de los primeros grandes filósofos como Platón.

Posteriormente a ellos, otros grandes pensadores como David Hume o Kant apoyaban esta idea manteniendo que el razonamiento venía dado por las observaciones, de las que somos testigos a lo largo de nuestra vida y la detección de algunos principios contradictorios en la lógica clásica.

Tras la publicación de Lotfi A. Zadeh, se comenzó rápidamente a usar la LD en distintas aplicaciones prácticas, llegando a su máximo auge a principios de los años 90, y continuando éste hasta la época actual.

### **2.2 Introducción a la Lógica Difusa.**

La LD permite manejar información vaga o de difícil especificación. Es entonces posible con la LD gobernar un sistema por medio de reglas de 'sentido común' las cuales se refieren a cantidades indefinidas.

Se define como un sistema matemático que modela funciones no lineales, que convierte unas entradas en salidas acordes con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado. En cierto nivel, esta lógica puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas de un lenguaje natural a un lenguaje matemático formal.

Se fundamenta en los denominados conjuntos difusos y un sistema de inferencia difuso basado en reglas de producción de la forma "si P entonces h" o " $e \rightarrow h$ ", donde los valores lingüísticos de

la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos, es así como las reglas siempre convierten un conjunto difuso en otro.

La LD o borrosa es un tipo de lógica, que se caracteriza por querer cuantificar la incertidumbre: si  $p$  es una proposición, se le puede asociar un número  $v(p)$  en el intervalo  $[0,1]$  tal que:

1. Si  $v(p) = 0$ ,  $p$  es falso.
2. Si  $v(p) = 1$ ,  $p$  es verdadero.
3. La veracidad de  $p$  aumenta con  $v(p)$ .

Salta a la vista la semejanza con la teoría de la probabilidad, aunque la LD y esta teoría persiguen fines distintos.

### **2.2.1 Conjuntos difusos.**

Conjunto difuso: Dado  $X$  como universo del discurso, con  $x$  elementos. Un conjunto difuso  $A$  de  $X$  se caracteriza por la función de pertenencia que asocia cada elemento  $x$  con un grado  $A$  de pertenencia.

En contraste con la teoría de probabilidades, que asigna una probabilidad a un elemento dado sobre la base de las frecuencias del evento, la LD asigna valores al evento sobre la base de la función de pertenencia al conjunto.

### **2.2.2 Definición de conjunto difuso.**

La Teoría de Conjuntos Difusos puede utilizarse para representar expresiones lingüísticas que se utilizan para describir conjuntos o algoritmos. Los conjuntos difusos son capaces de captar por sí mismos la vaguedad lingüística de palabras y frases comúnmente aceptadas, como "gato pardo" o "ligero cambio". La habilidad humana de comunicarse mediante definiciones vagas o inciertas es un atributo importante de la inteligencia.

Sea  $F$  un conjunto difuso definido sobre el universo  $U$ .

$F = ( u, M(u) )$  para todo  $u$  que pertenece a  $U$

que indica que  $F$  está formado por todos los pares ordenados " $u$ " y el resultado de la función de pertenencia para todo elemento " $u$ " dentro del universo de discurso " $U$ ". La función de

pertenencia para cada elemento del conjunto difuso (etiqueta) viene dada de cualquiera de las maneras vistas antes.

### **2.2.3 Operaciones sobre conjuntos difusos.**

Las operaciones lógicas que se pueden establecer entre conjuntos difusos son la intersección (conjunción), la unión (disyunción) y el complemento (negación), igual que las que usamos en lógica bivalente o clásica. Las operaciones con conjuntos difusos nos darán como resultado otros conjuntos también difusos. Dado que la LD es una extensión de la bivalente o clásica, las operaciones que permiten interceptar o unir conjuntos difusos son también aplicables a la lógica bivalente o clásica obteniendo idénticos resultados.

La Teoría Difusa está formulada casi siempre por conjuntos y por eso se habla muchas veces en términos de las operaciones de conjuntos (intersección, unión y el complemento). Sin embargo, estos términos se nombran distintos en la lógica o en la teoría de la incertidumbre (conjunción, disyunción y negación).

Hay muchas maneras de definir estas operaciones. Cualquier operación que cumpla las restricciones de una T-Norma puede ser usada para interceptar, igual que cualquier S-Norma puede ser usada para unir conjuntos difusos. Las T-Normas especifican un conjunto de condiciones que deben reunir aquellas operaciones que deseen ser usadas para interceptar conjuntos, mientras que las S-Normas hacen lo propio para las uniones.

### **2.2.4 La Teoría para el cálculo de la certeza.**

La teoría de Hajek es una generalización de las teorías que surgieron basadas en la certeza de fórmulas, cada una con un método específico para calcular certezas de fórmulas compuestas (A and B, or, not). Estas teorías fueron usadas para la construcción de SE como MYCIN, PROSPECTOR.

En particular define las propiedades que deben cumplir las fórmulas NEG, CONJ, DISJ, CTR y GLOB para poder ser usadas en el cálculo de la certeza de las expresiones lógicas compuestas (negación, conjunción, disyunción respectivamente) y en el cálculo de la certeza de fórmulas que dependen de otras mediante implicaciones (contribución de una regla y de varias reglas respectivamente),

**Negación:** el proceso de negar certezas o de negación de la certeza, se define como un proceso simétrico alrededor del centro del intervalo definido de certezas. En el caso en que el centro está en 0, el proceso de negar consiste simplemente en calcular el opuesto del valor actual, de esta manera, el proceso de negación queda de la manera siguiente:

$$\bullet \text{fc}(\neg A) = \text{NEG}(\text{fc}(A)) = - \text{fc}(A)$$

**Conjunción:** el método más frecuente para seleccionar el valor único para una expresión formada por una conjunción de hechos simples es tomar la menor de las certidumbres de estos hechos. Por ejemplo, suponiendo que las certidumbres sobre P, Q y R durante la consulta son: 0.5; 0.8; 0.2 respectivamente, se tomará 0.2 para caracterizar a la conjunción  $P \wedge Q \wedge R$ . Si fuesen 0.5; -0.8; y 0.2, la certidumbre de la conjunción es -0.8, ya que hay certeza de que Q está ausente y es falso que se cumpla la conjunción de los tres valores. La forma de escoger el valor de la conjunción es escogiendo la menor de las certidumbres que la forman, es un criterio pesimista que intenta aumentar la seguridad de la decisión.

$$\bullet \text{FC}(A \wedge B) = \text{CONJ}(\text{FC}(A), \text{FC}(B)) = \min(\text{FC}(A), \text{FC}(B))$$

**Disyunción:** en el caso de las disyunciones, la selección se hace tomando el valor mayor, puesto que si cualquiera de ellas contribuye entonces se supone la mejor condición. Esto se interpreta correctamente si se entiende que se pregunta por la disyunción de varios valores, se está preguntando si al menos uno de ellos se cumple, por eso tiene sentido tomar el mayor de los valores de los hechos combinados en la disyunción.

Por tanto, para la disyunción de dos valores se asume usar el máximo entre ambos valores, quedando:

$$\bullet \text{FC}(A \vee B) = \text{DISY}(\text{FC}(A), \text{FC}(B)) = \max(\text{FC}(A), \text{FC}(B))$$

#### **CTR o contribución del antecedente al consecuente.**

Una regla definida de la forma:  $e \rightarrow h$  con una certidumbre  $\text{FC}(h/e)$ , se puede decir que es una regla con antecedente simple y que tiene una certidumbre  $\text{FC}(h/e)$  o sea que la certeza de que la hipótesis h se cumple se debe a la certeza de que el antecedente se cumple. Cuando el antecedente es simple el CTR se calcula por la fórmula correspondiente según Hajek.

Sin embargo las reglas pueden tener antecedentes compuestos, por ejemplo:

e or p  $\rightarrow$  h con  $FC(h/e \text{ or } h/p)$

En este caso la premisa de la regla contiene varios elementos, sin embargo se necesita determinar un solo antecedente resultante. Para esto, se analiza que elemento del modelo de Hajek se necesita utilizar (conjunción, disyunción, negación) para obtener un único antecedente y poder determinar el CTR de la regla.

El modelo de propagación de certidumbres de antecedente a consecuente se puede tomar como una metáfora útil de la regla de inferencia llamada Modus Ponens, perteneciente a la lógica formal.

En efecto, esa regla establece que si conoce:

Primero, que  $A \rightarrow B$

Segundo, que A es Verdadero

Entonces se puede concluir:

Que B es verdadero.

El modelo de certidumbre permite la siguiente metáfora de la regla de Modus Ponens, si se conoce:

Primero que la certeza absoluta de la presencia de A sugiere la presencia de B con certidumbre W, es decir  $A \rightarrow B$  con  $FC(B/A)$

Y segundo que, en un caso dado la certidumbre sobre A es  $FC(A)$

Entonces se puede concluir:

Que la certidumbre sobre B en este caso particular estará dado por  $CTR(FC(A), FC(B/A))$ .

Un aporte importante de Hajek fue generalizar las características de cualquier función de Contribución CTR, que son las siguientes:

$CTR(FC(e), FC(h/e))$ : pertenece  $[0, FC(h/e)]$  si  $FC(e) > 0$  y  $FC(h/e) > 0$   
pertenece  $[FC(h/e), 0]$  si  $FC(e) > 0$  y  $FC(h/e) \leq 0$   
= 0 si  $FC(e) \leq 0$

Cuando el antecedente está ausente, no se podrá decir nada de su hipótesis. Sin embargo cuando se conoce que está presente o sea que se cumple, se puede decir directamente que la hipótesis se cumple y por tanto se cumple la regla. Por otro lado si se conoce que el valor de certeza del antecedente está entre 0 y 1, entonces según Hajek se deben aplicar fórmulas específicas que pueden ser la propuesta por Mycin o la que propone la Teoría Difusa.

Lo anterior Hajek lo resume así:

$CTR(FC(e), FC(h/e)) = 0$  si  $FC(e) \leq 0$

$$\text{CTR}(\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)) = \text{FC}(h/e) \quad \text{si } \text{FC}(e) = 1$$

Si  $0 < \text{FC}(e) < 1$ , es decir cuando  $\text{FC}(e)$  está en  $]0, 1[$  entonces

Mycin sugiere la siguiente fórmula:

$$\text{CTR}(\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)) = \text{FC}(e) * \text{FC}(h/e)$$

La Teoría Difusa sugiere la siguiente fórmula:

$$\text{CTR}(\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)) = \min(\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)), \quad \text{si } \text{FC}(h/e) \geq 0$$

$$\text{CTR}(\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)) = \max(-\text{FC}(e), \text{FC}(h/e)), \quad \text{si } \text{FC}(h/e) < 0$$

De forma general está es la forma que propone Hajek para determinar el CTR de una regla.

### **Global o acumulación de evidencias por la contribución de varias reglas.**

Cuando varias reglas tienen el mismo consecuente, por ejemplo:

A  $\rightarrow$  B

C  $\rightarrow$  B

Se debe calcular individualmente  $\text{FC}(B/A) = \text{FC}_1$  y de  $\text{FC}(B/C) = \text{FC}_2$ , que normalmente se obtienen de cuando se analiza una regla simple. Sin embargo el problema viene dado por:

¿Cómo encontrar el  $\text{FC}(B)$  o sea el  $\text{FC}$  de B con la influencia de lo calculado en cada regla?

El uso de la función GLOB permite calcular esta acumulación de influencias por las reglas definidas, y se tienen como caso particulares de la función GLOB las siguientes:

$$\text{MYCIN } \text{GLOB}_1(\text{FC}_1, \text{FC}_2) = \text{FC}_1 + \text{FC}_2 - \text{FC}_1 * \text{FC}_2 \quad \text{para } \text{FC}_1 > 0, \text{FC}_2 > 0$$

$$\text{GLOB}_1(\text{FC}_1, \text{FC}_2) = \text{FC}_1 + \text{FC}_2 + \text{FC}_1 * \text{FC}_2 \quad \text{para } \text{FC}_1 < 0, \text{FC}_2 < 0$$

$$(\text{FC}_1 + \text{FC}_2) / (1 - \min(|\text{FC}_1|, |\text{FC}_2|)), \quad \text{en otro caso.}$$

$$\text{PROSPECTOR } \text{GLOB}_2(\text{FC}_1, \text{FC}_2) = (\text{FC}_1 + \text{FC}_2) / (1 + \text{FC}_1 * \text{FC}_2)$$

para cualquier valor de  $\text{FC}_1, \text{FC}_2$  en  $[-1, 1]$

$$\text{DIFUSA } \text{GLOB}_3(\text{FC}_1, \text{FC}_2) = \max(\text{FC}_1, \text{FC}_2) \quad \text{para } \text{FC}_1 > 0, \text{FC}_2 > 0$$

Las características definidas por Hajek para la función Global GLOB ( $\text{FC}_1, \text{FC}_2$ ) fueron analizadas en el capítulo anterior, es por ello que no se citan aquí.

### 2.2.5 T-normas y S-normas de la Lógica Difusa.

La tabla siguiente muestra las funciones posibles a usar como T-Norma y S-Norma. Puede observarse que entre las funciones T-normas definidas están las definidas por Hajek para CTR (\*) y CONJ (min). Por su parte, entre las S-normas están las definidas por Hajek para DISY (max) y GLOB (Prospector).

T-norma(x, y)	S-norma(x, y)	Nombre del par T-S
$\min(x, y)$	$\max(x, y)$	Mínimo-Máximo
$x * y$	$x + y - x*y$	Probabilístico
$\max(0, x+y-1)$	$\min(1, x+y)$	Lukasiewicz

Tabla 2.1 T-normas y S-normas de la Lógica Difusa.

En el modelo difuso, las funciones anteriores se usan de la manera expresada en la tabla siguiente. Esto quiere decir que para realizar los procesos de CTR y CONJ se puede usar cualquiera de las funciones T-norma, mientras que para los procesos de DISY y GLOB se puede usar cualquiera de las funciones S-norma.

Para la NEG se debe usar la función  $NEG(X) = 1 - X$ .

T-norma(x, y)	S-norma(x, y)
CTR y CONJ	DISY y GLOBAL

Tabla 2.2 Relación T-norma CTR-CONJ y relación S-norma DISY-GLOBAL.

### 2.2.6 Resumen del modelo difuso para la propagación de la certeza.

Se resume desde el punto de vista de Hajek el modelo difuso para el proceso de propagación de certeza.

