

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



TESIS DE GRADO

**SISTEMA INTELIGENTE PARA EL DIAGNÓSTICO
DE LA GASTRITIS**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS**

AUTORA: GABRIELA FERNANDEZ

TUTOR: LIC. GERMAN HUANCA TICONA

REVISOR: LIC. ALDO RAMIRO VALDEZ ALVARADO

LA PAZ – BOLIVIA

2011

DEDICATORIA

En primer lugar dedico este trabajo a Dios, por darme la fuerza y coraje para hacer de este sueño una realidad.

A mi mami Rosa, siempre estuviste y estas ahí conmigo dándome aliento, a mi hermano Raúl, porque siempre me apoyaste desde mi infancia, a mi tío Roberto, por darme palabras que me incentivaron lograr esta carrera.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento profundo a mi tutor de tesis Lic. German Huanca, quien desempeño el rol de guía necesario para la conclusión del presente trabajo, muchas gracias por su paciente y meticulosa revisión.

Un agradecimiento especial para mi revisor Lic. Aldo Valdez, quien tuvo paciencia y el conocimiento necesario para guiarme durante toda la etapa de mi trabajo.

Agradecer al Instituto de Gastroenterología Boliviano Japonés, por la información, conocimiento y la colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, gracias por enseñarme a valorar lo que tengo, por haberme formado una persona íntegra, colaborándome en la etapa de mi niñez y adolescencia, brindándome apoyo incondicional.

A mis amigas: Vanessa, Amanda, Dina, Madai, Marcia, Marilín, Daniela, Judit, Sdenka, Fely, Mónica. A mis amigos: Harry, Diego, Rodrigo, Cesar, Erick, Alvaro Ruiz, Alvaro Machaca, Carlitos, Dennis, Ariel, Arnold, Poly, Ebert, por el cariño verdadero y el apoyo brindado en las buenas y en las malas, muchas gracias por todo, los quiero mucho.

A la persona que me acompañó desde el inicio de mi carrera, siempre estuviste conmigo en las buenas y en las malas, eres lo más hermoso que me paso en la vida, gracias por brindarme tu apoyo y darme consejos, te quiero mucho Edu.

Especialmente a Dios mi confidente, quien siempre estuvo conmigo en todo momento, me acogió entre sus brazos cuando más lo necesitaba, fortaleció mi carácter para no desfallecer en el largo trayecto, me dio fuerzas para llegar donde estoy ahora.

RESUMEN

La salud es un bien y un derecho humano de todas las personas. Dependen múltiples y variados factores que actúan favorable o desfavorablemente en su producción. La salud se crea, se vive y se acrecienta o disminuye en el modo de la vida cotidiana.

La Inteligencia Artificial se ha aplicado a sistemas y programas informáticos capaces de realizar tareas complejas tales como los Sistemas Inteligentes que son capaces de simular el funcionamiento del pensamiento humano y así dar respuesta ante diferentes problemas.

La presente tesis plantea y diseña un modelo de sistema inteligente que permita realizar el diagnóstico de gastritis crónica, tomando a los síntomas como variables de entrada, una base de conocimiento que luego pasa a inferir para dar un diagnóstico. Se considera como objeto de estudio la gastritis crónica no atrófica, este tipo de enfermedades se presenta con frecuencia en nuestro medio a raíz de malos hábitos alimenticios, además del estrés que es generado por distintos factores.

Para representar el conocimiento del experto humano se usaron herramientas como las redes bayesianas y fue a través de un modelo cualitativo y cuantitativo que se obtuvieron las probabilidades a priori, a posteriori y las probabilidades condicionales que determinaron los síntomas influyentes para obtener el diagnóstico del paciente.

Posteriormente se realiza la simulación de la red bayesiana para realizar las diferentes pruebas que permiten verificar los resultados obtenidos comparándolos con resultados reales proporcionados por el experto humano en historiales clínicos.

ABSTRACT

Health is a good and a human right for all people. Depend on multiple and varied factors that act positively or negatively in their production. Health is created, lives and increases or decreases in the way of everyday life.

Artificial Intelligence has been applied to systems and software capable of performing complex tasks such as intelligent systems that are able to simulate the human thought and thus respond to different problems.

This thesis presents and develops a model of intelligent system that allows the diagnosis of chronic gastritis, symptoms taking as input variables, a knowledge base to infer that then goes to make a diagnosis. It is considered as an object of study, atrophic chronic gastritis, this type of disease occurs frequently in our environment due to poor eating habits, as well as the stress that is generated by several factors.

To represent human expert knowledge of the tools were used as Bayesian networks and went through a qualitative and quantitative model we obtained the probability a priori, a posteriori and conditional probabilities that determined the influential symptoms for diagnosis of the patient.

Subsequently, the simulation of the Bayesian network to perform different tests to verify the results compared with actual results provided by the human expert in medical records.

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 PRESENTACIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3.1 PROBLEMAS SECUNDARIOS	5
1.3.2 PROBLEMA CENTRAL.....	6
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.4.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	6
1.4.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	6
1.4.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	7
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.5.2 OBJETIVO GENERAL	8
1.6 HIPÓTESIS	8
1.7 ALCANCES Y APORTES.....	8
1.7.1 ALCANCES	8
1.7.2 APORTES	9
1.8 METODOLOGÍAS EMPLEADAS	9

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 MÉTODO CIENTÍFICO	12
2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	14
2.3 SISTEMA INTELIGENTE (SI)	17
2.3.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA INTELIGENTE.....	18
2.3.2 ESTRUCTURA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA INTELIGENTE	19
2.4 REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO	23

2.5 REDES BAYESIANAS	24
2.5.1 PRESENTACIÓN INTUITIVA	25
2.5.2 DEFINICIÓN FORMAL DE RED BAYESIANA.....	28
2.6 ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES	30
2.6.1 ENFERMEDADES DEL TRACTO GASTROINTESTINAL	30
2.6.2 ANATOMÍA FISIOLÓGICA DEL APARATO GASTROINTESTINAL	31
2.7 GASTRITIS.....	32
2.7.1 GASTRITIS CRÓNICA (GC).....	33
2.7.2 SÍNTOMAS PARA DETECTAR LA GASTRITIS CRÓNICA.....	35
2.7.3 CAUSAS DE LA GASTRITIS CRÓNICA	36

CAPITULO III

MARCO APLICATIVO

3.1 MODELO CUALITATIVO	37
3.2 MODELO CUANTITATIVO	38
3.3 ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO	38
3.4 DESCRIPCIÓN INFORMAL DEL MODELO.....	40
3.4.1 COMPONENTES PARA EL DIAGNÓSTICO DE GASTRITIS CRÓNICA ...	40
3.4.2 VARIABLES DEL MODELO	42
3.4.3 INTERACCIÓN ENTRE COMPONENTES.....	43
3.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO	45
3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL LENGUAJE	45
3.5.2 PRESENTACIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	45
3.6 DESCRIPCIÓN FORMAL DEL MODELO.....	55
3.7 FORMALIZACIÓN	57
3.7.1 MOTOR DE INFERENCIA	61
3.8 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	73
3.8.1 ETAPAS BÁSICAS EN PRUEBA DE HIPÓTESIS	74
3.8.2 CONTRASTES DE RACHAS DE WALD - WOLFOWITZ.....	74
3.8.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	75

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES..... 80
4.2 RECOMENDACIONES 81

ANEXOS

ANEXO A: MAPA CONCEPTUAL 82
ANEXO B: CODIGO FUENTE DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA INTELIGENTE ... 85
ANEXO C: TABLA DISTRIBUCION NORNAL 87

BIBLIOGRAFÍA..... 88

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

FIGURA 2.1 MODELO GEOMETRICO DEL METODO CIENTIFICO.....	13
FIGURA 2.2 CAMPOS QUE ABARCA LOS SI.....	17
FIGURA 2.3 DEFINICION DE SISTEMA INTELIGENTE.....	19
FIGURA 2.4 ESTRUCTURA DE SISTEMA INTELIGENTE.....	21
FIGURA 2.5 APARATO GASTROINTESTINAL.....	32
FIGURA 2.6 GASTRITIS CRONICA.....	34