Negación:

- $NEG(X) = 1 - X$

Conjunción:

$CONJ(X,Y) = T\text{-norma}(X,Y)$  usando por tanto cualquiera de las T-normas:



- $\text{CONJ}(X,Y) = \min(x, y)$
- $\text{CONJ}(X,Y) = x * y$
- $\text{CONJ}(X,Y) = \max(0, x+y-1)$

Disyunción:

$\text{DISY}(X,Y) = \text{S-norma}(X,Y)$  usando por tanto cualquiera de las S-normas, es decir:

- $\text{DISY}(X,Y) = \max(x, y)$
- $\text{DISY}(X,Y) = x + y - x*y$
- $\text{DISY}(X,Y) = \min(1, x+y)$

Contribución (propagación de certeza de antecedente a consecuente)

$\text{CTR}(X,Y) = \text{T-norma}(X,Y)$  usando por tanto cualquiera de las T-normas:

- $\text{CTR}(X,Y) = \min(x, y)$
- $\text{CTR}(X,Y) = x * y$
- $\text{CTR}(X,Y) = \max(0, x+y-1)$

Global (acumulación de las evidencias propagadas por varias reglas)

$\text{GLOB}(X,Y) = \text{S-norma}(X,Y)$  usando por tanto cualquiera de las S-normas:

- $\text{GLOB}(X,Y) = \max(x, y)$
- $\text{GLOB}(X,Y) = x + y - x*y$
- $\text{GLOB}(X,Y) = \min(1, x+y)$

Aunque pueden escogerse diferentes funciones, se sugiere que se escojan como un paquete.

Por ejemplo, se puede usar el primer par (Mínimo-Máximo):

$$\text{T-norma}(x, y) = \min(x, y) \qquad \text{S-norma}(x, y) = \max(x, y)$$

Si se hace esto, entonces se debe usar la T-norma tanto para CTR como para CONJ, y usar la S-norma tanto para DISY como para GLOB. Lo mismo es aplicable con los otros pares T-norma y S-norma (Probabilístico y de Lukasiewicz).

### 2.2.7 Conceptos fundamentales.

**VARIABLES LINGÜÍSTICAS:** básicamente, una variable lingüística constituye el concepto que se califica de forma difusa y estas son el centro de las técnicas de modelado difuso. Una variable lingüística es el nombre de uno o varios conjuntos difusos.

**ETIQUETAS:** básicamente, una etiqueta constituye una de las diferentes clasificaciones que se efectúan sobre la variable lingüística. Cada etiqueta se asocia por tanto a una variable lingüística y tendrá un conjunto difuso asociado.

**UNIVERSO DE DISCURSO:** básicamente constituye el rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística. Generalmente, este universo del discurso puede venir dado por el rango de valores que toma una variable numérica para la variable lingüística.

**FUNCIÓN DE PERTENENCIA:** la función de pertenencia es un elemento esencial en la definición de los conjuntos difusos. Asocia a cada elemento de un conjunto difuso el grado con que pertenece a la etiqueta asociada. Más adelante se analizan las funciones más comunes.

**DOMINIO:** el dominio da el rango de definición de la función de pertenencia. Esta es una manera de restringir el universo del discurso de cara a cada etiqueta. Esto quiere decir, que a través de restringir el dominio para cada etiqueta, se está diciendo que los que no están en ese intervalo definido como dominio, no pertenecen a la etiqueta, y sólo se tendrán en cuenta los casos que están dentro del dominio definido.

**FUNCIONES LINGÜÍSTICAS MÁS COMUNES:** aunque en principio cualquier función sería válida para definir conjuntos difusos, en la práctica hay ciertas funciones típicas que siempre se suelen usar, tanto por la facilidad de computación que su uso conlleva como por su estructura lógica para definir su valor lingüístico asociado. Las funciones de pertenencia se nombran normalmente como  $\mu(X)$  o  $M(X)$ .

**FUNCIÓN DE PERTENENCIA PUNTUAL:** es uno de los casos más simples. Se usa para modelar evaluaciones estrictas.

Formalmente quedaría:

$$M(X) = 1 \text{ si } X = A$$

$$M(X) = 0 \text{ si } X \neq A$$

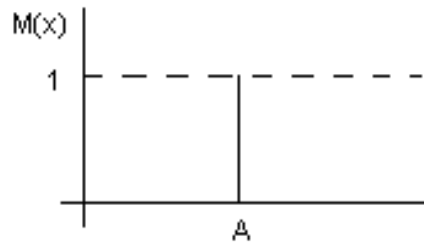


Figura 5. Función de pertenencia puntual.

**Salto escalones estrictos. Escalón estricto descendente:** esta función escalón estricto descendente se usa para modelar todos los valores menores al del escalón.

Formalmente quedaría:

$$M(X) = 1 \text{ si } X \leq \text{Umbral}$$

$$M(X) = 0 \text{ si } X > \text{Umbral}$$

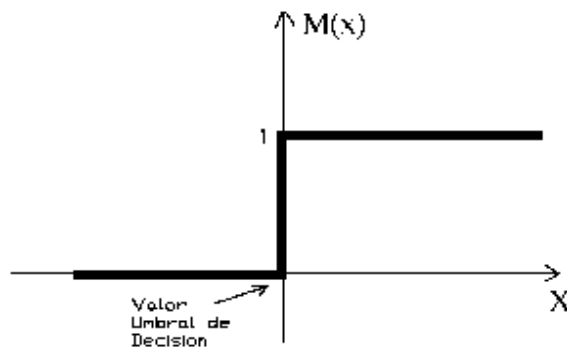


Figura 6. Escalón estricto descendente.

**Función Gamma. Escalones crecientes:** se utiliza para modelar aquellos valores que pertenecen a la etiqueta, partiendo de que esos valores son todos los que se consideran mayor que el valor que identifica que a partir de él todos los valores tienen una certeza de pertenencia a la etiqueta igual a 1. Esta función además trata los valores mayores que otro valor inferior al citado anteriormente y que sean a la vez menores que ese mismo valor, con el objetivo de determinar con que grado pertenecen a la etiqueta.

Formalmente quedarían:

$$M(X) = 0 \quad \text{si } X \leq A$$

$$M(X) = \frac{(X-A)}{(B-A)} \quad \text{si } X > A \text{ y si } X < B$$

$$M(X) = 1 \quad \text{si } X \geq B$$

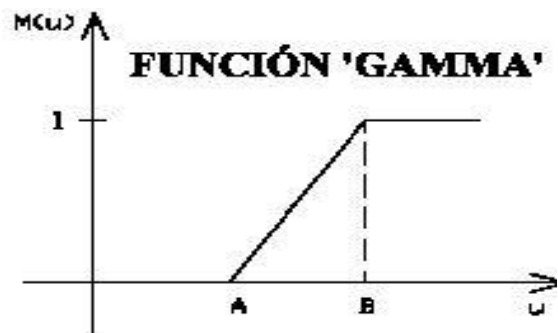


Figura 7. Función Gamma.

**Función L. Escalones decrecientes:** se utiliza para modelar aquellos valores que pertenecen a la etiqueta, partiendo de que esos valores son todos los que se consideran menor que el valor que identifica que a partir de él todos los valores tienen una certeza de pertenencia a la etiqueta igual a 1. Esta función además trata los valores menores que otro valor superior al citado anteriormente y que sean a la vez mayores que ese mismo valor, con el objetivo de determinar con que grado pertenecen a la etiqueta o lo que es lo mismo que grado entre 0 y 1 tienen de pertenencia a la etiqueta.

Formalmente quedarían:

$$\begin{aligned}
 M(X) &= 1 && \text{si } X \leq A \\
 M(X) &= (B-X)/(B-A) && \text{si } X > A \text{ y si } X < B \\
 M(X) &= 0 && \text{si } X \geq B
 \end{aligned}$$

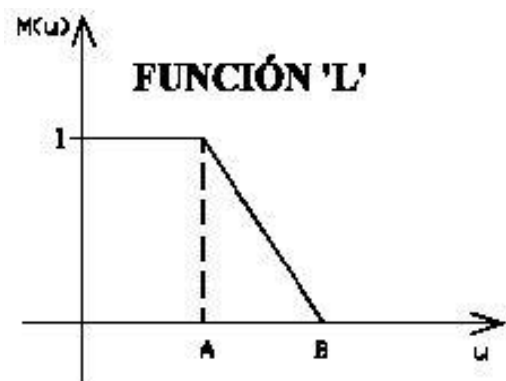


Figura 8. Función L.

**Función LAMBDA: Funciones triangulares:** se utiliza partir de tres valores definidos que permiten determinar los grados de pertenencia de todos los que se encuentren en ese rango. Se parte de que el valor del centro representa la pertenencia al conjunto con un grado igual a 1 o sea que pertenece totalmente al conjunto. Los valores restantes dentro de ese rango de pertenencia al conjunto tienen asociado un grado de pertenencia al conjunto que puede ser determinado a través de las fórmulas que propone esta función.

Formalmente quedarían:

$$\begin{aligned}
 M(X) &= 0 && \text{si } X \leq A \\
 M(X) &= (X-A)/(B-A) && \text{si } X > A \text{ y si } X \leq B \\
 M(X) &= (C-X)/(C-B) && \text{si } X > B \text{ y si } X < C \\
 M(X) &= 0 && \text{si } X \geq C
 \end{aligned}$$

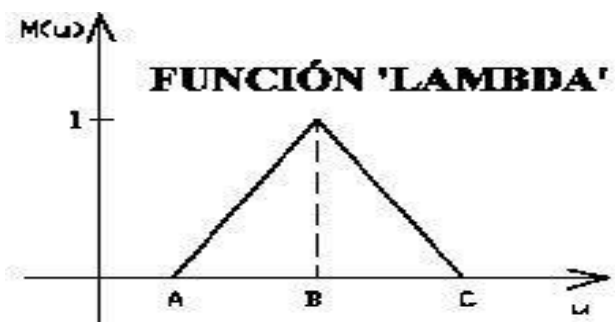


Figura 9. Función LAMBDA.

**Función Pi: Funciones trapezoidales:** estas funciones pueden verse como una extensión o generalización de las tres anteriores. Esta función se representa en el siguiente gráfico, que hace que se le de el nombre de la letra griega PI  $\Pi$  por su parecido con esta.

Formalmente quedarían:

$$\begin{aligned}
 M(X) &= 0 && \text{si } X \leq A \\
 M(X) &= (X-A)/(B-A) && \text{si } X > A \text{ y si } X < B \\
 M(X) &= 1 && \text{si } X \geq B \text{ y si } X \leq C \\
 M(X) &= (D-X)/(D-C) && \text{si } X > C \text{ y si } X < D \\
 M(X) &= 0 && \text{si } X \geq D
 \end{aligned}$$

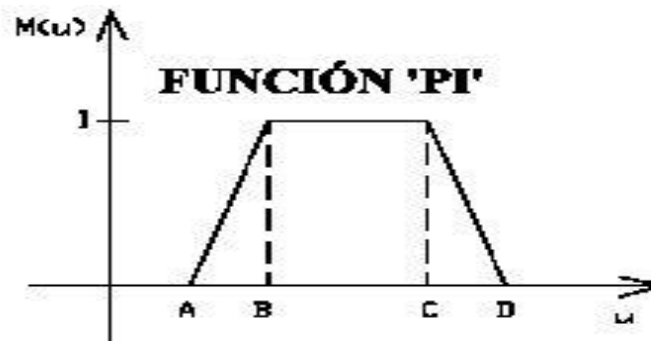


Figura 10. Función Pi.

Este tipo de funciones, normalmente se usa para las etiquetas que caracterizan los valores centrales del intervalo.

### 2.2.8 Fuzzificación de variables.

El proceso de fuzzificación que se aplica a una variable difusa consiste en determinar el grado de pertenencia del valor que dicha variable toma en un momento determinado a cada una de las etiquetas que la definen como difusa. Esos grados de pertenencia deberán ser comparados entre sí para tomar el mayor, que será usado como la certeza de la variable.

### 2.2.9 Tratamiento de la incertidumbre en un SE de diagnóstico médico basado en reglas de producción.

Un SE basado en reglas de producción es un sistema determinístico, por lo que en teoría no debe tratar situaciones que encierren incertidumbre. Sin embargo en la práctica está demostrado que no es así. Por ejemplo cuando se consulta a un paciente, este puede no estar totalmente seguro del síntoma que presenta, en ese caso nos encontramos frente a situación incierta.

Para tratar la incertidumbre en un SE de diagnóstico médico basado en reglas de producción debe introducirse al sistema un conjunto de certezas asociadas a estas reglas, que permitirán el análisis que se necesita. Estas certezas deberán ser definidas por los especialistas médicos y

deben cumplir que cada valor de certeza utilizado en el proceso, se encuentre en el rango definido entre 0 a 1. En este rango se toma el valor 1 como la certeza absoluta de que algo se cumple, mientras que el valor 0 sugiere la certeza absoluta de que no se cumple. Los valores que se encuentran entre 0 y 1 sugieren desconocimiento o lo que es lo mismo ausencia de conocimiento por parte del especialista sobre el futuro cumplimiento de la regla. Por tanto el valor de certeza dado por el especialista en una regla de producción indica que:

Si es 1: la certeza absoluta de que la regla se cumple.

Si es 0: la certeza absoluta de que la regla se no cumple

Si está entre 0 y 1: existe desconocimiento de la certeza del cumplimiento de la regla.

Además de la reglas que definen el comportamiento en el sistema, se debe tener en cuenta un conjunto de hechos, que permitirán la interacción entre el SE médico y el paciente a través de preguntas y respuestas. Estos hechos son la vía que tiene el SI para extraerle al paciente la información específica que necesita de este. Cada respuesta que da el usuario es captada y utilizada por el SE para realizar el proceso de inferencia requerido y emitir el diagnóstico.

Los sistemas basados en reglas que introducen la teoría de la incertidumbre, realizan el análisis de esta mediante la LD, la cual tiene su base en los conjuntos difusos y un sistema de inferencia difuso basado en reglas de producción. En estas reglas los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos.

En estos SE debe analizarse cuales son los tipos de incertidumbre que encierra la situación dada. Generalmente son la ambigüedad y la vaguedad, donde no es posible definir de manera precisa la verdad o falsedad de una afirmación, por lo que necesita utilizar la teoría de la LD. Esta teoría permite tratar conjuntos difusos, que a su vez usan elementos del lenguaje que asocian grados de pertenencia de una forma natural a los eventos o procesos en cuestión. Esto se hace porque el SE deberá tratar reglas que contengan antecedentes difusos, que a simple vista no permiten conocer el grado de pertenencia al conjunto.

Además de la certeza de la regla definida por el especialista, el SE debe conocer la certeza del antecedente para poder realizar el cálculo de CTR o propagación de certezas. Para este proceso deben analizarse elementos de la teoría de la incertidumbre (conjunción, disyunción, negación), porque los antecedentes compuestos necesitan analizar estos elementos para

obtener un único antecedente resultante. En una regla donde el antecedente es simple, no es necesario la utilización de los elementos de la teoría de la incertidumbre, sino que se puede realizar directamente el cálculo del CTR mediante la fórmula correspondiente según Hajek. Este proceso de cálculo se explicó con anterioridad. Pero de forma general se puede decir que consiste en determinar el mínimo valor entre el valor de la certeza del antecedente y el valor de la certeza propuesta por el especialista. El SE debe ser capaz de tratar las variables difusas que se presenten. Este tratamiento debe realizarse a través de la fuzzificación. Para el proceso se necesita realizar un profundo análisis de las funciones de pertenencia, con el objetivo de identificar para cada variable lingüística con sus respectivas etiquetas, cual es la que debe utilizarse para obtener el grado de pertenencia del valor dado por el paciente a cada etiqueta de la variable lingüística. Los valores obtenidos en el proceso de fuzzificación se comparan entre sí para seleccionar el mayor que se utilizará como la certeza de la variable, pues es necesaria para el cálculo del CTR de la regla.

El cálculo del GLOB según Hajek consiste en determinar el mayor CTR entre todos los determinados en las reglas que tienen una misma hipótesis. Este valor es la certeza final de que se cumpla esa hipótesis.

## **2.3 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las Sepsis Vaginales mediante la Lógica Difusa.**

### **2.3.1 El modelo Hajek. Justificación del método seleccionado.**

Se determinó que se usaría Hajek como método difuso porque su vía de solución era aplicable en este caso, también se tomó en consideración que era el método propuesto por los creadores de la base de conocimiento para tratar la incertidumbre.

- $CTR(FC(e), FC(h/e)) = 0$  si  $FC(e) \leq 0$
- $CTR(FC(e), FC(h/e)) = FC(h/e)$  si  $FC(e) = 1$

Si  $0 < FC(e) < 1$ , es decir cuando  $FC(e)$  está en  $]0,1[$

la Teoría Difusa sugiere la siguiente la fórmula e:

- $CTR(FC(e), FC(h/e)) = \min(FC(e), FC(h/e))$ , si  $FC(h/e) \geq 0$
- $CTR(FC(e), FC(h/e)) = \max(-FC(e), FC(h/e))$ , si  $FC(h/e) < 0$

El método seleccionado para tratar los casos en que el antecedente tiene un valor desconocido por no ser ninguno de valores extremos del intervalo considerado entre 0 y 1, fue la Teoría Difusa. Esta teoría al igual que MyCin tributa al método mínimo-máximo de las T-normas y las S-normas que propone la LD para el tratamiento de la incertidumbre. En este caso la Teoría Difusa permite devolver el valor mínimo entre todos los antecedentes que componen el antecedente compuesto o sea el CTR, necesario para el cálculo eficaz del GLOB.

Se trabajará de forma general con el par (Mínimo-Máximo) de las T-normas y las S-normas que propone la LD, de forma tal que: T-norma(x, y) = min(x, y), se utilicen para la conjunción y el CTR y las S-norma(x, y) = max(x, y), para la disyunción y el GLOB.

En Prolog el cálculo del CTR en la regla se realiza mediante la función:

```
menor(X,Y,X):-X=<Y,!.
menor(X,Y,Y):-X>Y.
ctr(CR, CAnt, CTR):- menor(CR, CAnt, CTR).
```

Esta función devuelve el menor valor de certeza entre la del antecedente y la definida por el experto.

Además de la función anterior se necesita otra que determine el mínimo valor entre todas las certezas del antecedente compuesto, esta sería:

```
menor(X,Y,X):-X=<Y,!.
menor(X,Y,Y):-X>Y.
minimo([X],X):- !.
minimo([X|L],M):- minimo(L,M1), menor(X,M1,M).
```

Una vez conocido el CTR de las reglas seleccionadas por el Prolog que responden a las respuestas que da el usuario se utiliza un método global que obtiene el mayor de todos estos CTR.

```
global(M):- findall(N, candidiasisvulvovaginal(N),L), maximo(L,M)
```

```
max(X,Y,X):- X > Y,!.
max(X,Y,Y):- X <= Y.
```



maximo([X],X):- !.

maximo([X|L],M):- maximo(L,M1), max(X,M1,M).

El resultado de este método es la certeza determinada por el SE de que la enfermedad se cumple.

### 2.3.2 Funciones utilizadas para el cálculo de CTR en el Sistema Experto.

Las funciones de pertenencia necesarias para inferir las certezas de antecedente en el SE de diagnóstico médico de las sepsis vaginales son:

1. Función de pertenencia puntual.

$$M(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \leq A \\ (X-A)/(B-A) & \text{si } X > A \text{ y si } X < B \\ 1 & \text{si } X \geq B \text{ y si } X \leq C \\ (D-X)/(D-C) & \text{si } X > C \text{ y si } X < D \\ 0 & \text{si } X \geq C \end{cases}$$

2. Función Pi:

$$M(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \leq A \\ (X-A)/(B-A) & \text{si } X > A \text{ y si } X < B \\ 1 & \text{si } X \geq B \text{ y si } X \leq C \\ (D-X)/(D-C) & \text{si } X > C \text{ y si } X < D \\ 0 & \text{si } X \geq C \end{cases}$$

3. Función Saltos escalones estrictos. Escalón estricto descendente:

$$M(X) = \begin{cases} 1 & \text{si } X \leq \text{Umbral} \\ 0 & \text{si } X > \text{Umbral} \end{cases}$$

4. Función Gamma:

$$M(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \leq A \\ (X-A)/(B-A) & \text{si } X > A \text{ y si } X < B \\ 1 & \text{si } X \geq B \end{cases}$$

Se tomaron como variables difusas en el sistema, aquellas variables que no respondían a la función puntual de pertenencia o sea que pudiesen tomar distintos valores. Las variables que se seleccionaron como difusas fueron: la proporción de la secreción, el ph vaginal, y las células guías. Las demás se trabajaron como funciones puntuales. A continuación se da una explicación detallada de cómo se realizó esto, describiendo en el caso de cada variable como se aplicó la función requerida.

1. Proporción de la secreción: la proporción de la secreción en las féminas puede presentarse de la siguiente forma: escasa, moderada, abundante. Según la definición dada por el experto para este caso la proporción de la secreción se considera escasa con certeza 1, cuando en un rango de 0 a 10 se tiene un valor entre 1 y 3. Cuando este valor está entre 5 y 6, entonces será moderada y se considera que la paciente tiene abundante secreción cuando el valor esté entre 7 y 10. Los demás valores son analizados mediante las fórmulas correspondientes.

Para el caso de la proporción escasa se definió que la función a utilizar sería la función  $P_i$ , esta función establece que cuando la paciente afirma tener en un rango de 0 a 10 un valor entre 1 y 3, se puede afirmar que tiene escasa secreción, sin embargo, puede cumplirse que la paciente diga otro valor menor 1 y que aún esté en el rango de 0 a 10, en ese caso, la función  $P_i$  permite también conocer que tan cercano de tener una secreción escasa está la paciente, y lo mismo sucede para el caso en que el valor dado por la paciente esté entre 3 y 4 .

Similar ocurre cuando la paciente afirma tener un valor entre 5 y 6, en este caso el sistema experto asume que la paciente tiene secreción en una proporción moderada, y cuando el valor está entre 3 y 4 mediante la función  $P_i$  el sistema experto deduce que tan cercano de tener secreción en una proporción moderada está la paciente. De igual forma se procede si el valor dado por la paciente está entre 6 y 6,7.

Cuando el valor está entre 7 y 10, entonces se puede afirmar que la paciente tiene secreción en abundancia y similar a los casos anteriores, si el valor no está en ese rango sino que está entre 6 y 7, según la función se puede conocer que tan cercano de abundante se encuentra. Este caso tiene una particularidad y es que se trata el valor solo en dos intervalos, en el que se cumple y en el que está cercano a cumplirse anterior a ese y no se trata el que está luego y eso está dado porque el intervalo concluye en 10. Es por ello que en este caso no se usa la misma función que se utilizó en los casos anteriores. La función utilizada aquí es la función  $\Gamma$ , según ella los valores que están entre 6 y 7 son valores que están cercanos a pertenecer a la

clasificación abundante, y asume todos los valores restantes como que pertenecen en un cien por ciento a la proporción abundante que en este caso serán los valores desde el 7 hasta el 10.

2. Ph vaginal de la muestra: el resultado del de la muestra vaginal que se le extrae a la paciente en el laboratorio, el SE lo trata mediante las funciones que se crearon para su tratamiento, se determinó que cada enfermedad se analizaría en dependencia del ph vaginal correspondiente. En el caso de la Candidiasis vulvovaginal, el ph propicio para que exista la enfermedad es cualquier valor positivo menor o igual que 4,5 y es por ello que para determinar el ph de esta enfermedad se seleccionó la función: escalón estricto descendente.

La vaginosis bacteriana por su parte establece que cualquier valor de ph que se encuentre en el rango de 5 a 6 será ideal para que exista la enfermedad, por lo tanto la función que se seleccionó en este caso fue la función  $P_i$ , ella asume que cualquier valor que esté entre 5 y 6 sugiere la presencia de la enfermedad. Similar a los dos primeros casos de la proporción de la secreción permite saber que tan cercano a ser el ph ideal está el valor dado por la prueba de laboratorio si se encuentra entre 4 y 5, o si se encuentra entre 6 y 7.

La trichomoniasis tiene un ph definido entre 6,7 y 7 según el especialista en ginecología. Se determinó utilizar la misma función que se utilizó para el ph de la vaginosis bacteriana, la función  $P_i$  que establece para este caso que para cualquier valor entre 6,7 y 7 se tendrá la certeza de que es un ph ideal para que exista esta enfermedad y para valores entre 6 y 6,7 se analizará entonces que tan cercano de ser el ph ideal está el valor o similar si es un valor entre 7 y 7,5.

3. Células Guías: son microorganismos que generalmente están presentes en pacientes que sufren de vaginosis bacteriana, habrá que analizar en que por ciento se encuentran, según la prueba de laboratorio, porque el hecho de que se presenten en la muestra en más de un 20 por ciento sugiere la presencia de la enfermedad. Por ello se determinó que la función necesaria para este caso era la función escalón estricto descendente.

Lo anterior en el Prolog se realiza de la siguiente forma:

$B=1.$

$C=3.$

$D=4.$

$M(X)=(X-A)/(B-A).$ //ESTO ES PARA CUANDO  $A<x<B.$

$M(X)=(D-X)/(D-C).$ //ESTO ES PARA CUANDO  $C<x<D.$

funcionEs(X, M):-M=0,X=<0.

funcionEs(X, M):-M=(X-1)/(1-0),X>0,X<1.  
funcionEs(X, M):-M=1,X>=1,X<=3.  
funcionEs(X, M):-M=(4-X)/(4-3),X>3,X<4.  
funcionEs(X, M):-M=0,X>=4.

%=====

A=3.  
B=5.  
C=6.  
D=6,7.  
funcionMod(X, M):-M=0,X<=3.  
funcionMod(X, M):-M=(X-3)/(5-3),X>3,X<5.  
funcionMod(X, M):-M=1,X>=5,X<=6.  
funcionMod(X, M):-M=(6.7-X)/(6.7-6),X>6,X<6.7.  
funcionMod(X, M):-M=0,X>=6.7.

%=====

A=6.  
B=7.  
C=9.  
D=10.  
funcionAb(X, M):-M=0,X<=6.  
funcionAb(X, M):-M=(X-6)/(7-6),X>6,X<7.  
funcionAb(X, M):-M=1,X>=7,X<=10.  
funcionAb(X, M):-M=0,X>10.

%=====

%FUNCION DE LAS CELULAS GUIAS  
FuncionCelulasGuias(X, T):-M=0,X<20.  
FuncionCelulasGuias(X, T):-M=1,X>=20.

%=====

%Funcion PH1 para Candidiasis Vulvovaginal.

FuncionPh1\_CandVulv(X, K):- K=0, X>4.5.  
FuncionPh1\_CandVulv(X, K):- K=1, X<=4.5, X >0.

%=====

%Funcion PH2 para Vaginosis Bacteriana. de 5 a 6

A=4.  
B=5.  
C=6.  
D=7.  
FuncionPh2\_VagBact(X, K):-K=0,X<=4.  
FuncionPh2\_VagBact(X, K):-K=(X-4)/(5-4),X>4,X<5.  
FuncionPh2\_VagBact(X, K):-K=1,X>=5,X<=6.  
FuncionPh2\_VagBact(X, K):-K=(7-X)/(7-6),X>6,X<7.  
FuncionPh2\_VagBact(X, K):-K=0,X>=7.

%=====

%Funcion PH3 para Trochomoniasis de 6,7 a 7  
 A=6.  
 B=6,7.  
 C=7.  
 D=7,5.  
 FuncionPh3\_Tricho(X, K):-K=0,X=<6.  
 FuncionPh3\_Tricho(X, K):-K=(X-6)/(6,7-6),X>6,X<6,7.  
 FuncionPh3\_Tricho(X, K):-K=1,X>=6,7,X=<7.  
 FuncionPh3\_Tricho(X, K):-K=(7,5-X)/(7,5-7),X>7,X<7,5.  
 FuncionPh3\_Tricho(X, K):-K=0,X>=7,5.

### 2.3.3 Fuzzificación de las variables difusas en el Sistema Experto.

En los SE de diagnóstico médico basados en reglas de producción que introducen la certeza para tratar la incertidumbre, es necesario conocer la certeza del antecedente compuesto y la que emite el experto humano. La certeza del antecedente compuesto puede conocerse mediante algunos elementos (conjunción, disyunción, negación) de la teoría para el cálculo de la certeza.

En este tipo de SE pueden encontrarse antecedentes difusos, esto trae consigo que deban ser tratados a través del proceso de fuzzificación.

Para aplicarle este proceso a una variable, es necesario determinar la función de pertenencia que se requiere. Por ejemplo: "proporción de la secreción" es una de las variables difusas en el SE de diagnóstico médico de las sepsis vaginales. Esta puede presentarse en la paciente de forma escasa, moderada o abundante. En este caso debe utilizarse la función trapezoidal para tratar las distintas clasificaciones de la proporción de la secreción. Deben definirse tres funciones de este tipo (función escasa, función moderada, función abundante) que permitan tratar cada una de las clasificaciones de la proporción como etiquetas. Esto posibilita el tratamiento de esta variable, ya que estas funciones de pertenencia permiten determinar el grado de pertenencia que tiene el valor real que da la paciente, a cada una de las funciones mencionadas. Esta situación es difusa ya que se trata la variable mediante las tres funciones a la misma vez, porque puede darse el caso que la paciente introduzca un valor que tenga un cierto de grado de pertenencia a una función y a otra la misma vez.

Por ejemplo una paciente puede afirmar que en un rango entre 0 y 10 definido como el rango posible para simular la proporción de la secreción, tiene un valor de 3,5. Este valor el SE lo analiza, para determinar a cual o cuales conjuntos pertenece. Para esto se deben utilizar las

funciones de pertenencia: función escasa, función moderada, que permiten conocer con que grado pertenece el valor 3,5 dado por la paciente a cada una de los conjuntos.

Cuando se hace el análisis se concluye que el valor pertenece al conjunto de elementos que definen la proporción escasa con un grado de pertenencia 0,5 y a la vez pertenece al conjunto de los elementos que conforman la proporción moderada con un grado de certeza de 0,25. Se evidencia una situación difusa, que el sistema no estaría en condiciones de manejar si no contara con un tratamiento eficaz de las funciones de pertenencia.