CAPITULO III

FIGURA 3.1 CONSTRUCCION DE LA RED BAYESIANA.....	39
FIGURA 3.2 ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO.....	40
FIGURA 3.3 PROCESO MEDICO PARA DETERMINAR LA GASTRITIS CRONICA.....	41
FIGURA 3.4 MODELO DE SISTEMA INTELIGENTE.....	42
FIGURA 3.5 RED BAYESIANA PROPUESTA.....	44
FIGURA 3.6 PANTALLA INICIAL DEL PROGRAMA ELVIRA.....	47
FIGURA 3.7 PROPIEDAD DEL NODO.....	47
FIGURA 3.8 PROBABILIDADES CONDICIONALES PARA EL NODO DOLOR EPIGASTRICO.....	48
FIGURA 3.9 REPRESENTACION GRAFICA DE LA RED.....	49
FIGURA 3.10 PROCESO DE INFERENCIA A PRIORI.....	49
FIGURA 3.11 CONSTRUCCION DE LA RED BAYESIANA.....	50
FIGURA 3.12 DATOS DEL PACIENTE.....	51
FIGURA 3.13 SELECCIÓN Y GRADO DE PROBABILIDAD DE LOS SINTOMAS.....	52
FIGURA 3.14 RESULTADO DE DIAGNOSTICO, CASO 1.....	53

FIGURA 3.15 DATOS DEL PACIENTE Y SELECCIÓN DE SINTOMAS.....	54
FIGURA 3.16 RESULTADO DE DIAGNOSTICO, CASO 2.....	55
FIGURA 3.17 REPRESENTACION DEL MODELO.....	56
FIGURA 3.18 NODO GASTRITIS CRONICA NO ATROFICA CON NODOS HIJOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II

TABLA 2.1 CATEGORIAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	16
TABLA 2.2 DEFINICIONES DE LAS CATEGORIAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	16

CAPITULO III

TABLA 3.1 VARIABLES IDENTIFICADAS.....	43
TABLA 3.2 SINTOMAS DE ENTRADA, CASO 1.....	52
TABLA 3.3 SINTOMAS DE ENTRADA, CASO 2.....	54
TABLA 3.4 TABLA BINARIA DE LAS VARIABLES IDENTIFICADAS.....	61
TABLA 3.5 PROBABILIDAD A PRIORI DEL NODO GASTRITIS CRONICA NO ATROFICA P(G).....	62
TABLA 3.6 PROBABILIDADES A PRIORI DE LOS NODOS GASTRITIS CRONICA NO ATROFICA Y DOLOR EPIGASTRICO.....	63
TABLA 3.7 PROBABILIDADES CONDICIONALES PARA EL NODO DOLOR EPIGASTRICO.....	64
TABLA 3.8 PROBABILIDADES A PRIORI DE LOS NODOS DOLOR EPIGASTRICO Y ACIDEZ.....	70
TABLA 3.9 PROBABILIDADES CONDICIONALES DE LOS NODOS DOLOR EPIGASTRICO Y ACIDEZ.....	70
TABLA 3.10 CASOS DE ESTUDIO.....	78

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

En los siglos XXI, la ciencia y la tecnología se enfrentan al reto de encontrar e implementar mejores y más sofisticadas soluciones en el área de la computación, con su amplísimo rango de ámbitos de aplicación, como respuesta a la siempre creciente demanda de la sociedad, de la industria y de la humanidad en general.

En este tipo de situaciones, la Inteligencia Artificial ofrece perspectivas interesantes ya que es capaz de suministrar metodologías que permiten realizar de forma automática algunas de las tareas realizadas típicamente por los humanos, además que reúne características y comportamientos asimilables al de la inteligencia humana o animal.

Un sistema inteligente incluye tener conocimiento permitiendo recibir información de su entorno. Puede tener una memoria para archivar el resultado de sus acciones. Tiene un objetivo. Otorga conocimiento para lograr, mejorar el rendimiento y eficiencia de un experto humano.

La medicina es un campo de la Ciencia muy amplia donde se va descubriendo mas enfermedades y estudiando a estas con las tecnologías necesarias.

Se les llama enfermedad gastrointestinal, a todas aquellas enfermedades que dañan el sistema digestivo y que puedan afectar el desarrollo normal.

Entre las dolencias más comunes que los médicos deben tratar, se encuentran las enfermedades del estómago, el órgano que recibe, almacena y digiere parcialmente

la comida después que se le conoce como Bolo alimenticio en los primeros estadios de la digestión humana.

La gastritis, es una inflamación de la mucosa del intestino que se origina principalmente por una dieta inadecuada con horarios inconstantes, que suele provocar dolor abdominal, náuseas y vómitos. Puede estar causada por la bacteria *Helicobacter pylori*, una infección viral, o puede deberse al estrés, reacciones al alcohol, drogas, o a determinadas sustancias. Es necesario identificar el agente causante para poder tratar la inflamación. Es interesante observar que actualmente hay un gran número de jóvenes y niños pequeños que padecen esta afección, por lo cual, es importante valorar qué es lo que la provoca y los remedios para prevenirla y combatirla.

El presente trabajo de investigación, ofrece un Sistema Inteligente el cual nos permite dar un diagnóstico de gastritis del paciente. Para la construcción del Sistema Inteligente se diseña la Red Bayesiana con la información proporcionada por el profesional en Gastroenterología.

1.2 ANTECEDENTES

Un Sistema Inteligente, aprende durante su existencia (en otras palabras, siente su entorno y aprende para cada situación que se presenta, realiza cierta acción que le permite alcanzar sus objetivos), actúa continuamente, en forma mental y externa, y al accionar alcanza sus objetivos más frecuentemente que lo que indica la casualidad pura (normalmente mucho más frecuentemente).

Los Sistema inteligentes son meramente sistemas software que muestran un cierto comportamiento inteligente o interactúan de una forma más inteligente con su entorno que otros sistemas.

Por otro lado la gastritis es una inflamación de la pared del estómago. Puede afectar parte o todo el estómago. Las causas principales son: el abuso de medicamentos para la inflamación (como la aspirina, diclofenaco y otros), una dieta inadecuada, o la infección por la bacteria *Helicobacter pylori*. No todas las personas que presentan la bacteria requieren tratamiento.

La mayoría de casos de gastritis mejora rápidamente una vez iniciado el tratamiento. Si la gastritis no es tratada, puede haber pérdida sanguínea excesiva, o en algunos casos hay aumento del riesgo del desarrollo de cáncer gástrico.

El estómago tiene dos funciones fundamentales: la secretora, que inicia el proceso de la digestión, y la motora, que tritura, mezcla y finalmente evacua el quimo hacia el duodeno.

Se denomina gastritis a toda lesión inflamatoria que afecte a la mucosa gástrica. Según la morfología, se clasifica en:

- Gastritis aguda
- Gastritis crónica

En la carrera de Informática y en otras instituciones se realizaron los siguientes proyectos relacionados con la investigación:

Sistema Inteligente para la detección y diagnóstico de Patología Mamaria, realizado por Vilarrasa A., el año 2005, en la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Medicina, Departamento de Radiología y Medicina Física, donde se emplea técnicas de visión artificial para detectar y extraer las características de las lesiones mamarias, y Redes Neuronales Artificiales (RNAs) para el propósito y clasificación patológica.

Sistema Inteligente de diagnóstico de tumores cerebrales, realizado por Bellido A., el año 2009, de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), cuyo grupo de investigación han diseñado un Sistema Inteligente de apoyo al diagnóstico de tumores cerebrales, se basa en los datos que se obtienen con una espectrometría de resonancia magnética del tumor.

Sistema Inteligente de diagnóstico del Alzheimer de forma precoz mediante procesado de imágenes del cerebro, realizado por Ramirez J., el año 2010, en la Universidad de Granada, donde un grupo de investigación SiPBA (Procesado de Señal y Aplicaciones) han diseñado un Sistema Inteligente que podía anticipar el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas, mediante un algoritmo de interpretación de imágenes cerebrales y que cuenta con una precisión de 95%.

Diagnóstico y proyección de tratamiento de Ulceras en el Estomago, por Montero Silvia, el año 2001, de la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática, cuyo objetivo es desarrollar un prototipo de Sistema Experto en diagnóstico de Ulceras Estomacales. Donde utiliza una base de conocimientos utilizando Redes Bayesianas.

En la carrera de Informática de la Universidad Mayor de San Andrés, no se encontraron proyectos de investigación sobre Sistemas Inteligentes en el área de la medicina. Es por ello que se propone el presente prototipo de Sistema Inteligente para diagnóstico de Gastritis, ya que un Sistema Inteligente muestra un cierto comportamiento inteligente o interactúan de una forma más inteligente con su entorno que otros sistemas; como también estando la gastritis en un número elevado de casos en Bolivia¹.

¹ Reporte dado por la Colaboración Médica Cubana

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La pobreza es un factor muy importante para no acceder a un especialista. La economía en la familia, la falta de tiempo, además de no dar importancia ante ciertos malestares que presenta la gastritis crónica, son suficientes razones para agravar la enfermedad.

Un elemento es la falta de conocimiento cualitativo sobre los problemas que una persona le podría aquejar en su organismo.