Esos grados de pertenencia deben ser comparados entre sí para determinar cual de ellos tiene mayor valor. El que resulte mayor será usado como la certeza de esa variable para calcular el CTR de la regla.

En el prolog este proceso se realiza para el tratamiento de la variable difusa proporción mediante la función:

```
pertProporcion(X, MP):- funcionEs(X, MEsc), funcionMod(X, MMod), funcionAb(X, MAb),  
maximo([MEsc, MMod, MAb], MP).
```

Esta función es utilizada en cada regla que contenga esta variable para calcular la incertidumbre. Para ver un ejemplo práctico donde se realice el cálculo de CTR utilizando dicha función se muestra a continuación una regla de la BC después de ser analizada:

```
candidiasisvulvovaginal:-secrecion(s),svb,svp,proporcion(Proporcion),  
pertProporcion(Proporcion, MP), pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,minimo([1, 1, 1, MP, 1,  
1], Min), ctr(1, Min, CTR), nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de  
candidiasis vulvovaginal con una certeza de'+CTR),nl,!.  
.
```

Para el caso de la variable ph\_vaginal la función que se utiliza sería:

```
pertPH(X,K):-funcionPh1_CandVulv(X,KCand),funcionPh2_VagBact(X,KBag),
```

```
funcionPh3_Tricho(X, KTri), maximo([KCand, KBag, KTri], K).
```

Esta función se utiliza similar a la anterior, pero para el caso donde se presenta la variable difusa ph\_vaginal. Un ejemplo práctico donde se determine el CTR en una regla que contenga esta variable sería:

candidiasisvulvovaginal:-secrecion(s),svb,svp,valoresph(Valorph),pertPh(X,K),  
pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,minimo([1, 1, 1, MP, 1, 1], Min), ctr(1, Min, CTR),  
nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con  
una certeza de'+CTR),nl,!

#### **2.3.4 Obtención de las certezas de las reglas.**

Para definir los grados de certezas de cada regla fue necesario entrevistar varios especialistas. Cada uno de ellos dió valores de certeza a las reglas definidas en la base de conocimientos. La certeza que se tomó de cada regla es el resultado del análisis de todas las certezas dadas sobre la misma regla por varios especialistas. Es necesario destacar que muchas de las reglas fueron cambiadas a partir de los nuevos conocimientos que se extrajeron de los especialistas consultados.

#### **2.3.5 Proceso para determinar la incertidumbre mediante Lógica Difusa en el Sistema Experto.**

El sistema le pide los datos necesarios al usuario, que puede ser la paciente o un especialista que lo utilice para apoyar su diagnóstico clínico. Toma las respuestas del usuario entradas por teclado y hace una selección de las reglas que cumplen con las características de la secreción y los síntomas asociados a partir de las respuestas dadas por el paciente. Luego selecciona las certezas dadas por el especialista para cada una de estas reglas.

Posteriormente analiza la certeza de cada antecedente que forma parte del compuesto en cada regla, en el caso de que la regla tenga alguna variable difusa, hace todo el proceso necesario para tratarla a través de funciones de pertenencia.

Después de tener los valores de certeza de cada antecedente, hace una comparación de estos mediante un método que determina el mínimo y ese valor se compara con la certeza dada por el experto, para determinar la menor que será el CTR de la regla.

Luego se busca entre todas las reglas seleccionadas y analizadas, la que tiene mayor CTR. Esto se hace a través de un método que determina el máximo de todos esos valores, que será la certeza final.

## 2.4 Introducción a las Redes Probabilísticas en los Sistemas Expertos.

### 2.4.1 Definiciones fundamentales:

**Probabilidad:** la probabilidad mide la frecuencia con que ocurre un resultado en un experimento bajo condiciones suficientemente estables. La probabilidad de un suceso B se define como  $P(B)$  y se refiere a cuan posible es que ocurra B.

**Variable:** en una RB una variable es entendida como una función de probabilidad condicionada o una función de densidad condicionada a los valores que toman las variables de las que depende.

**Distribución normal:** la distribución normal, también llamada distribución de Gauss o distribución Gaussiana, es la distribución de probabilidad que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de probabilidades. Su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas. Es, además, límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados.

**Función de densidad de probabilidad:** se utiliza en estadística con el propósito de conocer cómo se distribuyen las probabilidades de un suceso o evento, en relación al resultado del suceso. La función de densidad de probabilidad se representa generalmente por  $f(x)$ .

Matemáticamente la FDP (función de densidad de probabilidad) es la derivada de la función distribución de probabilidad  $F(x)$ , o de manera inversa, la función de distribución es la integral de la función de densidad.

**Probabilidad Condicionada o densidad condicionada:** es la probabilidad de que ocurra un evento A, sabiendo que también sucede otro evento B. La probabilidad condicional se escribe  $p(A|B)$ , y se lee como la probabilidad de A dado B. No tiene por qué haber una relación causal o temporal entre A y B. El evento A puede preceder en el tiempo a B, sucederlo o pueden ocurrir simultáneamente. Se debe señalar que A puede causar B, viceversa o pueden no tener relación causal. Las relaciones causales o temporales son nociones que no pertenecen al ámbito de la probabilidad. Pueden desempeñar un papel o no dependiendo de la interpretación que se le dé a los eventos.

La probabilidad condicional de B conocido A es:



$$p(B | A) = p(A | B) (p(B)/p(A))$$

**Independencia y exclusividad mutua de sucesos o variables:** dos sucesos aleatorios A y B son independientes si y sólo si:  $p(A \cap B) = p(A)p(B)$  o sea que si A y B son independientes, su probabilidad conjunta,  $p(A \cap B)$  ó  $p(A,B)$  puede ser expresada como el producto de las probabilidades individuales. Equivalentemente:

$$p(A | B) = p(A)$$

$$p(B | A) = p(B)$$

En otras palabras, si A y B son independientes, la probabilidad condicional de A dado B es simplemente la probabilidad de A y viceversa.

Se puede afirmar que dos sucesos A y B son mutuamente excluyentes si y sólo si  $A \cap B = \emptyset$ . Si se cumple esto, entonces  $p(A \cap B) = 0$ .

**Densidad global conjunta:** es la densidad resultante del análisis conjunto de todas las densidades condicionadas en un modelo probabilístico. Esta densidad es multiplicatoria de todas las probabilidades condicionadas o densidades condicionadas de los nodos, en un grafo que se utilice para simular la RB. Se define como la multiplicación de todas las probabilidades condicionadas a las de sus padres ( $p(X_v | X_{pa}(v))$ ).

$$P(X) = \prod_{v \in V} P(X_v | X_{pa}(v)).$$

**Muestra:** las muestras se obtienen con la intención de inferir propiedades de la totalidad de la población. Una muestra estadística es un subconjunto de casos o individuos de una población estadística que no es más que el conjunto de elementos de referencia sobre el que se realizan las observaciones.

**Estimación:** en estadística se llama estimación al conjunto de técnicas que permiten dar un valor aproximado de un parámetro de una población a partir de los datos proporcionados por una muestra.

**Pronóstico:** enunciado sobre lo que es probable que ocurra en el futuro, basándose en análisis y en consideraciones de juicio.

**Correlación:** en probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad. Los coeficientes de correlación miden el grado de correlación, adaptados a la naturaleza de los datos.

**Análisis de regresión:** la regresión estadística es la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición.

**Prueba de hipótesis:** la aplicación de cálculos probabilísticos permite determinar a partir de qué valor debemos rechazar la hipótesis garantizando que la probabilidad de cometer un error es un valor conocido a priori. Las hipótesis pueden clasificarse en dos grupos, según:

- Especifiquen un valor concreto o un intervalo para los parámetros del modelo.
- Determinen el tipo de distribución de probabilidad que ha generado los datos.

Un ejemplo del primer grupo es la hipótesis de que la media de una variable es 10, y del segundo que la distribución de probabilidad es la distribución normal.

**Estadística:** es una rama de la matemática que se refiere a la recolección, estudio e interpretación de los datos obtenidos en un estudio. Se divide en dos ramas:

- La estadística descriptiva: se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numéricamente o gráficamente. Ejemplos básicos de descriptores numéricos son: la media y la desviación estándar.
- La inferencia estadística: es una parte de la estadística que comprende los métodos y procedimientos para deducir propiedades de una población, a partir de una pequeña parte de la misma. La bondad de estas deducciones se mide en términos probabilísticos, es decir, toda inferencia se acompaña de su probabilidad de acierto. Es la parte de la estadística, que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta lo aleatorio y la

incertidumbre en las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población de estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no mediante la prueba de hipótesis, estimaciones de características numéricas a través de la estimación, pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación o modelamiento de relaciones entre variables mediante el análisis de regresión.

**Inferencia Bayesiana:** es un tipo de inferencia estadística en la que las evidencias u observaciones se emplean para actualizar o inferir la probabilidad de que una hipótesis pueda ser cierta. El nombre "Bayesiana" proviene del uso frecuente que se hace del Teorema de Bayes durante el proceso de inferencia.

### 2.4.2 Teorema de Bayes.

Este teorema enunciado por Thomas Bayes, en la teoría de la probabilidad, es el resultado de la distribución de probabilidad condicional de una variable aleatoria A dada otra B en términos de la distribución de probabilidad condicional de la variable B dada A y la distribución de probabilidad marginal de sólo A. (Wikipedia.2008)

Este teorema enuncia que:

$$p(X_i | X_1, \dots, X_k) = \frac{p(X_i, X_1, \dots, X_k)}{\sum_{X_i} p(X_i, X_1, \dots, X_k)}$$

$$= \frac{(p(X_i) p(X_1, \dots, X_k | X_i))}{\sum_{X_i} p(X_i) p(X_1, \dots, X_k | X_i)}$$

$p(X_i)$  se conoce como probabilidad marginal, prior, a priori o inicial de X, puesto que puede ser obtenida antes de conocer los valores de sus precedentes.

$p(X_i | X_1, \dots, X_k)$  es la probabilidad posterior, a posteriori o condicional del elemento X, puesto que se calcula después de conocer los precedentes.

$p(X_1, \dots, X_k | X_i)$  se conoce como verosimilitud de que un elemento  $X_i$  sugiere que están presentes todos los demás.

Sea  $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$  un conjunto de sucesos incompatibles cuya unión es el total y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero. Si B es un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales  $p(B | A_i)$ . Entonces, la probabilidad  $p(A_i | B)$  viene dada por la expresión:

$$p(A_i | B) = (p(B | A_i) p(A_i) / p(B)) = p(B | A_i) p(A_i) / \sum_{j=1}^n p(B | A_j) p(A_j)$$

donde:

$p(A_i)$  son las probabilidades a priori.

$p(B | A_i)$  es la probabilidad de B en la hipótesis  $A_i$ .

$p(A_i | B)$  son las probabilidades a posteriori.

Esto se cumple  $\forall i = 1, \dots, n$ .

El teorema de Bayes es válido en todas las aplicaciones de la teoría de la probabilidad. Sin embargo, hay una controversia sobre el tipo de probabilidades que emplea. En esencia, los seguidores de la estadística tradicional sólo admiten probabilidades basadas en experimentos repetibles y que tengan una confirmación empírica mientras que los llamados estadísticos bayesianos permiten probabilidades subjetivas. Puede servir entonces para indicar cómo se debe modificar las probabilidades subjetivas cuando se recibe información adicional de un experimento. La estadística bayesiana está demostrando su utilidad en ciertas estimaciones basadas en el conocimiento subjetivo a priori.

Proceso de inferencia de Priori a Posteriori:

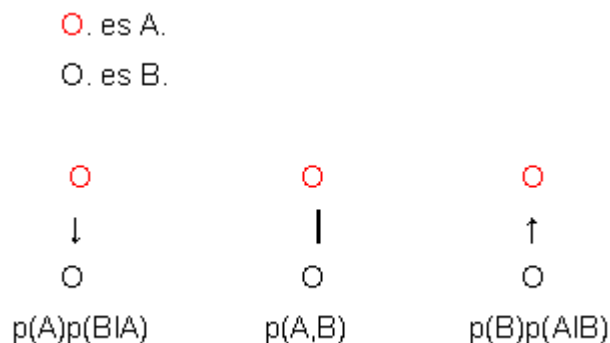


Figura11. Proceso de Inferencia en redes Bayesianas.

El primer caso demuestra que gracias al conocimiento que se tiene de la probabilidad del suceso B, es posible determinar la probabilidad del suceso A, o lo que es lo mismo obtener conocimiento a priori A a causa de B.

El segundo caso muestra la probabilidad de que ocurran ambos sucesos a la misma vez.

El tercer caso muestra el proceso inverso al caso 1. Aquí el conocimiento a posteriori de A se puede inferir de B.

### **2.4.3 Redes Probabilísticas.**

La introducción de los modelos de RP ha permitido superar muchos de los obstáculos de la inferencia probabilística. Estos modelos, incluyen las Redes de Markov y las RB y se basan en modelos gráficos de las relaciones entre las variables.

Las Redes de Markov y las RB resultan imprescindibles para los SE probabilísticos. Utilizan el teorema llamado la probabilidad de las causas, y se basa en que la presencia de un fenómeno que podemos llamar b, ocurre como efecto de una de las posibles causas mutuamente excluyentes, donde  $A_i$  B es una de las posibles causas de que ocurra b.

$$b = A_1 B + A_2 B + \dots + A_m B$$

Esta aplicación del Teorema de Bayes (aplicaciones Bayesianas) ofrece potencialmente un método exacto para la probabilidad de enfermedades basadas en la observación y datos de frecuencia. Dichos análisis requieren de grandes bases de datos imposibles de manejar sin medios cibernéticos. Esta es la ayuda que recíprocamente se obtiene de las computadoras al pensamiento médico y que justifica la utilización del tiempo en el suministro de bloques de información previamente elaboradas.

El análisis multivariado se realiza para descubrir la interdependencia de cada una de las variables entre sí, por ejemplo: cuál es el peso de la obesidad y cuánto está relacionada con el colesterol alto y cuál es la importancia de la obesidad en la aparición del colesterol alto.

### **2.4.4 Redes Bayesianas.**

**Concepto Red Bayesiana:** es una red gráfica que representa las relaciones de causalidad probabilísticas entre variables y permite obtener soluciones a problemas de decisiones bajo incertidumbre.

Se basan en las probabilidades condicionales y la probabilidad bayesiana. Las RB permiten incluir conceptos de expertos o de información nueva obtenida sobre la dependencia de eventos o variables, para analizar su propagación a través de toda la red para facilitar la toma de decisiones bajo incertidumbre.

Las RB también conocidas como redes causales probabilísticas, redes causales, sistemas expertos bayesianos, redes de creencia, sistemas expertos probabilísticas o diagramas de influencia) son herramientas estadísticas que representan un conjunto de incertidumbres asociadas sobre la base de las relaciones de independencia condicional que se establecen entre cada variable. Se puede decir que una RB es un conjunto de variables, una estructura gráfica conectando estas variables y un conjunto de distribuciones de probabilidad condicional. Codifica incertidumbre asociada a cada variable por medio de probabilidades y, gracias al teorema de Bayes, esta incertidumbre es susceptible de ser modificada con base en observaciones (o evidencias) sobre el modelo. Aunque se podría establecer una distinción más específica de los elementos que componen una red bayesiana, se suele decir que una red bayesiana tiene dos dimensiones: una cualitativa y otra cuantitativa.