En algunos Centros de Salud u Hospitales no proveen suficiente información al paciente y si los dan son muy escasas, pues la gastritis, es una patología delicada que se ha tornado en los últimos tiempos en una verdadera epidemia a nivel mundial, característico de los grandes conglomerados sociales².

Esta enfermedad, es una plaga social, pues degenera progresivamente el estomago hasta permitir el desarrollo de patologías cancerosas, si ésta no recibe un tratamiento adecuado por el médico especialista.

1.3.1 PROBLEMAS SECUNDARIOS

Para el estudio del presente trabajo de investigación se encontraron diversos problemas, a continuación se da a conocer los problemas identificados:

- Aplicar un proceso de ingeniería de conocimiento para el logro de un producto computacional.
- La consulta a personal médico no especializado, puede ocasionar el diagnóstico inadecuado.
- La falta de decisión para dar un diagnóstico correcto al paciente le puede ocasionar daños irreversibles.

² Instituto Latinoamericano de Medicina Natural

- No contar con médicos especialistas en horarios fuera de consulta, provocaría en ocasiones el empeoramiento del paciente.
- La atención del gastroenterólogo no es automático y rápido, cuando se quiere diagnosticar un gran número de pacientes.

1.3.2 PROBLEMA CENTRAL

¿De qué manera se puede realizar diagnósticos confiables³ con respecto a la gastritis para ayudar a la toma de decisiones al momento de dar el tratamiento al paciente?

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El Sistema Inteligente es factible con una adecuada aplicación se reduce los gastos que implica la consulta, se reduce la lista de espera de los pacientes y aumenta la calidad de atención sin incremento del personal especializado, lo que permitiría ahorrar el dinero destinado cada año para el pago de los servicios a los profesionales especializados en el área.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Una forma de obtener e interpretar información útil en la toma de decisiones, es mediante métodos automáticos de apoyo al diagnóstico, ya que en algunos casos se carecen de cierta información clínica. El error humano suele darse por desconocimiento de los datos o de su interpretación, o por no haber tenido en cuenta algún factor, algo que no ocurre con la computadora.

El prototipo del presente trabajo pretende servir de ayuda al médico no especialista en gastroenterología, ofreciéndole más elementos de juicio a la hora de establecer

³A lo largo del documento se entiende por confiable el obtener resultados con un mínimo grado de error.

un diagnóstico y de decidir qué acciones han de tomarse ante un determinado caso. También ayudaría a pacientes de escasos recursos que necesiten una consulta por problemas gastrointestinales.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

Los beneficios científicos podríamos expresarlos en una mayor eficiencia y fiabilidad diagnóstica, siendo un paso más en la automatización de los sistemas de apoyo al diagnóstico en gastroenterología.

El Sistema Inteligente puede actuar como sistema especializado de apoyo a la consulta clínica, aportando elementos importantes en la toma de decisión de los clínicos, siendo de especial relevancia, en aquellos Centros de Salud o lugares donde la escasez de especialistas es más acusada.⁴

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar una metodología para el diseño e implementación del Sistema Inteligente.
- Construir una base de conocimiento en base a la experiencia del experto humano.
- Formalizar el conocimiento del experto humano utilizando Redes Bayesianas.
- Construir un prototipo del Sistema Inteligente que demuestre la funcionalidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.
- Evaluar los resultados del Sistema Inteligente mediante la comparación con diagnósticos emitidos por el experto humano.

⁴ Existen pueblos lejos de la ciudad que no cuentan con especialistas gastroenterólogos.

1.5.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de Sistema Inteligente para realizar el diagnóstico de la Gastritis ayudando a la toma de decisiones confiables.

1.6 HIPÓTESIS

Las Redes Bayesianas permiten representar el conocimiento del Sistema Inteligente para que éste pueda presentar diagnósticos confiables de la gastritis.

1.7 ALCANCES Y APORTES

1.7.1 ALCANCES

- ✓ En cuanto al área elegida, ésta es muy extensa por lo que el estudio se realizará en una enfermedad específica de la gastritis: la gastritis crónica no atrófica.
- ✓ El presente trabajo realiza el diagnóstico de la gastritis, basándose fundamentalmente en métodos y técnicas que provienen del campo de las redes probabilísticas, más propiamente de las Redes Bayesianas.
- ✓ A través del conocimiento del especialista gastroenterólogo se diseña el Sistema Inteligente de tal manera que permita la construcción del prototipo del mismo, lo que favorece al área de la gastroenterología y la Inteligencia Artificial.
- ✓ Se realizará solamente el diagnóstico a personas que presenten los síntomas de la gastritis crónica no atrófica.
- ✓ El Sistema Inteligente ofrecerá de manera rápida el diagnóstico de la gastritis crónica no atrófica.
- ✓ El prototipo de Sistema Inteligente servirá de apoyo al médico no especialista, como también al médico especialista en el área, para ayudar a la toma de decisiones.

- ✓ El trabajo de investigación toma como privilegio la ingeniería del conocimiento que el Sistema Inteligente puede tener, por lo que solo se avocará en cómo se puede representar el diagnóstico de la Gastritis Crónica No Atrófica.

1.7.2 APORTES

El aporte que se propone, es la construcción de la base de conocimiento, utilizando mecanismos bayesianos, que permitirá un tratamiento normativo de la incertidumbre, es decir, un tratamiento ajustado a los axiomas de la teoría de la probabilidad.

El presente trabajo es una obra que tratará todos los aspectos de las redes bayesianas como ser: axiomas, explicación, obtención y representación del conocimiento.

Con este trabajo de investigación, se intenta aumentar la confiabilidad de los resultados para diagnósticos en el área de la gastroenterología, con el fin de apoyar a la toma de decisiones al médico especialista y no especialista en el área. Y con esta dar paso a nuevas investigaciones.

1.8 METODOLOGÍAS EMPLEADAS

El método es el camino teórico, los medios constituyen los procedimientos concretos que el investigador utiliza para lograr la información.

El desarrollo de la presente tesis se apoya en el método científico, que sirve de guía para la organización del proceso de investigación, mediante los mismos se cubrirá los requerimientos necesarios para llegar al cumplimiento de los objetivos planteados.

Por otro lado para tratar la ingeniería del conocimiento se utiliza la Red Bayesiana, que es un grafo acíclico cuyos nodos son variables y los arcos representan relaciones de influencia causal entre ellos. Una Red Bayesiana consta de los siguientes elementos:

- ❖ Un conjunto de variables, $\{X_i\}$, cada una de las cuales puede tomar varios valores.
- ❖ Un grafo acíclico conexo, tal que cada nodo representa una de las variables anteriores y cada variable le corresponde un nodo.
- ❖ Una distribución de probabilidad condicionada para cada variable, donde la probabilidad condicionada es simplemente la probabilidad a priori.

La definición de Redes Bayesianas permite identificar dos modelos, uno cuantitativo representado por un grafo, el que posteriormente hace un paso a un nivel cualitativo haciendo uso de probabilidades a priori y condicionales.

Para el desarrollo del Sistema Inteligente se utilizará una herramienta Shell, basada en conocimiento que permita evaluar redes bayesianas.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

La Inteligencia Artificial (IA) es una acepción acuñada en torno a mediados del siglo XX, cuyo desarrollo se ha caracterizado por una sucesión de periodos alternativos de éxito y abandono de la misma. La idea intuitiva de Inteligencia Artificial creó unas expectativas que no siempre se han visto cubiertas, y desde luego, no en el grado en el que se había esperado de forma un tanto ilusoria. [Pajares, 2006]

Pero actualmente se puede considerar que el enfoque computacional inteligente no depende de inmediatos y probados resultados, sino que está avalado por sus logros y su desarrollo a lo largo de varias décadas, por lo que se ha consolidado en el ámbito de la computación como una acepción totalmente asumida aunque sometida todavía a controversia en algunos sectores científicos. [Russell, 2004]

La Inteligencia Artificial ha tenido siempre como modelo natural las funcionalidades inteligentes del hombre, la habilidad de percibir y adaptarse al entorno, tomar decisiones y realizar acciones de control, focalizándose en distintos aspectos. Su primera motivación, que data de centurias atrás, fue intentar construir maquinas que pudieran pensar como el ser humano, o al menos, emularle en alguna capacidad que denotara cierta inteligencia. Por ello la Inteligencia Artificial está ayudando a expandir el horizonte del tratamiento de la información, vía redes neuronales, procesadores fuzzy, redes bayesianas, todo apunta a la expansión de las técnicas computacionales.

2.1 MÉTODO CIENTÍFICO

El Método Científico, es básicamente el medio principal que es aplicado para la concreción de presente trabajo de investigación. La aplicación de esta metodología contempla la realización secuencial de las siguientes etapas:

- ❖ **El problema:** Los problemas no se inventan, entonces ¿Cómo surgen?, se requiere un observador perspicaz que detecte una incongruencia entre lo observado con las teorías y modelos vigente.
- ❖ **La hipótesis:** Es una tentativa de explicación, que debe ser cometida a prueba por los hechos que pretende explicar.
Las hipótesis pueden ser contrarias al sentido común, o bien estar de acuerdo con él, así como darse el caso de que sea correcta o incorrecta. De todos modos siempre debe conducir a pruebas empíricas.
- ❖ **Las predicciones:** Corresponden a hechos particulares que se deducen como consecuencias de cierta hipótesis.
- ❖ **El test o prueba:** Es el procedimiento de observación o experimento necesario para comprobar la predicción respectiva.
- ❖ **Las evidencias:** Corresponden a los resultados tangibles que quedan de la prueba.
Al realizar las pruebas se podrá tener información que evidencien las fortalezas y debilidades, la cual será utilizada para poder mejorar el sistema inteligente.
- ❖ **La nueva teoría:** Cuando finalmente se acepta la validez de una hipótesis, esta constituye la base de una nueva teoría que puede considerar nuevos modelos.
- ❖ **Nuevas observaciones:** La aplicación de la nueva teoría a la realidad permite dar interpretaciones más ajustadas a los hechos que se van observando. Si algún observador encuentra que ciertos hechos ya no encajan con la teoría o el modelo explicatorio y su interpretación no funciona para ellos, entonces tenemos una nueva situación problemática que habrá que resolver.

- ❖ **Las aplicaciones prácticas:** Invariablemente después de algún tiempo, van surgiendo productos y procesos tecnológicos a partir de los nuevos descubrimientos científicos.

Al concluir este trabajo servirá como base para la investigación de nuevas aplicaciones por medio de sistemas inteligentes en la medicina. En la figura 2.1 se muestra toda la explicación anterior.

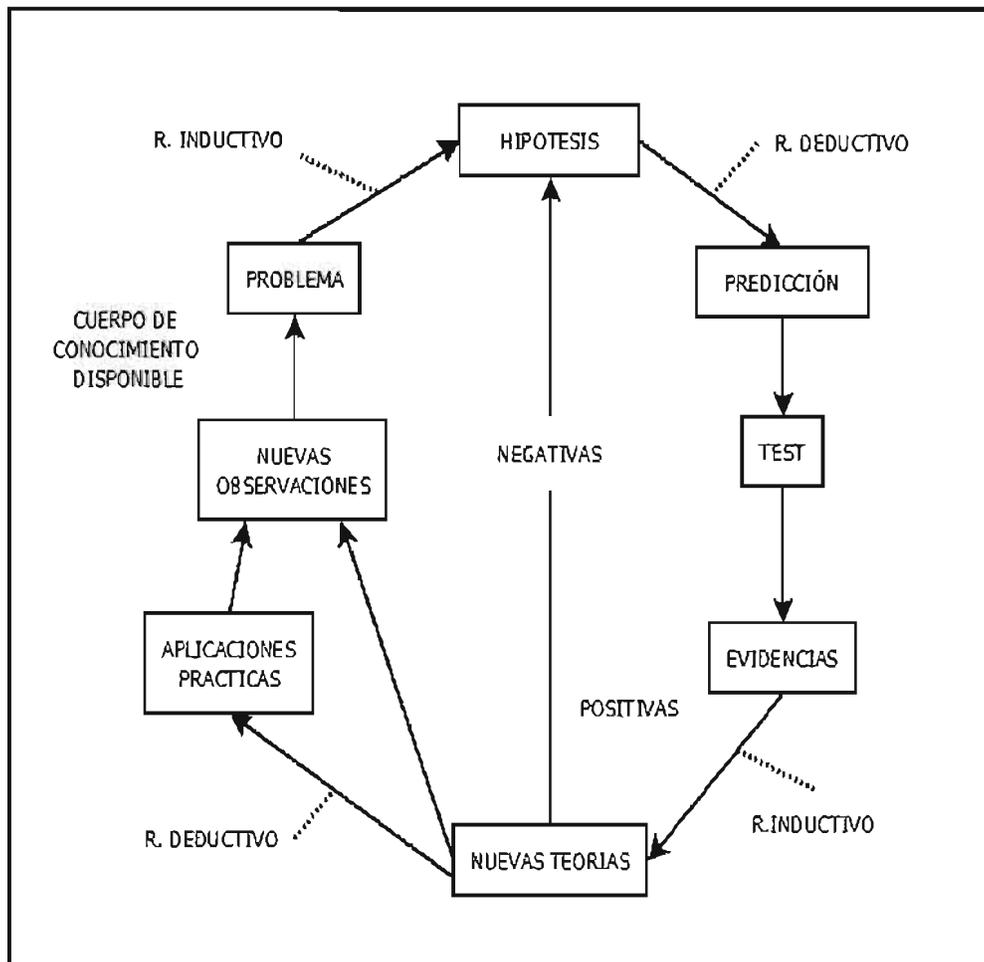


Figura 2.1 Modelo Geométrico del Método Científico

Fuente: [Samper, 2006]

- a. **Método inductivo:** Este método se lo utilizó para la formación de la hipótesis, plantear como partiendo de casos particulares que son una parte del universo, los cuales basados en la experiencia del experto, se logra alimentar una base de conocimientos, para que posteriormente el sistema inteligente pueda realizar el diagnóstico en casos posteriores.
- b. **Método deductivo:** La deducción se aplica cuando el sistema inteligente partiendo de síntomas básicos del paciente, deduzca (empleando encadenamiento hacia atrás) el diagnóstico en base a la información almacenada en su base de conocimiento.

2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial es una rama de la Informática encargada del estudio de las facultades mentales y desarrollo que trata de replicar la inteligencia y el comportamiento inteligente de las personas en modelos computacionales, de hecho, John McCarthy, quién acuñó el término “Inteligencia Artificial” en 1956, la define como “la ciencia e ingeniería de hacer máquinas inteligentes”. Teniendo en cuenta que la Inteligencia es un término umbral que describe un estado mental en el que se han desarrollado diversas capacidades complejas, para poder simular o desarrollar en las máquinas este estado mental tendría que ser capaces de razonar, conocer, planificar, aprender, comunicarse, percibir y ser capaces de interactuar con su entorno. [Cortizo, 2008]

El gran objetivo (a muy largo plazo) de la Inteligencia Artificial es el desarrollo de un sistema capaz de exhibir todas estas habilidades de una forma conjunta y sobre una gran variedad de dominios, excediendo las habilidades de un ser humano. Este objetivo es lo que se denomina IA-fuerte (strong AI).⁵ [Cortizo, 2008]

⁵ IA, fuerte es la inteligencia artificial que iguala o supera la inteligencia humana – la inteligencia de una máquina que con éxito puede realizar cualquier tarea intelectual que un ser humano puede.

En palabras de Marvin Minsky, la Inteligencia Artificial es “el estudio de cómo programar computadoras que posean la facultad de hacer aquello que la mente humana puede realizar” o en sentido amplio: “La Inteligencia Artificial es una ciencia orientada al diseño y construcción de maquinas que implementen tareas propias de humanos dotados de inteligencia”. [Martinsaz, 2006]

En lugar de confiar en las habilidades del programador, un verdadero programa inteligente aprenderá de su experiencia por generalización y abstracción, emulando la mente humana, especialmente en su habilidad para razonar y aprender en un ambiente de incertidumbre, imprecisión, con información incompleta o errónea, etc.

De esta forma, es capaz de modelar y controlar una amplia variedad de sistemas complejos, constituyéndose en una herramienta efectiva para tratar con problemas no abordados hasta ahora por su complejidad o por la naturaleza de su información. Así se utiliza en general para la toma de decisiones y sus aplicaciones están relacionadas, entre otros ámbitos, con el comercio, las finanzas, la medicina, la robótica o la automatización.

La Inteligencia Artificial tiene como objetivo de estudio la comprensión y la construcción de entidades inteligentes. Dichas entidades son generalmente sistemas computacionales que tiene cierta capacidad de emular un comportamiento racional, a los que denominaremos “sistemas inteligentes”.