#### **2.4.4.1 Dimensión cualitativa:**

Una RB es un grafo, lo que a su vez es un par  $G = (V, E)$ , donde  $V$  es un conjunto finito de vértices, nodos o variables y  $E$  es un subconjunto del producto cartesiano  $V \times V$  de pares ordenados de nodos llamados enlaces o aristas.

Por otro lado, una RB es un tipo concreto de grafo que se denomina grafo dirigido acíclico (GDA). Es dirigido porque los enlaces entre los vértices de la estructura están orientados. Por ejemplo, si  $(A, B) \in E$  pero  $(B, A) \notin E$ , se dice que hay un enlace dirigido o arco entre los nodos y lo representaremos como  $A \rightarrow B$ . Por su parte, es acíclico porque no pueden existir ciclos o bucles en el grafo; esto es, que si se empieza a recorrer un camino dirigido desde un nodo nunca se podrá regresar al punto de partida.

Una conexión tipo  $A \rightarrow B$  indica dependencia o relevancia directa entre las variables. En este caso sugiere esta representando que  $B$  depende de  $A$  o que  $A$  es la causa de  $B$  y  $B$  el efecto de  $A$ . Dada esta habilidad para codificar causalidad, las RB han sido utilizadas para el modelado o la búsqueda automática de estructuras causales en bases de datos. También se dice que  $A$  es padre (o la variable madre) de  $B$  y que  $B$  es el hijo (o la variable hija) de  $A$ . Aunque la presencia de arcos entre nodos codifica información esencial sobre el modelo representado en la red, la

ausencia de arcos entre nodos aporta una valiosa información ya que el grafo codifica independencia condicional.

Independencia condicional: es el principio de independencia condicional en una representación gráfica. Se puede decir que las redes bayesianas son una representación gráfica del principio de independencia condicional en términos probabilísticos. Este principio quedaría enunciado del siguiente modo: sean tres conjuntos X, Y y Z de variables; diríamos que los conjuntos X e Y son (condicionalmente) independientes dado el conjunto Z si y solamente si:

$$P(x | z) = P(x | yz).$$

O dicho de otro modo, dos variables X e Y, son independientes en términos probabilísticas de una tercera Z si y solamente si:

$$p(xy | z) = p(x | z) \times p(y | z).$$

La consecuencia fundamental de este principio es que la probabilidad de X es la misma condicionándola a Z o condicionándola a Z e Y.

Cualquier RB podría descomponerse en tres tipos de conexiones básicas, cada una con propiedades diferentes en el proceso de propagación de probabilidades. En primer lugar, las conexiones seriales o cadenas causales representan un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables (Figura 2). Por ejemplo la variable B depende de A y la variable C depende del valor de B. Así, cuando se conoce algo sobre A se puede modificar la creencia sobre el estado de B y esta información se propagara hasta C. Sin embargo, si se encuentra una evidencia sobre B, añadir evidencias sobre C no alterará el conocimiento sobre A y viceversa. En este caso se dice que A y C son condicionalmente independientes dado B.



Figura 12. Conexión serial.

En las conexiones divergentes, también conocidas como **clasificadores ingenuos** de Bayes, se tiene un nodo padre (o clase) que proyecta sus arcos sobre varios hijos (Figura 13a).

Este tipo de conexión es el más apropiado para representar procesos de diagnóstico médico y como veremos más adelante son útiles para estimar el conocimiento asociado a conceptos en función del comportamiento del usuario. Cuando no se conoce el estado de la variable madre existe dependencia entre las variables hijas. Sin embargo, cuando el estado de esta variable se

conoce, las evidencias sobre las variables hijas no se propagaran entre ellas. Por ejemplo se puede decir que A y C son independientes dado B.

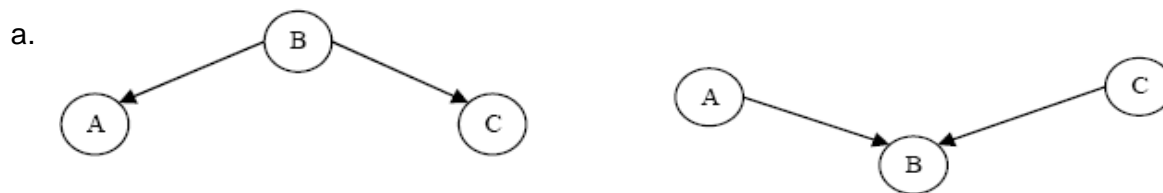


Figura 3. Conexión divergente(a) y conexión convergente (b).

Por ultimo, en las conexiones convergentes (llamadas también cabeza a cabeza) varias variables apuntan con sus arcos hacia una variable de convergencia (Figura 13b). En este tipo de conexiones las variables madre son independientes entre si. Sin embargo, si se tiene una evidencia sobre la variable hija, las variables madre se tornaran dependientes. En este ejemplo se puede ver que A y C son condicionalmente dependientes dado B.

#### 2.4.4.2 Dimensión cuantitativa:

Existen tres elementos esenciales que caracterizan la dimensión cuantitativa de una red bayesiana: el concepto de probabilidad como un grado de creencia subjetiva relativa a la ocurrencia de un evento, un conjunto de funciones de probabilidad condicionada que definen a cada variable en el modelo y el teorema de Bayes como herramienta básica para actualizar probabilidades.

Se tendrá, como mínimo, cuatro formas de entender la probabilidad: desde un punto de vista clásico, desde una perspectiva empírica, axiomáticamente y la concepción bayesiana o subjetiva. Por un lado, tenemos las teorías objetivistas dentro de las cuales se encuadra la concepción frecuentista de la probabilidad, y por otro tenemos las epistemológicas dentro de las cuales la subjetiva es la más famosa. De una manera u otra, la probabilidad es una manera de cuantificar la incertidumbre asociada a la ocurrencia de eventos y las redes bayesianas se basan en una idea subjetiva de la probabilidad, siendo el teorema de Bayes el motor de actualización de probabilidades.



Las RB utilizan el Teorema de Bayes como herramienta básica para actualizar probabilidades con base en las evidencias aportadas sobre el modelo. En primer lugar hay que compilar la red para que se cree una representación interna de las probabilidades del modelo. De esta manera se estima lo que se conoce como distribución previa (o distribución a priori) del modelo. A continuación se van añadiendo evidencias sobre el estado de las variables del modelo y se van obteniendo sucesivamente lo que se conoce como distribuciones posteriores (o a posteriori). De esta forma, en una red bayesiana cada variable es entendida como una función de probabilidad condicionada o una función de densidad condicionada a los valores que toman las variables de las que depende.

La ventaja de utilizar un GDA para construir un modelo probabilístico es que siempre e tiene la posibilidad de conocer la verosimilitud del modelo factorizándolo.

Así pues, para cada variable  $v \in V$ , se tiene que especificar las distribuciones condicionales de  $X_v$  dados sus padres  $X_{pa(v)}$ . Si entendemos que esta densidad es  $P(X_v | X_{pa(v)})$ , entonces la densidad global conjunta se deriva de:

$$P(X) = \prod_{v \in V} P(X_v | X_{pa(v)}).$$

#### 2.4.4.3 Utilización del grafo dirigido en una Red Bayesiana.

Una RB utiliza un grafo dirigido para representar las relaciones entre las variables del modelo. Por ejemplo, el siguiente grafo representa las relaciones existentes en un conjunto de siete variables.

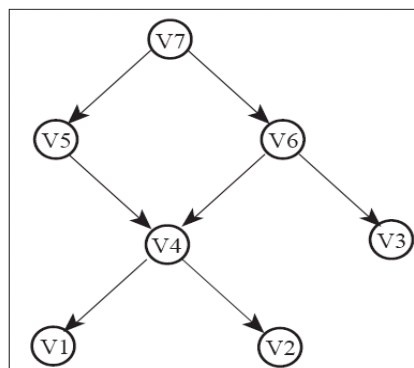


Figura 14. Grafo de una Red Bayesiana.

En base a estas relaciones, la función de probabilidad del modelo puede escribirse como el producto de las probabilidades de cada uno de los nodos condicionado a sus padres:

$$p(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7) =$$

$$p(v_1 | v_4) p(v_2 | v_4) p(v_3 | v_6) p(v_4 | v_5, v_6) p(v_5 | v_7) p(v_6 | v_7) p(v_7)$$

Estas funciones de probabilidad condicionada vienen determinadas directamente por las relaciones de independencia contenidas en el grafo (la notación  $I(A, B | C)$  significa que los conjuntos de variables A y B son condicionalmente independientes una vez que se conoce el conjunto C).

$$p(1 | 4) I(1; 23567 | 4)$$

$$p(2 | 4) I(2; 13567 | 4)$$

$$p(3 | 6) I(3; 12457 | 6)$$

$$p(4 | 5,6) I(4; 7 | 5,6)$$

$$p(5 | 7) I(5; 7 | \emptyset)$$

$$p(6 | 7) I(6; 7 | \emptyset)$$

$$p(7) I(7; \emptyset | \emptyset)$$

Donde la  $p(i | j)$  es igual a la  $p(v_i / v_j)$ .

Para entender las relaciones anteriores se explicará a continuación la primera relación a modo de ejemplo:

La primera relación establece que conocido el nodo 4, el nodo 1 es independiente de los nodos 2, 3, 5, 6, 7.

#### 2.4.4.4 Criterio de d-separación.

Es el criterio gráfico que se utiliza para saber que relaciones de independencia condicional están contenidas en un grafo.

Definición: sean X, Y y Z tres subconjuntos disjuntos de nodos en un grafo dirigido acíclico; entonces se dice que Z d-separa X e Y si y sólo si a lo largo de todo camino no dirigido entre cualquier nodo de X y cualquier nodo de Y existe un nodo intermedio A tal que, o bien:

A es un nodo de aristas convergentes en el camino y ni A ni sus descendientes están en Z, o bien A no es un nodo de aristas convergentes en el camino y A está en Z.

Una definición equivalente se muestra a continuación:

Sean X, Y y Z tres subconjuntos disjuntos en un grafo dirigido acíclico, entonces se dice que Z

D-separa a X e Y si y sólo si Z separa X e Y en el grafo moral (grafo no dirigido obtenido añadiendo aristas entre nodos con hijos comunes) del menor subconjunto ancestral que contenga a los nodos de X, Y y Z. (Gutiérrez 98)

#### **2.4.4.5 Propagación de Evidencia.**

Una vez definida la red Bayesiana, el proceso de propagación de evidencia consiste en el cálculo de las funciones de probabilidad de los nodos condicionados a la evidencia observada. Inicialmente, cuando no se conoce evidencia, estas probabilidades son las probabilidades marginales del modelo.

Sin embargo, cuando se observa cierta evidencia las nuevas probabilidades condicionadas muestran el efecto de la evidencia en el resto de los nodos. Este proceso se denomina propagación de evidencia pues ésta se propaga por el grafo actualizando las probabilidades de los nodos.

#### **2.4.4.6 Tratamiento de la Incertidumbre en Sistemas Expertos Probabilísticos.**

Los SE basados en probabilidad, son sistemas que utilizan grafos para representar el conocimiento. Estos sistemas se conocen como redes probabilísticas.

Son los modelos más populares para tratar situaciones que encierran incertidumbre. En este caso, el conocimiento sobre un problema dado se representa explícitamente por medio de una función de probabilidad conjunta de las variables que intervienen en el problema. El inconveniente de estos sistemas es que la definición de una función de probabilidad conjunta no es una tarea intuitiva y, por tanto, su definición no es tan simple como la de un SE basado en reglas. Las Redes Probabilísticas (Redes Bayesianas y redes de Markov) permiten definir de forma gráfica (por medio de un grafo) las relaciones de dependencia entre las variables y definir la función de probabilidad conjunta a través una factorización de funciones locales de probabilidad.

Esta característica ha hecho a estos modelos populares y ha motivado su gran difusión en los últimos años.

Los primeros SE inicialmente, utilizaron la probabilidad como medida para tratar la incertidumbre pero, desgraciadamente, muy pronto se encontraron algunos problemas, debido al uso incorrecto de algunas hipótesis de independencia, utilizadas para reducir la complejidad de los cálculos. Como resultado, en las primeras etapas de los SE, la probabilidad fue considerada como una medida poco práctica. La mayoría de las críticas a los métodos probabilísticos se basaban en el altísimo número de parámetros necesarios, la imposibilidad de una asignación o estimación precisa de los mismos, o las hipótesis poco realistas de independencia. Consecuentemente, en la literatura de la época, surgieron medidas alternativas a la probabilidad, como los factores de certeza, las credibilidades, las plausibilidades, las necesidades o las posibilidades, para tratar la incertidumbre. Sin embargo, con la aparición de las RP, principalmente las RB y Markovianas, la probabilidad ha resurgido de forma espectacular, y es, hoy en día, la más intuitiva y la más aceptada de las medidas de incertidumbre.

#### **2.4.4.7 Utilización de un Sistema Experto Probabilístico en un diagnóstico médico.**

Para realizar un diagnóstico médico mediante un SE, donde se supone que se tiene un conjunto de enfermedades ( $E_1, \dots, E_n$ ) y un conjunto de síntomas asociados ( $S_1, \dots, S_m$ ) a éstas, el SE probabilístico de diagnóstico médico debe tratar de dar respuesta a: Supuesto que el paciente presenta un subconjunto de síntomas  $S$ , ¿qué enfermedad es más probable que tenga? Para responder a esta pregunta han de calcularse las probabilidades  $P(E_i | S)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  o sea todas las probabilidades individuales de cada una de las enfermedades conocidos los síntomas. Por ejemplo, en un caso práctico si se obtiene que la probabilidad de la enfermedad 1 dado el conjunto de síntomas es 0,2 y que la probabilidad de la enfermedad 2 dado ese mismo conjunto de síntomas es 0,8, entonces el SE determina que la enfermedad más probable es la 2 y toma como punto de partida que la enfermedad tiene la mayor probabilidad de ocurrencia dado el conjunto de síntomas. Estos sistemas le brindan al experto humano una gran ayuda, porque son capaces de inferir resultados satisfactorios basados en tediosos análisis probabilísticos en las bases de datos. (Gutiérrez 1998).

Los modelos de RP utilizan grafos para definir relaciones de dependencia entre las variables del modelo y simplificar la estructura de la función de probabilidad conjunta. Esta simplificación se realiza en base a una factorización de la probabilidad.