Sistemas que piensan como humanos. CIENCIA COGNOSCITIVA	Sistemas que piensan racionalmente. PRUEBA DE TURING
Sistemas que actúan como humanos. LOGICA MATEMÁTICA	Sistemas que actúan racionalmente. AGENTES

Tabla 2.1 Categorías de Inteligencia Artificial

Fuente: [Pacheco, 1999]

<p>"La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen...<i>máquinas con mente</i>, en su amplio sentido literal". (Haugeland, 1985).</p> <p>"[La automatización de] actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje..." (Bellman, 1978).</p>	<p>"El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales." (Chamiak y McDermott, 1985).</p> <p>"El estudio de los cálculos que permiten percibir, razonar y actuar." (Winston, 1992.)</p>
<p>"El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia." (Kurzweil, 1990.)</p> <p>"El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que por el momento los humanos hacen mejor." (Rich y Knight, 1991.)</p>	<p>"Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales." (Schalkoff, 1990.)</p> <p>"La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente." (Luger y Stubblefield, 1993.)</p>

Tabla 2.2 Definiciones de las categorías de Inteligencia Artificial

Fuente: [Pacheco, 1999]

2.3 SISTEMA INTELIGENTE (SI)

El estudio y desarrollo de sistemas inteligentes requiere significativos esfuerzos de investigación “multidisciplinarios” para integrar conceptos y métodos de distintas áreas tales como ciencias de la computación, inteligencia artificial, investigación operativa, gestión del conocimiento, tratamiento de la información, control, identificación, estimación, teoría de la comunicación , etc.

A continuación se muestra los campos que abarca los Sistemas Inteligentes:



Figura 2.2 Campos que abarca los SI

Fuente: [Cortizo, 2008]

Los Sistemas Inteligentes son meramente sistemas software que muestran un cierto comportamiento inteligente o interactúan de una forma más inteligente con su entorno que otros sistemas. Como se puede apreciar, la barrera entre un sistema software normal y un sistema inteligente queda un tanto difusa, al igual que la barrera entre los Sistemas Inteligentes y la Inteligencia Artificial. [Cortizo, 2008]

2.3.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA INTELIGENTE

Existen muchas definiciones de **inteligencia**, pero para este propósito se utiliza la siguiente: la inteligencia es la capacidad de alcanzar nuestros objetivos. Un sistema tiene mayor inteligencia si alcanza sus objetivos más rápidamente y más fácilmente. La inteligencia incluye la capacidad de **aprender** a lograrlo. La inteligencia de un sistema es una propiedad de su mente. El funcionamiento del cerebro se denomina "mente".

Una característica procedural de la inteligencia es la siguiente:

“La inteligencia es una propiedad del sistema que emerge cuando los procedimientos de focalizar la atención, búsqueda combinatoria y generalización son aplicados a la información de entrada en orden a producir la salida”. [Martisaz, 2006]

Se puede definir un comportamiento inteligente, quizás porque se puede entender que hay distintos tipos de inteligencia. Por ejemplo, el hecho de ser capaz de recopilar información y a partir de ella decidir por sí misma, así como el hecho de ser capaz de procesar información incompleta o con incertidumbre, o aprender de ejemplos, etc. [Rusell, 2004]

Un **sistema** es parte del universo, con una extensión limitada en espacio y tiempo. Existen más correlaciones o correlaciones más fuertes entre una parte del sistema y otra, que entre esa parte del sistema y partes fuera del sistema. [Martisaz, 2006]

Un **sistema inteligente** es un sistema que tiene su propio objetivo principal ya que tiene la habilidad de actuar apropiadamente en un entorno con incertidumbre, así como sentidos y efectores. Para alcanzar su objetivo elige una acción basada en sus experiencias, donde una acción adecuada es la que aumenta la probabilidad del éxito, y el éxito es la consecuencia de los sub objetivos de comportamiento que respaldan el último objetivo del sistema. Puede aprender generalizando las

experiencias que ha guardado en su memoria. Debe ser altamente adaptable a cambios significativos impredecibles, por lo que el aprendizaje es esencial. Los ejemplos de sistemas inteligentes son: personas, animales superiores, robots, un negocio, una nación, etc. [Fritz, 2006]

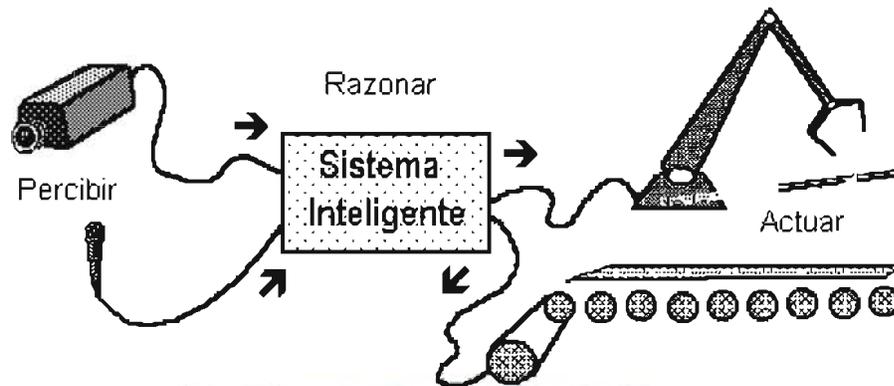


Figura 2.3 Definición de Sistema Inteligente

Fuente: [Pacheco, 1999]

2.3.2 ESTRUCTURA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA INTELIGENTE

Los procesos principales que ocurren dentro de los sistemas inteligentes son los siguientes: El Sistema Inteligente tiene un objetivo temporario, que ha derivado de su **objetivo** principal. Siente su **entorno**, a pesar de que debemos ser conscientes de que sólo posee unos pocos sentidos, y que éstos solamente pueden captar, por ejemplo, la luz y el sonido de un objeto, pero no pueden captar o conocer el objeto mismo.

El sistema luego almacena estas impresiones sensoriales como conceptos elementales. Los conceptos son una forma material de almacenar información.

Trabajando con conceptos, el sistema crea nuevos conceptos y almacena la relación que tienen éstos con otros conceptos totales, parciales, abstractos y concretos.

Por supuesto que hay una diferencia entre un **objeto** o un hecho del **entorno**, el concepto que el sistema utiliza para su procesamiento interno y la palabra que utiliza para transmitir el concepto.

Los sistemas más inteligentes, deberían controlar, la información entrante antes de continuar con los demás procesos internos. Después el sistema define la situación actual aplicando toda la información recibida, expresada como conceptos. Ahora busca en su memoria y encuentra “reglas de actuación” que pueden ser aplicables. Elige una de las mejores y realiza la acción correspondiente. Las reglas de actuación son un campo de almacenamiento que incluye la situación actual, a la que la regla es aplicable y la acción correspondiente. [Fritz, 2006]

El sistema inteligente almacena continuamente la situación actual y la acción hecha como regla de actuación. Las primeras reglas de actuación son la consecuencia de acciones casuales y de la enseñanza.

Otras comparaciones se realizan entre la **situación** y la **acción** de una serie de reglas de actuación recientemente aprendidas, como también las comparaciones entre situaciones de diferentes reglas de actuación que se presentan y las acciones de las mismas. Con todas estas actividades y partiendo de reglas de actuación muy concretas, el sistema crea reglas de actuación que son aplicables a varias situaciones diferentes pero similares. [Fritz, 2006]

Después de un tiempo, la **memoria** está llena y el sistema “olvida” los conceptos y las reglas de actuación menos usados.

La forma más sencilla de presentar una vista general de la estructura es la de hacerlo mediante un diagrama representativo.

Como se puede ver en la figura 2.4, el SI es fundamentalmente un tipo de sistema de estímulo y respuesta. El estímulo es la suma de comunicaciones que entran a través de los sentidos. De ahí el cerebro extrae la información y la representa como una situación.

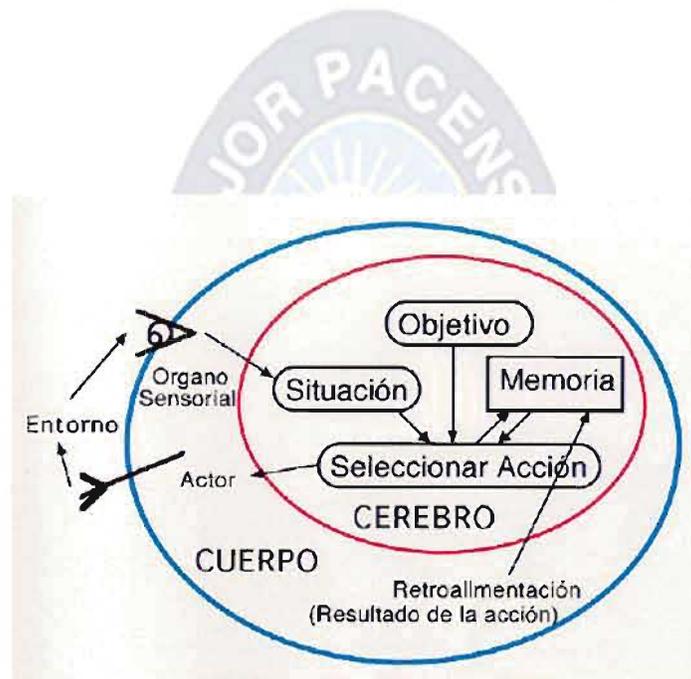


Figura 2.4 Estructura de Sistema Inteligente

Fuente: [Fritz, 2006]

Luego el SI selecciona una regla de actuación apropiada a la situación y realiza la parte de la respuesta de esa regla. Se entiende por “apropiada” que la realización de la respuesta le permite al sistema acercarse mas a la situación que es su objetivo. [Fritz, 2006]

El SI selecciona su regla de actuación entre las que están almacenadas en su memoria. El SI ha acumulado en esta memoria reglas de actuación generadas a partir de experiencias anteriores y de generalizaciones basadas en reglas de actuación anteriormente elaboradas. [Fritz, 2006]

El **entorno** de un sistema es aquella parte del universo que está en comunicación con el sistema, pero que no es parte del sistema. [Fritz, 2006]

El **cerebro** es la parte física de un sistema inteligente (SI) donde funciona la mente el cual constituye los procesos y las memorias dentro del cerebro del SI. Los procesos principales son los que transforman las sensaciones en conceptos, representando la situación actual por medio de conceptos, eligiendo una regla de actuación y respondiendo de acuerdo a ella. La creación de conceptos de un nivel superior y de reglas de actuación son otros procesos involucrados. Las memorias son los conceptos y las reglas de actuación que han sido archivados. [Fritz, 2006]

Un **objetivo** es una situación determinada que algunos sistemas tratan de alcanzar. Normalmente hay muchos niveles de objetivos; nos referimos a ellos como a "**subobjetivos**" y los **subobjetivos** de estos. [Fritz, 2006]

La **situación** consiste en una serie de conceptos que, en algunos sistemas, son la expresión de la información extraída de su entorno a través de los sentidos. El sistema expresa la situación con conceptos de un nivel elemental o superior.

Una **acción** es la salida del sistema, relacionada con una entrada sensorial. Cambia el entorno. La acción es la implementación (el hacer) de la segunda parte de una regla de actuación. [Fritz, 2006]

Una **regla de actuación** es el resultado de una experiencia, es el almacenamiento físico por parte del SI de una situación, de la respuesta correspondiente y del resultado. Es algo similar al reflejo “estimulo - respuesta”, término usado en biología, o una regla. [Fritz, 2006]

El **Estímulo** es la entrada a un sistema. La entrada es la comunicación que el sistema ha recibido en determinado momento desde el entorno. [Fritz, 2006]

La **respuesta** es aquella parte de la regla de actuación que nos indica qué es lo que el SI debiera hacer en una determinada situación. Es uno o más conceptos cuya ejecución, realizada por los elementos físicos del sistema, produce un cambio en el entorno. [Fritz, 2006]

La **Memoria** constituye los procesos y las memorias dentro del cerebro del SI. Los procesos principales transforman las sensaciones en conceptos, representando la situación actual por medio de conceptos, eligiendo una regla de actuación y respondiendo de acuerdo a ella. [Fritz, 2006]

2.4 REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Una red bayesiana representa relaciones causales en el dominio del conocimiento a través de una estructura gráfica y las tablas de probabilidad condicional entre los nodos, por lo tanto el conocimiento que representa la red está compuesto por los siguientes elementos:

- Un conjunto de nodos $\{x_i\}$ que representan cada una de las variables del modelo. Cada una de ellas tiene un conjunto exhaustivo de estados $\{x_i\}$ mutuamente excluyentes.

- Un conjunto de enlaces o arcos (X_i, X_j) entre aquellos nodos que tienen una relación causal. De esta manera todas las relaciones están explícitamente representadas en el grafo.
- Una tabla de probabilidad condicional asociada a cada nodo X_i indicando la probabilidad de sus estados para cada combinación de los estados de sus padres. Si un nodo no tiene padres se indican sus probabilidades a priori.

Una vez que se ha diseñado la estructura de la red y se han especificado todas las tablas de probabilidad condicional se está en condiciones de conocer la probabilidad de una determinada variable dependiendo del estado de cualquier combinación del resto de variables de la red; para ello se debe calcular la probabilidad a posteriori de cada variable condicionada a la evidencia; dichas probabilidades se podrán obtener de forma inmediata a partir de la probabilidad conjunta de todas las variables $P(X_1, X_2, \dots, X_i)$.

La estructura de una red bayesianas se puede determinar de la siguiente manera:

- ✓ Se asigna un vértice o nodo a cada variable (x_i) y se indica de que otros vértices es una causa directa; a este conjunto de vértices “causa del nodo x_i ” se lo denota como el conjunto πx_i y se lo llamará “padres de x_i ”.
- ✓ Se une cada padre con sus hijos con flechas que parten de los padres y llegan a los hijos.
- ✓ A cada variable x_i se le asigna una matriz $P(x_i | \pi x_i)$ que estima la probabilidad condicional de un evento $X_i = x_i$ dada una combinación de valores de los πx_i .

2.5 REDES BAYESIANAS

Las redes bayesianas también son denominadas como redes causales, redes probabilísticas, diagramas de influencia, modelos gráficos y redes de creencia. Son una representación gráfica de dependencia para razonamiento probabilístico, en los cuales los nodos representan variables proposicionales y los arcos de dependencia

probabilística. Las redes bayesianas permiten representar de manera gráfica las variables, las cuales tienen definido la función de probabilidades.

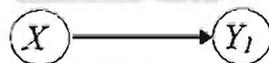
2.5.1 PRESENTACIÓN INTUITIVA

Antes de presentar formalmente la teoría matemática de las redes bayesianas, se explicará mediante ejemplos sencillos el significado intuitivo de los conceptos que después introduciremos.

En una red bayesiana, cada nodo corresponde a una variable, que a su vez representa una entidad del mundo real. Por tanto, de aquí en adelante hablaremos indistintamente de nodos y variables, y los denotaremos con letras mayúsculas, como X . Utilizaremos la misma letra en minúscula, x , para referirnos a un valor cualquiera de la variable X . Los arcos que unen los nodos indican relaciones de *influencia causal*.

Ejemplo.

La red bayesiana no trivial más simple que podemos imaginar consta de dos variables, que llamaremos X e Y_1 , y un arco desde la primera hasta la segunda.



Para concretar el ejemplo, supongamos que X representa paludismo e Y_1 representa gota gruesa, que es la prueba más habitual para detectar la presencia de dicha enfermedad.

Cuando X sea una variable binaria, denotaremos por $+x$ la presencia de aquello a lo que representa y por $\neg x$ a su ausencia. Así, por ejemplo en este caso $+x$

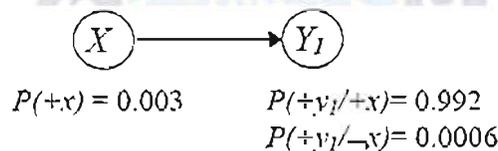
significará “el paciente tiene paludismo” y/ $\neg x$ “el paciente no tiene paludismo; $+y_1$ significará un resultado positivo del test de la gota gruesa y/ $\neg y_1$ un resultado negativo.

La información cuantitativa de una red bayesiana viene dada por:

- La probabilidad a priori de los nodos que no tienen padres.
- La probabilidad condicionada de los nodos con padres.

Por tanto, en nuestro ejemplo, los datos que debemos conocer son $P(x)$ y $P(y_1/x)$.

Así, la red bayesiana completa sería:



Veamos qué significado tienen en este caso estos valores:

- $P(+x) = 0.003$ indica que, a priori, un 0.3% de la población padece el paludismo. En medicina, esto se conoce como *prevalencia* de la enfermedad.
- $P(+y_1/+x) = 0.992$ indica que, cuando hay paludismo, el test de la gota gruesa da positivo en el 99.2% de los casos. Esto se conoce como *sensibilidad* del test.
- $P(+y_1/\neg x) = 0.0006$ indica que cuando no hay paludismo, el test de la gota gruesa da positivo en el 0.06% de los casos, y negativo en el 99.94%. A esta segunda probabilidad se la llama *especificidad* del test.

En medicina siempre se buscan las pruebas con mayor grado de sensibilidad y especificidad.