Dado un conjunto de variables  $(V_1, \dots, V_n)$ , una función de probabilidad siempre puede escribirse como un producto de funciones de probabilidad condicionada:

$$P(V_1, \dots, V_n) = P(V_1) P(V_2 | V_1) P(V_i | V_1, \dots, V_{i-1}) P(V_n | V_1, \dots, V_{n-1})$$

## **2.5 Tratamiento de la Incertidumbre en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales mediante las Redes Bayesianas.**

Los SE basados en probabilidad son los sistemas que tratan situaciones que encierran incertidumbres, es por ese motivo que son los más indicados para los diagnósticos médicos, porque son capaces de manejar grandes volúmenes de información y dar en un tiempo reducido una respuesta práctica.

Sin embargo existen otros sistemas que utilizan la misma estructura de los basados en reglas, pero les agregan un cierto grado de certeza a cada una de las reglas que los componen y de esta forma son capaces de determinar la incertidumbre asociada mediante la propagación de las mismas. Esto permite luego que con el uso de una función global se determine la certeza de la ocurrencia de un suceso o evento. Esos sistemas son capaces de tratar situaciones donde se presentan variables difusas a diferencia de los SE basados en probabilidad, donde no se pueden tratar ese tipo de variables. Sin embargo la efectividad de los sistemas probabilísticos está ampliamente demostrada y han facilitado en gran medida el trabajo de los humanos porque realizan procesos de cálculos muy tediosos que calculados manualmente resultarían muy complicados.

En el SE de diagnóstico médico de las sepsis vaginales inicialmente el tratamiento de la incertidumbre era imposible, por el hecho de que es un sistema determinista basado en reglas que antes de esta investigación no contaba con certidumbres asociadas a cada una de ellas. En la explicación que se hizo sobre cómo se había desarrollado el análisis de la incertidumbre en este sistema mediante la LD, se especificó que las certezas utilizadas en el proceso fueron educadas de especialistas en la rama. Los especialistas fueron los encargados de determinar el

grado de certeza de cada una de las reglas de la BC y sin esos grados de certeza no se hubiera podido realizar el análisis que se hizo.

En teoría se puede decir que este SI por ser un sistema basado en reglas no debería tratar la incertidumbre mediante un análisis probabilístico, partiendo de que estos análisis requieren de probabilidades, que generalmente son seleccionadas de una base de datos previamente creada con todas las probabilidades. Sin embargo como cada una de las reglas que componen esta base de conocimiento cuenta con las certidumbres atribuidas por los expertos, se podrán aplicar elementos de las redes probabilísticas basados en esa información para hacer un análisis probabilístico en el SE.

### **2.5.1 Aplicación de las Redes Probabilísticas. Redes Bayesianas.**

Dentro de las Redes Probabilísticas que son la vía existente para analizar la incertidumbre en los sistemas probabilísticos, se escogió para este caso particular las Redes Bayesianas. Estas redes como se explicó anteriormente se utilizan para determinar la incertidumbre en los SE y en esta situación será utilizada para determinarla en el sistema experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales con el objetivo de que la paciente pueda conocer a través de su interacción con el SE, la enfermedad que presenta y el grado de certeza que tiene esa respuesta dada por la aplicación.

### **2.5.2 Uso de las Redes Bayesianas en el SE.**

Las RB funcionan como un grafo dirigido acíclico. Es dirigido porque cada nodo representa una variable aleatoria y los arcos; las dependencias entre ellos. También se dice que es acíclico porque no hay bucles, o sea que en un camino no podemos llegar al mismo nodo.

Aplicando esto al SE que se analiza, se asume que los nodos son las variables de cada regla.

A->B esto se puede entender como que B es el padre de A y en el SE que se está analizando, esta definición se utilizó para definir que síntoma propicia una enfermedad determinada.

Por supuesto que B puede ser una variable compuesta. Por ejemplo:

Vaginosis bacteriana->secreción blanca, células levaduriformes, ph<4.5, test de amina negativo.

Esta regla está definida de la forma  $A \rightarrow B$ , donde Vaginosis bacteriana es un nodo padre de todos los síntomas.

Responde al tipo de conexión divergente, también conocido como clasificador ingenuo de Bayes. Este clasificador adaptado al SE de diagnóstico médico de las sepsis vaginales se traduce en la figura 13a, en la que se pueden asumir los nodos A y C como los síntomas que propician la enfermedad B. Se refleja la relación que se establece entre cada nodo padre con todos sus posibles hijos, que en el SE serían las enfermedades y los síntomas, siendo estos últimos totalmente independientes entre ellos.

En el proceso de inferencia que utiliza, se asume que gracias al conocimiento que se tiene de la probabilidad de un suceso, es posible determinar la probabilidad a posteriori del o los sucesos que dependen de él, o visto como nodos, la probabilidad a posteriori del hijo a causa del padre.

Se seleccionó este tipo de conexión por ser el más apropiado para representar procesos de diagnóstico médico. Cuando no se conoce el estado de la variable madre existe dependencia entre las variables hijas. Sin embargo, cuando el estado de esta variable se conoce como es el caso de este SE, las evidencias sobre las variables hijas no se propagaran entre ellas.

### **2.5.3 Certeza por Probabilidad.**

Para introducirse en el análisis probabilístico que se le hizo a la BC, se debe ver la certeza de la regla como la probabilidad de que esta se cumpla. De esta manera asumimos que las certezas de las reglas de la BC son las probabilidades conjuntas con las que se realizará el análisis probabilístico. En la mayoría de los sistemas que utilizan la probabilidad, estas son tomadas de una base de datos previamente creada.

La justificación de la decisión de tomar los valores de certezas como probabilidades conjuntas está en la dimensión cuantitativa de las RB. Esta tiene tres elementos esenciales que la caracterizan:

1-El concepto de probabilidad como un grado de creencia subjetiva a la ocurrencia de un evento.

2-Un conjunto de funciones de probabilidad condicionada que definen a cada variable en el modelo.

3-El teorema de Bayes como herramienta básica para actualizar probabilidades con base en experiencia.

La forma en que se entiende la probabilidad en este caso, es a través de la concepción bayesiana o subjetivista.

La probabilidad es una manera de cuantificar la incertidumbre asociada a la ocurrencia de eventos y las RB se basan en una idea subjetiva de la probabilidad, siendo el teorema de Bayes el motor de actualización de probabilidades.

#### **2.5.4 Obtención de la probabilidad de cada regla.**

En una RB cada variable es entendida como una función de probabilidad condicionada o una función de densidad condicionada a los valores que toman las variables de las que depende.

En cada regla de la BC que se analiza se establece una relación de dependencia entre cada enfermedad y el ó los síntomas asociados. Las dependencias individuales que tiene cada enfermedad sobre un síntoma puede entenderse en este caso particular como la probabilidad condicionada o función de densidad condicionada.

En cada regla escrita en la forma  $e \rightarrow h$  con  $w(h/e)$  donde  $e$  es el antecedente,  $h$  es la hipótesis y  $w(h/e)$  es la certeza de  $h$  dado  $e$ , puede cumplirse que el antecedente sea compuesto, o sea, el antecedente este compuesto por varios antecedentes simples. A la hora de hacer un análisis probabilístico, la probabilidad de cada antecedente simple se trata como una función de probabilidad condicionada y al analizarse todas las funciones de probabilidad condicionada se obtiene la función de probabilidad conjunta.

Para hacer un análisis de como se deben obtener las probabilidades conjuntas de cada regla en el SE se debe comenzar por el grafo que usa la red.

Se debe especificar que es un grafo dirigido que se utiliza para representar la RB y no presenta relaciones de dependencia entre las variables que conforman la premisa de cada regla.

La ausencia de dependencia entre las variables está dado porque según el especialista cada uno de los síntomas que se presentan en las tres enfermedades cérvico-vaginales, no dependen uno del otro, por lo que solo debe tenerse en cuenta la probabilidad de que la enfermedad dependa de cada uno de ellos o de la existencia de varios de ellos. Para entender



como se establece la dependencia entre una enfermedad y sus síntomas, se debe analizar nuevamente la figura 13a y asumir que los nodos A y C son los síntomas y B es la enfermedad.

Las variables A y C que representan los síntomas conforman la premisa de la regla y como se puede observar en esa figura son independientes entre sí. Basado en esa independencia se hace innecesario utilizar el criterio de D-Separación de variables. Es por esta razón que cuando se realiza el tratamiento de la incertidumbre mediante las RB en el SE de diagnóstico médico de las sepsis vaginales, no se analizan las dependencias condicionales entre las variables que conforman la premisa.

En teoría se deben analizar las relaciones que se establecen entre cada uno de los síntomas y las enfermedades, para obtener las probabilidades condicionadas asociadas a esas relaciones y la probabilidad de la regla de producción se comporta como una función de densidad conjunta resultante de integrar todas esas probabilidades condicionales individuales de cada uno de los síntomas con la enfermedad. Esto se realiza a través de la fórmula.

$$P(X) = \prod_{v \in V} P(X_v | X_{pa(v)}).$$

Sin embargo para determinar la probabilidad conjunta de cada una de las reglas no se utiliza la fórmula anterior si se parte de que ya se cuenta con ese valor.

Para justificar lo antes expuesto se dirá que en esta investigación se obtuvo la probabilidad de cada regla mediante elementos de la consulta a expertos. Esto justifica que el cálculo de las densidades conjuntas no sea necesario, porque como se demostró, la probabilidad de cada regla educada de los especialistas se comporta como esta función de densidad conjunta.

#### **2.5.5 El modelo seleccionado.**

A partir de todo el análisis que se ha hecho, se puede concluir que el teorema idóneo en este caso es el que se conoce como: “la probabilidad de las causas”, que se basa en que la presencia de un fenómeno que podemos llamar b, ocurre como efecto de una de las posibles causas mutuamente excluyentes.

$$b = A_1 B + A_2 B + \dots + A_m B$$

Esta aplicación del Teorema de Bayes (aplicaciones bayesianas) ofrece potencialmente un método exacto para la probabilidad de enfermedades basadas en la observación y datos de frecuencia es adecuado para este caso.

En el sistema se utiliza este teorema cuando se determina la probabilidad de ocurrencia de una enfermedad, a partir de una serie de reglas que responden a las respuestas del usuario.

Por ejemplo:

Para la enfermedad candidiasis vulvovaginal, si dadas la respuestas del usuario al SE, este determina que se cumplen las reglas las siguientes reglas.

1)candidiasisvulvovaginal(0.4):-

secrecion(s),svb,sves,svh,svp,svf,prurito,irritacionvulvar,dispareunia,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write("Usted padece de candidiasis vulvovaginal"),nl,!

2)candidiasisvulvovaginal(0.65):-

secrecion(s),svb,sves,irritacionvulvar,dispareunia,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write("Usted padece de candidiasis vulvovaginal"),nl,!

La probabilidad de que el usuario presente esta enfermedad se puede determinar a partir de las probabilidades de cada una de las reglas que se cumplen, que analizadas mediante este teorema son vistas como las posibles causas de que exista candidiasis vulvovaginal. En este caso el sistema determina que la regla que presente la mayor probabilidad de ocurrencia es la que determina la probabilidad de que ocurra la enfermedad. Basado en todo lo anterior si se analizan las reglas anteriores se llega a la conclusión de que la probabilidad de ocurrencia de la enfermedad en ese caso es 0.65.

El SE será capaz de mostrar la probabilidad del diagnóstico realizado a partir de este análisis, que consiste en comparar todas las posibles causas mutuamente excluyentes que determinen la existencia de una enfermedad en un momento dado, o sea todas las funciones de densidad conjunta, para determinar cual arroja el mayor grado de probabilidad.

En prolog todo esto se puede realizar a partir de un método global que permite determinar entre todas las reglas que se analizan como causas mutuamente excluyentes de una enfermedad, cual es la que presenta mayor probabilidad.

A partir del teorema: la probabilidad de las causas, se creó una función que permite obtener el mayor valor de todas las posibles probabilidades:

$\max(X, Y, X)$ :-  $X > Y, !$ .

$\max(X, Y, Y)$ :-  $X \leq Y$ .

$\maximo([X], X)$ :-  $!$ .

$\maximo([X|L], M)$ :-  $\maximo(L, M1), \max(X, M1, M)$ .

$\text{global}(M)$ :-  $\text{findall}(N, \text{candidiasisvulvovaginal}(N), L), \maximo(L, M)$

Es esta la forma en que el SE trata la incertidumbre mediante las RB. Seleccionando entre todas las probabilidades conjuntas de cada una de las reglas, la que tiene mayor valor.

### **2.5.6 Proceso de análisis de la Incertidumbre en el Sistema Experto.**

El SE para realizar el diagnóstico le pide los datos necesarios al usuario que es la paciente o un especialista que lo utilice para apoyar su diagnóstico clínico. Luego toma las respuestas del usuario entradas por teclado y hace una selección de las reglas que cumplen con las características de la secreción y los síntomas asociados. Una vez seleccionadas estas, toma la probabilidad asociada a cada regla como la probabilidad conjunta que necesita para hacer su análisis.

Después aplica la fórmula que describe el teorema de las causas que se seleccionó como el modelo a utilizar:

$$b = A1 B + A2 B + \dots + Am B.$$

Esto lo hace mediante la función implementada en prolog que se muestra a continuación:

$\max(X, Y, X)$ :-  $X > Y, !$ .

$\max(X, Y, Y)$ :-  $X \leq Y$ .

$\maximo([X], X)$ :-  $!$ .

$\maximo([X|L], M)$ :-  $\maximo(L, M1), \max(X, M1, M)$ .

$\text{global}(M)$ :-  $\text{findall}(N, \text{candidiasisvulvovaginal}(N), L), \maximo(L, M)$

Finalmente el SE será capaz de mostrar esa probabilidad al usuario cuando realiza el diagnóstico médico.

## **CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS. TRATAMIENTO DIFUSO Y TRATAMIENTO PROBABILÍSTICO.**

### **3.1 Comparación del tratamiento de la incertidumbre mediante la lógica difusa y las redes bayesianas en el sistema experto.**

Para establecer una comparación entre las vías analizadas, es necesario comenzar especificando cuando debe ser utilizada cada una. En este sentido puede señalarse que se emplean generalmente en distintos tipos de SE. En teoría los sistemas que tratan la incertidumbre a través de la LD son los basados en reglas que introducen la certeza como medida ideal. Las RB constituyen la vía existente para tratar los sistemas probabilísticos y la medida que utilizan es la probabilidad que se extrae generalmente de una base de datos previamente creada.

En esta investigación se analizó el proceso de determinación de la incertidumbre mediante la LD y las RB, partiendo de que el sistema no contaba con este tratamiento. Para comparar ambas vías se seleccionaron los principales aspectos que las diferencian.

#### **Tipos de incertidumbre.**

Cuando el SE es analizado a través de la LD, el tipo de incertidumbre que se trata es la vaguedad.

Cuando el SE es analizado a través de la RB, el tipo de incertidumbre que se trata es la aleatoriedad.

#### **Métodos para evaluar la incertidumbre.**

El método de evaluación de la incertidumbre para tratar la probabilidad es el método de evaluación de la incertidumbre tipo A.

El método de evaluación de la incertidumbre para tratar la certeza es el método de evaluación de la incertidumbre tipo B.