Conociendo estos datos, podemos calcular:

a) La probabilidad a priori de Y_1 ,

$$P(+y_1) = P(+y_1/+x) P(+x) + P(+y_1/-x) P(-x) = 0.00357.$$

$$P(-y_1) = P(-y_1/+x) P(+x) + P(-y_1/-x) P(-x) = 0.99643.$$

b) Las probabilidades a posteriori dada una evidencia observada e ,

$$P^*(x) = P(x/e).$$

Supongamos que el test de la gota gruesa ha dado positivo. ¿Qué probabilidad hay ahora de que la persona padezca la enfermedad? Si la prueba tuviese fiabilidad absoluta, esta probabilidad sería del 100%. Pero como existe la posibilidad de que haya habido un falso positivo, buscamos $P^*(+x) = P(+x/+y_1)$. Para calcularla, podemos aplicar el teorema de Bayes:

$$P^*(+x) = P(+x/+y_1) = \frac{P(+x) P(+y_1 / +x)}{P(+y_1)} = \frac{0.003 \cdot 0.992}{0.00357} = 0.83263$$

Es decir, de acuerdo con el resultado de la prueba, hay un 83,2% de probabilidad de que el paciente tenga paludismo.

De la misma forma podríamos calcular $P^*(-x)$:

$$P^*(-x) = P(-x/+y_1) = \frac{P(-x) P(+y_1 / -x)}{P(+y_1)} = \frac{0.997 \cdot 0.0006}{0.00357} = 0.16737$$

Que, por supuesto, es la probabilidad complementaria.

La expresión general del teorema de Bayes que hemos utilizado es:

$$P^*(x) = P(x/y) = \frac{P(x) P(y / x)}{P(y)}$$

2.5.2 DEFINICIÓN FORMAL DE RED BAYESIANA

Una red Bayesiana es un par (D,P) , donde D es un grafo dirigido acíclico,

$P = \{p(x_1|\pi_1), \dots, p(x_n|\pi_n)\}$ es un conjunto de n funciones de probabilidad condicionada, una para cada variable, y π_i es el conjunto de padres del nodo X_i en D . El conjunto P define una función de probabilidad asociada mediante la factorización:

$$P(x) = \prod_{i=1}^n P(X_i/\pi_i) \quad 2.1$$

a) Probabilidad conjunta

Dado un conjunto de variables $\{X, Y, \dots, Z\}$, la probabilidad conjunta especifica la probabilidad de cada combinación posible de estados de cada variable $P(x_i, y_j, \dots, z_k) \forall i, j, \dots, k$ de manera que se cumple:

$$\sum_{i,j,\dots,k} P(x_i, y_j, \dots, z_k) = 1 \quad 2.2$$

b) Probabilidad condicional

Dadas dos variables X e Y , la probabilidad de que ocurra j y dado que ocurrió el evento x_i es la probabilidad condicional de Y dado X y se denota como $p(y_j/x_i)$.

La probabilidad condicional por definición es:

$$P(y_j/x_i) = \frac{P(y_j, x_i)}{P(x_i)}, \text{ dado } P(x_i) > 0$$

Análogamente, si se intercambia el orden de las variables:

$$P(x_i/y_j) = \frac{P(y_j, x_i)}{P(y_j)}$$

A partir de las dos fórmulas anteriores se obtiene:

$$P(y_j/x_i) = \frac{P(y_j)P(x_i, y_j)}{P(x_i)}$$

esta expresión se conoce como el Teorema de Bayes que en su forma más general es:

$$P(y_j/x_i) = \frac{P(y_j)P(x_i, y_j)}{\sum_j P(y_j/x_i)P(y_j)} \quad 2.3$$

al denominador se lo conoce como el Teorema de la Probabilidad Total.

En las redes bayesianas el conjunto de valores que componen la probabilidad condicional de un hijo dados sus padres, se representa en las llamadas **tablas de probabilidad condicional**.

➤ Independencia

Dos variables X e Y son independientes si la ocurrencia de una no tiene que ver con la ocurrencia de la otra. Por definición se cumple que Y es independiente de X si y sólo si:

$$P(y_j/x_i) = P(y_j)P(x_i) \quad \forall i, j$$

esto implica que:

$$\begin{aligned} P(y_j/x_i) &= P(y_j) \quad \forall i, j \\ P(y_j/x_i) &= P(x_i) \quad \forall i, j \end{aligned} \quad 2.4$$

➤ Evidencia

Es el conjunto de observaciones $e = \{X = x, Y = y, \dots, Z = z\}$ en un momento dado.

➤ **Probabilidad a priori**

Es la probabilidad de una variable en ausencia de evidencia.

➤ **Probabilidad a posteriori**

Es la probabilidad de una variable condicionada a la existencia de una determinada evidencia; la probabilidad a posteriori de X cuando se dispone de la evidencia e se calcula como $P(X | e)$.

2.6 ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

Se les llama enfermedad gastrointestinal, a todas aquellas enfermedades que dañan el sistema digestivo. Los especialistas en tratar estos tipos de enfermedades se les llaman gastroenterólogos. [Natur Center, 2011]

La Gastroenterología, es la especialidad médica que estudia el sistema digestivo humano y las enfermedades que le pueden afectar en su desarrollo normal. Los especialistas en ese campo, llamados gastroenterólogos, estudian y tratan trastornos del esófago, el estómago, el intestino delgado, el intestino grueso, el colon y entre otros órganos de nuestro cuerpo que forma parte de este sistema. A este grupo de órganos, se le conoce como tracto gastrointestinal, así como del hígado, la vesícula biliar y otros órganos implicados en la digestión. [Cortizo, 2008]

2.6.1 ENFERMEDADES DEL TRACTO GASTROINTESTINAL

Entre las dolencias más comunes que los médicos deben tratar se encuentran las enfermedades del estómago, el órgano que recibe, almacena y digiere parcialmente la comida después que se le conoce como Bolo alimenticio en los primeros estadios de la digestión humana. La gastritis, por ejemplo, es una inflamación del revestimiento del estómago que suele provocar dolor abdominal, náuseas y vómitos. Puede estar supuestamente causada por la bacteria *Helicobacter pylori*, por una infección viral, o puede deberse al estrés, a distintas alergias, a reacciones al

alcohol, drogas, o a determinadas sustancias. Es necesario identificar el agente causante para poder tratar la inflamación. [Natur Center, 2011]

Los gastroenterólogos también están muy especializados en el tratamiento de úlceras pépticas, llagas y erosiones en el revestimiento del estómago o la primera porción del intestino delgado, llamada duodeno. Las úlceras superficiales causan indigestión y otras molestias; las úlceras responsables de erosiones más profundas pueden provocar una hemorragia abdominal que, en caso de no ser tratada, puede llevar a la muerte. En los últimos años, los investigadores han encontrado un vínculo sugestivo entre la *Helicobacter pylori* y las úlceras crónicas. Los gastroenterólogos prescriben antibióticos que matan esa bacteria, así como medicamentos que combaten la acidez del estómago o reducen la secreción de ácidos digestivos. [Calderón, 2009]

A continuación se presenta una breve descripción de la anatomía del aparato gastrointestinal, así como la enfermedad que se utilizará para el desarrollo del prototipo.

2.6.2 ANATOMÍA FISIOLÓGICA DEL APARATO GASTROINTESTINAL

El aparato gastrointestinal, o tubo digestivo, en esencia un tubo muscular largo con una cubierta interior que secreta jugos digestivos y absorbe nutrientes. La contracción de las fibras musculares longitudinales acorta el intestino y la contracción de la capa circular produce constricción del mismo. [Natur Center, 2011]

El revestimiento interior del intestino se llama mucosa, y está cubierto por un epitelio. Penetran glándulas pequeñas, llamadas glándulas mucosas, en las capas más profundas de la mucosa.



Figura 2.5 Aparato gastrointestinal

Fuente: [Natur Center, 2011]

Estas glándulas secretan jugos digestivos. En la figura 2.5 se aprecia el aparato gastrointestinal, desde la boca hasta el ano.

2.7 GASTRITIS

El conocimiento de la gastritis se basa principalmente en estudios de estructura y función de la mucosa gástrica. Se denomina gastritis a la lesión inflamatoria de la mucosa gástrica, producida en respuesta a la agresión de diferentes agentes endógenos y exógenos. [Calderón, 2009]

El estómago está cubierto de una membrana mucosa que debido a factores que la protegen, resiste muy bien los ácidos y enzimas que el mismo estómago segrega para digerir los alimentos. Cuando los factores defensivos son superados por los factores agresivos, la mucosa se puede irritar o inflamarse. A esta inflamación se le llama gastritis. Es: "Una afección extraordinariamente frecuente y que influye a

menudo muy desfavorablemente en el comportamiento en general y en el carácter de las personas afectadas, es la inflamación de la mucosa del estomago” (del griego: gaster=estomago; itis=inflamación). [Calderón, 2009]

Aunque el término se emplea para describir diferentes tipos de problemas, una de las causas más frecuentes de esta inflamación es la infección por una bacteria llamada *Helicobacter pylori*. Otras causas de gastritis son el abuso de alcohol, el estrés, ansiedad, incertidumbre, nerviosismo prolongado y el uso de medicamentos como algunos analgésicos y antiinflamatorios.