#### **Medida para el cálculo de la incertidumbre.**

Cuando el SE es analizado a través de la LD, la medida utilizada es la certeza.

Cuando el SE es analizado a través de las RB, la medida utilizada es la probabilidad.

### **Modelo utilizado.**

Cuando el SE es analizado a través de la LD, el modelo que se utiliza es el que propone Hajek.

Cuando el SE es analizado a través de la RB, el modelo que se utiliza es el que propone el Teorema de la causas.

### **Inferencia.**

Cuando el SE es analizado a través de la LD, se utiliza un sistema de inferencia difuso basado en reglas de producción.

Cuando el SE es analizado a través de la RB, se utiliza un sistema de inferencia Bayesiano.

### **Tratamiento de las variables.**

Cuando el SE es tratado mediante la LD, se pueden analizar variable difusas, mediante el proceso de fuzzificación.

Cuando el SE es tratado mediante las RB, no se pueden analizar las variables difusas.

### **Selección de la vía óptima a utilizarse.**

Para poder obtener la certeza de un diagnóstico realizado, el prolog que es la herramienta utilizada, se encarga de seleccionar las reglas de la BC que cumplan con las características de los síntomas descritos por el paciente a través de su interacción con este. Esto se realiza de la forma que explica a continuación.

Por ejemplo, para la enfermedad candidiasis vulvovaginal se citan algunas de las reglas que se definen y para entender el proceso que se realiza cuando se hace un tratamiento de la incertidumbre en el SE, se asumirá que en un diagnóstico realizado el prolog seleccionó estas reglas porque coincidían con las especificaciones de las respuestas entradas por teclado por el paciente:

1)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,svp,sves,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal 'nl,!.)
```

2)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,svp,svmo,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal'),nl,!.)
```

3)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,notsvp,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,  
,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal  
''),nl,!.)
```

Estas reglas de la BC no cuentan con una análisis de la incertidumbre, por lo que cuando el SE experto realiza un diagnóstico, se limita a mencionar la enfermedad que padece el usuario. Sin embargo esta respuesta no tiene asociado ningún grado de confiabilidad.

### **3.1.2 Tratamiento de la incertidumbre mediante la Lógica Difusa.**

Para poder tratar la incertidumbre mediante la LD en la BC, es necesario tener definidas previamente un conjunto de variables, que según el especialista tienen características difusas. También deben estar especificadas las certezas definidas por el experto para cada una de las reglas.

De las tres reglas que fueron seleccionadas para mostrar como se realiza el tratamiento difuso de la incertidumbre, la primera y la segunda contienen la variable difusa proporción de la secreción, pero en distintas formas, ya que en la primera se presenta de forma escasa (sves) y en la segunda de forma moderada(svm). Esta variable se someterá a un análisis difuso de forma que las reglas tratarán esta variable a partir de un valor entrado por teclado por el usuario.

La tercera regla no contiene ninguna variable difusa.

Para poder tratar la primera y la segunda regla donde la proporción de la secreción se presenta de forma escasa y moderada se determinó que no era óptima la forma en que se encontraba definida para el tratamiento difuso, y para ello fue necesario crear en el prolog la función escasa, la moderada y la abundante, que son funciones trapezoidales y los valores utilizados

para definir las permiten determinar con que grado de certeza pertenece a cada conjunto el valor dado por el usuario.

función escasa.

$A=0, B=1, C=3, D=4.$

$\text{funcionEs}(X, M): -M=0, X \leq 0.$

$\text{funcionEs}(X, M): -M=(X-1)/(1-0), X > 0, X < 1.$

$\text{funcionEs}(X, M): -M=1, X \geq 1, X \leq 3.$

$\text{funcionEs}(X, M): -M=(4-X)/(4-3), X > 3, X < 4.$

$\text{funcionEs}(X, M): -M=0, X \geq 4.$

función moderada.

$A=3, B=5, C=6, D=6, 7.$

$\text{funcionMod}(X, M): -M=0, X \leq 3.$

$\text{funcionMod}(X, M): -M=(X-3)/(5-3), X > 3, X < 5.$

$\text{funcionMod}(X, M): -M=1, X \geq 5, X \leq 6.$

$\text{funcionMod}(X, M): -M=(6.7-X)/(6.7-6), X > 6, X < 6.7.$

$\text{funcionMod}(X, M): -M=0, X \geq 6.7.$

función abundante.

$A=6, B=7, C=9, D=10.$

$\text{funcionAb}(X, M): -M=0, X \leq 6.$

$\text{funcionAb}(X, M): -M=(X-6)/(7-6), X > 6, X < 7.$

$\text{funcionAb}(X, M): -M=1, X \geq 7, X \leq 10.$



funcionAb(X, M):-M=0,X>10.

En el prolog se crea una función para tratar la proporción de la secreción, que utiliza la función abundante, la moderada y la escasa para obtener el grado con que pertenece a cada una, el valor introducido por el usuario cuando le responde al SE acerca de la secreción que presenta. Estos grados de pertenencia de dicho valor a cada una de las funciones, representan el proceso de fuzzificación de esa variable difusa. Los grados de pertenencia obtenidos se comparan y se toma el mayor, que será utilizado como la certeza de la proporción. Esto debe realizarse en todas las reglas seleccionadas por el prolog que cumplan con las características de los síntomas del usuario y que contengan la variable proporción de la secreción. La función que se muestra a continuación es permite tratar la proporción de la secreción.

pertProporcion(X, MP):- funcionEs(X, MEsc), funcionMod(X, MMod), funcionAb(X, MAb), maximo([MEsc, MMod, MAb], MP).

Una vez analizada esta función se explicará como se utilizada en cada regla donde se presenta la proporción. Para ello se retoman las reglas 1 y 2 analizadas anteriormente, donde esta variable se presenta de forma escasa en la primera y de forma moderada en al segunda.

1)candidiasisvulvovaginal(0.6):-

secrecion(s),svb,svp,sves,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal 'nl,!).

2)candidiasisvulvovaginal(0.7):-

secrecion(s),svb,svp,svmo,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal'),nl,!).

Como se podrá observar en este nuevo análisis, las reglas tienen un grado de certeza que indica el valor dado por el especialista y que será utilizado para compararlo con el valor mínimo de todos los antecedentes simples que forman el antecedente compuesto. Ese mínimo se determina a través del siguiente método en el prolog.

menor(X,Y,X):-X=<Y,!.

menor(X,Y,Y):-X>Y.

minimo([X],X):- !.

minimo([X|L],M):- minimo(L,M1), menor(X,M1,M).

Este valor mínimo es utilizado para establecer una comparación con el propuesto por el experto para determinar la certeza de la regla. La función que realiza esta comparación responde al CTR que se determina a través de la teoría difusa, que es la forma seleccionada dentro del modelo de Hajek para utilizarse en el SE.

En prolog quedaría:

ctr(CR, CAnt, CTR):- menor(CR, CAnt, CTR)

El CR es la certeza dada por el experto, el CAnt es la certeza obtenida en el método mínimo y el CTR es el mínimo valor entre ellos.

Para ver como se realiza esto en Prolog se muestra a continuación las reglas después de este proceso:

1) candidiasisvulvovaginal(0.6):-

secrecion(s),svb,svp,proporcion(Proporcion),pertProporcion(Proporcion,MP),  
pruebaamina(0),celulaslevaduriformes, minimo([1, 1, 1, MP, 1, 1], Min), ctr(0.6, Min, CTR),  
nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con  
una certeza de'+CTR),nl,!.

2) candidiasisvulvovaginal(0.6):-

secrecion(s),svb,svp,proporcion(Proporcion),pertProporcion(Proporcion,MP),pruebaamina(0),cel  
ulaslevaduriformes, ([1, 1, 1, MP, 1, 1], Min), ctr(0.6, Min,  
CTR),nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal  
con una certeza de'+CTR),nl,!.

Cuando se observan la primera y la segunda regla en la BC con este nuevo enfoque, se nota que son iguales y esto esta dado porque la variable proporción depende del valor que entre el usuario. Se tomará de las dos la primera regla.

En el caso de la tercera después de analizarse esta quedaría de la siguiente forma:

3) candidiasisvulvovaginal (0.7):-

```
secrecion(s),svb,notsvp,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,CTR=0.7,nombre(Nombre),write(
Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con grado de
certeza'+CTR),nl,!.

```

Como se observa el proceso ha sido mucho más sencillo que en las anteriores, esto está dado porque no contiene variables difusas en la premisa de la regla por lo que el cálculo de CTR se determina asumiendo que todos los síntomas presentes tienen una certeza de 1 que será comparada con la definida por el especialista.

El prolog luego de todo este proceso de cálculo de CTR en la reglas, procede entonces a determinar la certeza resultante de todas las tratadas. Esto se hace a través de un método global que determina la mayor de todas esas certezas. Este método responde al GLOB propuesto por la teoría difusa en el modelo de Hajek .En Prolog quedaría:

```
max(X,Y,X):- X > Y,!.

```

```
max(X,Y,Y):- X =< Y.

```

```
maximo([X],X):- !.

```

```
maximo([X|L],M):- maximo(L,M1), max(X,M1,M).

```

```
global(M):-

```

```
findall(N,candidiasisvulvovaginal(N),L),maximo(L,M),nombre(Nombre),write(Nombre),write('
'),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con un grado de certeza:'),write(M),nl.

```

El valor resultante de este método es la certeza del diagnóstico realizado.

### 3.1.3 Cálculo de la certeza en Lógica Difusa.

De forma general se puede entender todo lo antes explicado si se toman la primera y la tercera regla mencionadas, para verlo en la práctica. No se tiene en cuenta la segunda regla porque de ser así no se analizaría la primera, ya que el usuario puede entrar un solo valor de la proporción.

1) candidiasisvulvovaginal(0.6):-

secrecion(s),svb,svp,proporcion(Proporcion),pertProporcion(Proporcion,MP),  
pruebaamina(0),celulaslevaduriformes, minimo([1, 1, 1, MP, 1, 1], Min), ctr(0.6, Min, CTR),  
nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con  
una certeza de'+CTR),nl,!.

3) candidiasisvulvovaginal (0.7):-

secrecion(s),svb,notsvp,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,CTR=0.7,nombre(Nombre),write(  
Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con grado de  
certeza'+CTR),nl,!.

Para este análisis se toman los valores de CTR de cada regla, en este caso debe tener un tratamiento especial la variable difusa proporción de la secreción, ya que es la única variable de ese tipo que se encuentra. Como se toma la primera regla que originalmente presentaba entre los síntomas la proporción escasa, entonces se asume que el valor entrado por el usuario está entre 0 y 4 que es el rango definido para la secreción en su forma escasa según el especialista. Se asumirá que se entró por teclado el valor 3.

Cuando se analizan las funciones de pertenencias para tratar dicho valor se determina lo siguiente:

funcionEs(3, M):-M=1.

funcionMod(3, M):-M=0

funcionAb(3, M):-M=0, porque el valor  $X \leq 6$ .

En este caso la pertenencia al conjunto de moderado y al de abundante es nula, por lo que la certeza de variable difusa en ese caso es el grado de pertenencia al primer conjunto o sea el conjunto de los elementos que caracterizan la proporción escasa. En este caso la función `pertProporcion(3,MP)` retorna una certeza  $MP=1$ .

Al calcular el CTR en la primera regla este da como resultado 0.6, porque es el valor que retorna el método:

`ctr(0.6, 1, CTR)`:- `menor(0.6, 1, CTR)`, que determina el menor valor entre la certeza dada por el especialista y la determinada a través de la función mínimo que selecciona la menor certeza de todos los antecedentes.

menor(X,Y,X):-X=<Y,!.

menor(X,Y,Y):-X>Y.

minimo([X],X):- !.

minimo([X|L],M):- minimo(L,M1), menor(X,M1,M).

Al calcular el CTR en la tercera regla este da como resultado 0,7. Como puede analizarse en este caso el proceso de cálculo es mucho más sencillo que en la regla anterior y esto ocurre porque no existen variables difusas, por ello se asume según el conocimiento que se extrajo de los especialistas que los antecedentes tienen como certeza 1.

Por último para determinar la certeza de la enfermedad candidiasis vulvovaginal a partir de las reglas analizadas se necesita utilizar el método Global que retorna el mayor de las certezas de esas reglas. En este caso ese método daría como resultado que la enfermedad se presenta con una certeza de 0,7.

Sin embargo si el valor entrado no fuera 3 que es un valor que pertenece con grado certeza 1 al conjunto de la proporción escasa, sino que fuese 3,5, el análisis de ese valor dará otro resultado. Este nuevo valor no pertenece con certeza 1 al conjunto de escasa y tampoco pertenece con certeza 1 al conjunto de moderada, por lo que se hace necesario fuzzificar ese valor. Se necesita determinar con que grado pertenece a cada uno de los conjuntos mencionados. Para ello deben utilizarse las funciones respectivas.

Una vez analizadas ambas funciones se determinó que el valor pertenece al conjunto de los elementos que definen la proporción escasa con un grado de pertenencia 0,5 y a la vez pertenece al conjunto de los elementos que conforman la proporción moderada con un grado de certeza de 0,25. Se evidencia una situación difusa, que el sistema no estaría en condiciones de manejar si no contara con un tratamiento difuso. En este caso se determina que se trabajará con 0,5 que es la pertenencia al conjunto de la proporción escasa. Este valor se utiliza de la misma forma que se utilizó el valor 3 también dado por el usuario. Sin embargo en este caso cuando se calcula el CTR de la regla se obtiene un valor distinto. Por ejemplo si en la primera regla que se analizó el valor entrado por teclado de la proporción de la secreción fuera 3,5 la regla quedaría después de tratar la incertidumbre así:

1) candidiasisvulvovaginal(0.6):-

secrecion(s),svb,svp,proporcion(Proporcion),pertProporcion(Proporcion,MP),  
pruebaamina(0),celulaslevaduriformes, minimo([1, 1, 1, 0,5, 1, 1], Min), ctr(0.6, Min, CTR),  
nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal con  
una certeza de'+CTR),nl,!.

El CTR de la regla ahora será 0,5 que es el menor valor del antecedente compuesto y que además resultó ser menor que la certeza dada por el especialista para la regla.

### **3.1.4 Tratamiento de la incertidumbre mediante la Redes Bayesianas.**

Para poder tratar la incertidumbre mediante las RB, es necesario entender porque se pueden utilizar las certezas definidas por el experto para el análisis difuso como las probabilidades conjuntas de cada regla.

La justificación está en la parte cuantitativa de las RB, donde se asume la probabilidad como una medida subjetiva que puede ser introducida por un experto para tratar la incertidumbre.

Cuando se analizaron las RB, se explicó que la probabilidad conjunta es el resultado de la multiplicación de las probabilidades condicionales de cada uno de los antecedentes, siempre y cuando estos sean independientes entre sí. En el SE son interpretadas como las probabilidades de ocurrencia de una enfermedad dado un síntoma. Cuando se realiza el análisis para determinar la probabilidad en cada regla no es necesario tener en cuenta lo anterior porque estos valores de densidad conjunta ya se tienen, a partir de las probabilidades subjetivas que emitieron los especialistas. A partir de que los expertos que intervinieron en la investigación afirmaron que ningún síntoma dependía de otro en una regla se determinó que era necesario utilizar el criterio de d-separación.

Para analizar cómo se aplicaron las RB en el SE se debe comenzar por entender el grafo utilizado en la BC y para esto se debe retomar la figura 13a. En la misma los nodos A y C se comportan como los síntomas que propician la enfermedad B y la probabilidad de cada uno de ellos se entiende como sus densidades condicionales. El análisis de las mismas permiten obtener la probabilidad conjunta de B, sin embargo, como se especificó anteriormente, en la BC esto no es necesario porque se conoce la probabilidad de B o sea la probabilidad conjunta de cada regla.

Una vez que analizadas las probabilidades conjuntas fue necesario utilizar el teorema de las causas que es una aplicación del teorema de Bayes. En el SE se utiliza para seleccionar la mayor de las probabilidades posibles de que ocurra la enfermedad.

Para entender mejor todo el proceso analizado se tomarán las mismas reglas de la BC que se utilizaron anteriormente para entender como se realiza el tratamiento difuso, pero en este caso se emplearán con un fin distinto, ya que permitirán observar como se desarrolla el tratamiento probabilístico en el SE.

1)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,svp,sves,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal 'nl,!.)
```

2)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,svp,svmo,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal'),nl,!.)
```

3)candidiasisvulvovaginal:-

```
secrecion(s),svb,notsvp,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,  
,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal  
'),nl,!.)
```

Las reglas anteriores no cuentan con las probabilidades definidas por el experto para representar su posible ocurrencia, por lo que es necesario definir las. A continuación se muestra como quedarían definidas las probabilidades introducidas por el especialista:

1)candidiasisvulvovaginal(0.6):-

```
secrecion(s),svb,svp,sves,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal 'nl,!.)
```

3)candidiasisvulvovaginal(0.7):-

```
secrecion(s),svb,notsvp,pruebaamina(0),celulaslevaduriformes,  
,nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis vulvovaginal  
' ),nl,!. 
```

Llama la atención que solo se analizan las reglas 1 y 3, esto está dado porque la regla 1 propone que existe secreción escasa y la 3 propone que existe secreción de forma moderada y como en una situación práctica el usuario solo presenta una de los dos, entonces se determinó conveniente tomar la primera si se parte de que se pretende establecer una comparación de los resultados entre estas reglas analizadas a través de la LD y las RB.

Anteriormente se explicó y justificó las probabilidades que aparecen asociadas a cada regla. Esto permite realizar el cálculo de la incertidumbre en las mismas, mediante las RB. Dicho cálculo tiene su base en el modelo que propone el teorema de las causas, el cual sugiere que de todas las posibles causas que determinen la ocurrencia de un suceso, una y solo una se cumple.

En el SE este teorema se utilizó para obtener la mayor probabilidad de las reglas que se cumplen. En el Prolog este cálculo puede realizarse a partir de un método global, que permite obtener el mayor valor entre las posibles probabilidades.

```
max(X,Y,X):- X > Y,!. 
```

```
max(X,Y,Y):- X =< Y. 
```

```
maximo([X],X):- !. 
```

```
maximo([X|L],M):- maximo(L,M1), max(X,M1,M). 
```

```
global(M):- findall(N,candidiasisvulvovaginal(N),L), 
```

```
maximo(L,M),nombre(Nombre),write(Nombre),write(' '),write('Usted padece de candidiasis  
vulvovaginal con un grado de certeza:'),write(M),nl. 
```

### **3.1.5 Cálculo de la certeza en Redes Bayesianas.**

Cuando se calcula la incertidumbre a través de un análisis probabilístico en el SE, el Prolog toma los valores de probabilidad de las reglas y mediante el método global determina la mayor de todas.



En este caso la regla 1 tiene una probabilidad de 0.6 y la regla 3 tiene una probabilidad de 0.7, por lo que, mediante el uso del método global se determina que la probabilidad resultante es 0.7.

### **3.1.6 Cálculo de la incertidumbre en el Sistema Experto mediante las dos vías.**

Se puede concluir que el cálculo de la incertidumbre a través de las dos vías es óptimo, sin embargo cuando se realiza mediante la LD, el análisis es mucho más complejo que mediante las RB, por lo que se pueden introducir errores aleatorios en los cálculos, limitando la confiabilidad del proceso.

Se obtendrá el mismo resultado a partir de las dos formas mencionadas cuando en el análisis de la LD que se realice, los valores de las variables difusas que se empleen pertenezcan a uno de sus conjuntos difusos con grados de pertenencia 1. En caso de que esto no ocurra el valor obtenido mediante ese análisis en una regla será diferente al que se obtendrá en ella misma cuando se analice a través de las RB. Esto permite concluir que cuando se realice este análisis mediante las vías propuestas se obtendrá el mismo resultado en muchos casos, sin embargo existirán excepciones donde los resultados serán distintos, lo que por supuesto implica que las dos vías son óptimas, siendo las RB más eficientes por lo planteado anteriormente.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de diploma se logró dar cumplimiento a los objetivos propuestos para el desarrollo de la investigación científica. Los conocimientos adquiridos en el estudio de la Inteligencia Artificial, los Sistemas Expertos, la Lógica Difusa y las Redes Bayesianas fueron expuestos de forma explícita en el desarrollo del mismo.

Se realizó un profundo estudio del proceso de cálculo de la incertidumbre en los Sistemas Expertos a través de la Lógica Difusa y las Redes Bayesianas, llegando a la conclusión de que ambas vías son óptimas para el tratamiento de la incertidumbre en el Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales, porque ambas permiten darle un grado elevado de confiabilidad a los diagnósticos. En muchos casos el resultado será el mismo, sin embargo en otros no. Las medidas alternativas utilizadas por cada una de las vías son la certeza por parte de la Lógica Difusa así como la probabilidad por las Redes Bayesianas y constituyen la base fundamental para establecer una diferencia entre ellas.

Durante la investigación un aspecto fundamental fue extraer de los especialistas las certezas o probabilidades de las reglas a través de entrevistas realizadas a los mismos, que permitieron realizar los análisis mediante las distintas vías para tratar la incertidumbre en el sistema experto.

Como resultado final de este trabajo diploma se logró demostrar que en la Base de Conocimiento la incertidumbre puede ser analizada por los dos métodos y que las RB son más eficientes.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que a partir de la conclusión de que el tratamiento de la incertidumbre por las Redes Bayesianas es más eficiente en el Sistema Experto de diagnóstico médico de las sepsis vaginales, se utilice este método en Sistemas Expertos relacionados con las sepsis vaginales y se validen los resultados mediante un análisis de incertidumbre para darle más confiabilidad a los diagnósticos. Además utilizar este método de análisis en proyectos de la Universidad de las Ciencias Informáticas que estén relacionados con la salud.

Continuar investigando sobre la incertidumbre en los SE aplicando fórmulas de cálculo a los modelos que garantice una mayor confiabilidad en esos sistemas.

Crear grupos investigativos que profundicen más sobre el tema tratado, que según los especialistas consultados constituye un gran avance para los diagnósticos.

## REFERENCIAS

Gutiérrez, J. M. (1998). "Modelos de Redes Probabilísticas en Sistemas Expertos."

Wikipedia.2008. "La inferencia bayesiana. "

## BIBLIOGRAFÍA

1. John E.Frend, Irwin R.Miller y Richard Johnson.1996.TOMO 1.Probabilidad y Estadísticas para ingenieros.
2. John E.Frend, Irwin R.Miller y Richard Johnson.1996.TOMO 2.Probabilidad y Estadísticas para ingenieros.
3. UCI. Curso 2007-2008.Inteligencia Artificial. Conferencia 9. Sistemas Basados en el Conocimiento. Introducción a los sistemas basados en el conocimiento. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
4. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Conferencia 10. Sistemas Basados en el Conocimiento. Teoría de la incertidumbre. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
5. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Conferencia 11. Sistemas Basados en el Conocimiento. Tipo de incertidumbre que modela la Lógica Difusa. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
6. UCI. Curso 2007-2008.Inteligencia Artificial. Clase Práctica 10. Lógica Difusa. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
7. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Documentación para estudio independiente. Curso de Sistemas basados en el conocimiento. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
8. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Documentación para estudio independiente. Solución de problemas bajo incertidumbre. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
9. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Documentación para estudio independiente. Fuzzy Expert Systems. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
10. UCI. Curso 2007-2008. Inteligencia Artificial. Documentación para estudio independiente. Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers. Disponible en: <http://teleformacion.uci.cu>.
11. Alvarez, B.G.2000. Pensamiento Médico y Cibernética. Disponible en: [http://bvs.sld.cu/revistas/ate/vol1\\_1\\_00/ate02100.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/ate/vol1_1_00/ate02100.pdf).
12. Asunción R. De Juan. 2001-2002. Estadística, Certeza e Incertidumbre. Disponible en: <http://divulgamat.ehu.es/weborriak/TestuakOnLine/Hasierakolkasgaiak/rubio2001-02.doc>.
13. José M Gutiérrez.1998. Modelos de Redes Probabilísticas en Sistemas Expertos. Disponible en: [http://personales.unican.es/gutierjm/docs/tut\\_redesProb.pdf](http://personales.unican.es/gutierjm/docs/tut_redesProb.pdf)

14. Álvaro M Illera.2005. Sistemas Expertos Redes Bayesianas y sus aplicaciones. Disponible en: <http://www.e-ghost.deusto.es/docs/2005/conferencias/Bayes05.pdf>
15. Jorge L Puga y Juan G García.2008. Sistemas de Tutorización Inteligente Basados en Redes Bayesianas. Disponible en: <http://www.psico.uniovi.es/REMA/v13n1/vol13n1a2.pdf>
16. María E Cabello Espinosa, Isidro R Salavert, José Á Carí Cubel. 2006. Uso de un modelo arquitectónico de componentes y aspectos en sistemas de diagnóstico. Disponible en:<http://www.dsic.upv.es/docs/bib-dig/informes/etd-07202006-164242/DSIC-II-11-06.mcabello.pdf>
17. Pablo E FELGAER. 2005. Optimización de redes bayesianas basado en técnicas de aprendizaje por inducción. Disponible en: <http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lsi/felgaer-tesisingenieriainformatica.pdf>
18. Wikipedia, enciclopedia libre.2008. La inferencia bayesiana. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Inferencia\\_bayesiana](http://es.wikipedia.org/wiki/Inferencia_bayesiana)
19. Wikipedia, enciclopedia libre.2008, Estadística inferencial. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Estadística\\_inferencial](http://es.wikipedia.org/wiki/Estadística_inferencial)
20. Mateo L Brito. Prolog y los Sistemas Expertos.
21. Francisco J Girón y José M Bernardo. El control de la incertidumbre: El cálculo de probabilidades y la teoría de la utilidad.
22. Adrianys Hernández Capotey Isabel González Leyva. 2007. Ingeniería del Conocimiento de un Sistema Experto de Diagnóstico Médico de las Sepsis Vaginales.

## ANEXOS

### **Cuestionario realizado a los especialistas para cada una de las enfermedades.**

La enfermedad: Candidiasis Vulvovaginal, Vaginosis Bacteriana y Trichomoniasis.

1) ¿Es el flujo vaginal un aspecto significativo en el caso de esta enfermedad?

2) De los siguientes colores, que pueden estar presentes en el flujo vaginal de la paciente enferma.

Blanco

Amarillo

Verdoso

Grisáceo

Diga cuál es el más usual en esta enfermedad.

Diga si existen otros a partir de la combinación de varios de ellos.

3) ¿Es la fetidez un aspecto significativo en esta enfermedad? En caso de serlo, en un rango de 0 a 1, que valor usted le daría, suponiendo que este valor representa la importancia de la fetidez a la hora de diagnosticar esta enfermedad.

4) ¿La proporción de la secreción vaginal es un factor importante para el diagnóstico de esta enfermedad? De ser así diga cual de las siguientes proporciones es la que más caracteriza esta enfermedad.

- Abundante
- moderada
- escasa

En caso de que considere pertinente, puede sugerir otras clasificaciones.

En un rango de 0 a 1, que valor le atribuye usted a la proporción de la secreción vaginal a la hora de hacer un diagnóstico de la enfermedad suponiendo que este valor representa la importancia de este factor a la hora de hacer el diagnóstico clínico.

5) ¿Considera importante el análisis de la consistencia de la secreción vaginal de la paciente? De ser así, ¿cual de las siguientes clasificaciones es la más frecuente en pacientes con esta enfermedad?

- Pegajosa
- Líquida
- Espumosa
- Espesa

Diga que valor en el rango de 0 a 1 le atribuye usted a la consistencia de la secreción vaginal. Teniendo en cuenta que este valor representa la importancia de este factor a la hora de diagnosticar la enfermedad. Si considera que falta uno o varios estados, méncionelo.

6) En un rango de 0 a 10, en que intervalo usted definiría las siguientes caracterizaciones de la proporción de la secreción vaginal. Asuma que el valor cero sugiere que no hay secreción ninguna.

- Abundante (De que valor a que valor)
- Moderada (De que valor a que valor)
- Escasa (De que valor a que valor)

En caso que desee sugerir otro rango de valores que no sea (0 a 10), puede hacerlo.

7) Ordene los siguientes estados por orden de prioridad según usted considere, partiendo de que el primero será el que con mayor frecuencia se haya en pacientes con la enfermedad y así sucesivamente hasta el que se presenta con menor grado de frecuencia.

- Líquida
- Espesa
- Espumosa
- Pegajosa

8) Diga que importancia le atribuye al Test de Amina para el diagnóstico de esta enfermedad. Haga esto dándole un valor de 0 a 10. Este valor significa el grado de importancia que tiene el Test de Amina para el diagnóstico de la enfermedad, se asumirá el valor cero, como que no tiene ninguna importancia.

9) ¿A través de cual de los siguientes microorganismos se puede afirmar la existencia de la enfermedad?

- Cándida albicans
- Células levaduriformes
- Trichomonas
- Gardnerellas
- Células guías en más del 20%
- Lactobasilos

Mencione otros en caso de existir. Diga que importancia le atribuye usted a la existencia de estos microorganismos dándole un valor de 0 a 1.

10) ¿Diga si el PH vaginal siguiente es el idóneo para determinar la presencia de esta enfermedad?



En caso de no serlo corríjalo y diga si la existencia de otros PH, permite también que exista la enfermedad.

11) Diga cual de los siguientes síntomas asociados a la secreción vaginal se encuentran presentes en pacientes con esta enfermedad.

- dolor abdominal
- prurito
- enrojecimiento vulvar
- disuria
- inflamación vaginal
- irritación local
- dispareunia

En caso de que falte alguno que usted conozca, méncionelo. Ordénelos por orden de prioridad, partiendo de que el primero será el síntoma que más se presente en féminas con esta enfermedad.