La infección por *Helicobacter pylori*, es tan común que se cree que la mitad de la población mundial está infectada, vive en el agua contaminada y de aquí se propaga a la tierra, alimentos, etc. Sin embargo, la mayoría de las personas no sufren ninguna manifestación. Solo en algunos casos, la bacteria puede dañar el recubrimiento interno del estómago dando origen a la gastritis y úlceras gástricas. Las razones por las que en algunas personas puede desarrollarse la enfermedad mientras que en otras no, no está muy clara, pero se cree que podrían estar relacionadas con factores del estilo de vida como el estrés y el tabaquismo. [Calderón, 2009]

La gastritis puede aparecer súbitamente (gastritis aguda), o puede irse desarrollando con el tiempo (gastritis crónica). En la mayoría de los casos, la gastritis puede mejorar rápidamente con el tratamiento adecuado, pero en ocasiones puede ser el origen de úlceras gástricas e incluso de cáncer. El diagnóstico se establece ya sea por la clínica, la endoscopia o el estudio histopatológico de la mucosa del estomago. [Calderón, 2009]

2.7.1 GASTRITIS CRÓNICA (GC)

La gastritis crónica, es por definición una entidad histopatológica que se caracteriza por inflamación crónica de la mucosa gástrica. Desde el descubrimiento del *H. pylori*,

que es factor más importante y común de las GC. Las lesiones histológicas se localizan en el antro, cuerpo gástrico o en ambos pudiendo ser su evolución progresiva hacia una atrofia gástrica. [Calderón, 2009]

La implicación de la infección por *Helicobacter pylori* en gran parte de las gastritis es la novedad más importante. Cuando no se encuentran lesiones orgánicas en el esófago ni en el estómago existe tendencia a denominar de forma errónea "gastritis" a aquellos cuadros con síntomas de pesadez, molestia abdominal, saciedad temprana, que debían englobarse en el término de dispepsia funcional o no ulcerosa. [Macías, 2007]

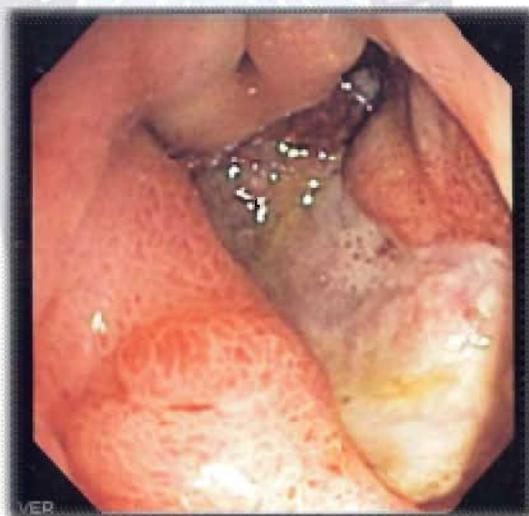


Figura 2.6 Gastritis crónica

Fuente: [Macías, 2007]

En ocasiones estos síntomas se asocian a la presencia de inflamación de la mucosa gástrica. La sintomatología habitual de este cuadro puede no diferir mucho de la que presentan los cuadros dispépticos, aunque a veces predomina el dolor, que puede

ser intenso, localizado en el abdomen superior y acompañado de ardor, acidez o quemazón en la zona epigástrica y que puede irradiarse hacia el tórax, generalmente de comienzo agudo y en relación con el antecedente inmediato de la ingesta de analgésicos o antiinflamatorios. [Macías, 2007]

Por último, algunas infecciones severas y algunas enfermedades metabólicas pueden dar lugar a la aparición de gastritis.

La Gastritis crónica no atrófica, se caracteriza por dolor epigástrico, sin pérdidas de glándulas. Puede localizarse, tanto en el antro como en el cuerpo gástrico.

2.7.2 SÍNTOMAS PARA DETECTAR LA GASTRITIS CRÓNICA

A continuación se enumeran los síntomas más comunes de la gastritis crónica. Sin embargo, cada individuo puede experimentarlos de una forma diferente. Los síntomas pueden incluir:

- ✓ Dolor de epigástrico
- ✓ Pérdida de apetito
- ✓ Ardor estomacal en la parte superior abdominal
- ✓ Náusea
- ✓ Vómitos
- ✓ Acidez
- ✓ Meteorismo
- ✓ Pirosis
- ✓ Pérdida de peso

Sin embargo la mayoría de las gastritis crónicas no se manifiestan mediante algún síntoma en particular. Por regla general, esta afección evoluciona a lo largo de varios años y termina por atrofiar la mucosa del estómago y reducir sus capacidades de

secreción. El riesgo de que una gastritis crónica evolucione hacia un cáncer de estómago es menor.

2.7.3 CAUSAS DE LA GASTRITIS CRÓNICA

Los factores son múltiples pudiendo agruparse en infecciosos, irritantes químicos y genéticos. En cuanto a la etiología infecciosa varios gérmenes pueden causar lesiones inflamatorias del tipo de gastritis crónica.

En general responden o son consecuencia de:

- ✓ Infección causada por el microbio *Helicobacter pylori*
- ✓ La ingesta de fármacos agresivos para la mucosa gástrica
- ✓ Antiinflamatorios y el ácido acetilsalicílico (aspirina).
- ✓ Transgresiones dietéticas
- ✓ Consumo excesivo de alcohol
- ✓ Consumo excesivo de tabaco
- ✓ El estrés, de cualquier origen, si es lo suficientemente intenso

CAPITULO III

3. MARCO APLICATIVO

Como se ha mencionado, un sistema inteligente es un sistema basado en conocimiento que tiene su dominio en la Inteligencia Artificial, es importante mencionar que para la construcción de un modelo basado en conocimiento se necesita mecanismos para la adquisición de conocimiento, considerada la tarea más complicada en la ingeniería del conocimiento y posteriormente la representación del conocimiento en atención a lo descrito.

3.1 MODELO CUALITATIVO

El modelo cualitativo del sistema inteligente que se está desarrollando requiere definir variables que representan alguna entidad del mundo real como por ejemplo síntomas, pruebas de laboratorio, hábitos adquiridos y otros. Cada variable constituye un nodo de la red. Estas variables por lo general tienen dos estados que representan la presencia o ausencia de la anomalía, aunque también existen variables que pueden presentar más de dos estados de la enfermedad.

Las variables constituyen un conjunto exclusivo y exhaustivo, esto significa que dos variables no pueden ser ciertas en un mismo tiempo y que una variable no puede tomar ningún valor fuera de un conjunto definido.

Las dos propiedades anteriormente mencionados diferencian a los modelos probabilísticos bayesianos de un modelo clásico, donde se podía definir variables como *enfermedad* que no cumple con las anteriores propiedades ya que esta variable engloba muchos tipos de enfermedad como ser gastritis crónica atrófica, gastritis crónica no atrófica, gastritis crónica de casos especiales, por lo que no es exclusivo ya que se puede dar una enfermedad que no se encuentre en el conjunto.

Para el sistema inteligente de diagnóstico de gastritis crónica, se definen variables de tipo anomalía como el caso de gastritis crónica no atrófica; cabe aclarar que se está tomando en cuenta el término anomalía para cumplir con las dos propiedades anteriores, puesto que médicamente este término representa un concepto diferente, hábitos ingestión de medicamentos irritantes al estomago, síntomas como dolor epigástrico.

3.2 MODELO CUANTITATIVO

La información cuantitativa de una red bayesiana viene dada por:

- ❖ La probabilidad a priori de los nodos que no tienen padre: estimada a partir de la experiencia previa, es decir antes de tener en cuenta la información relevante para el caso particular que se está diagnosticando.
- ❖ La probabilidad condicionada de los nodos con padres: condicionada por otros valores, en el caso de las Redes Bayesianas por el valor que toma el padre.

Ambas informaciones son otorgadas por el experto en base a su experiencia.

3.3 ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

Su objetivo es definir el conocimiento requerido para la construcción del Sistema Inteligente. Esta etapa está conformada por los siguientes dos elementos.

- ❖ **Identificación y selección del conocimiento:** El origen del conocimiento para la investigación tiene como fuente principal la experiencia del experto en gastroenterología y como segunda instancia el conocimiento necesario en libros, artículos y documentos del área.
- ❖ **Adquisición, análisis y extracción del conocimiento:** El conocimiento de los expertos humanos se adquieren mediante entrevistas y la observación del trabajo del profesional, además de la lectura y análisis de historiales clínicos.

A continuación se muestra de manera gráfica, el proceso de construcción de la Red Bayesiana:

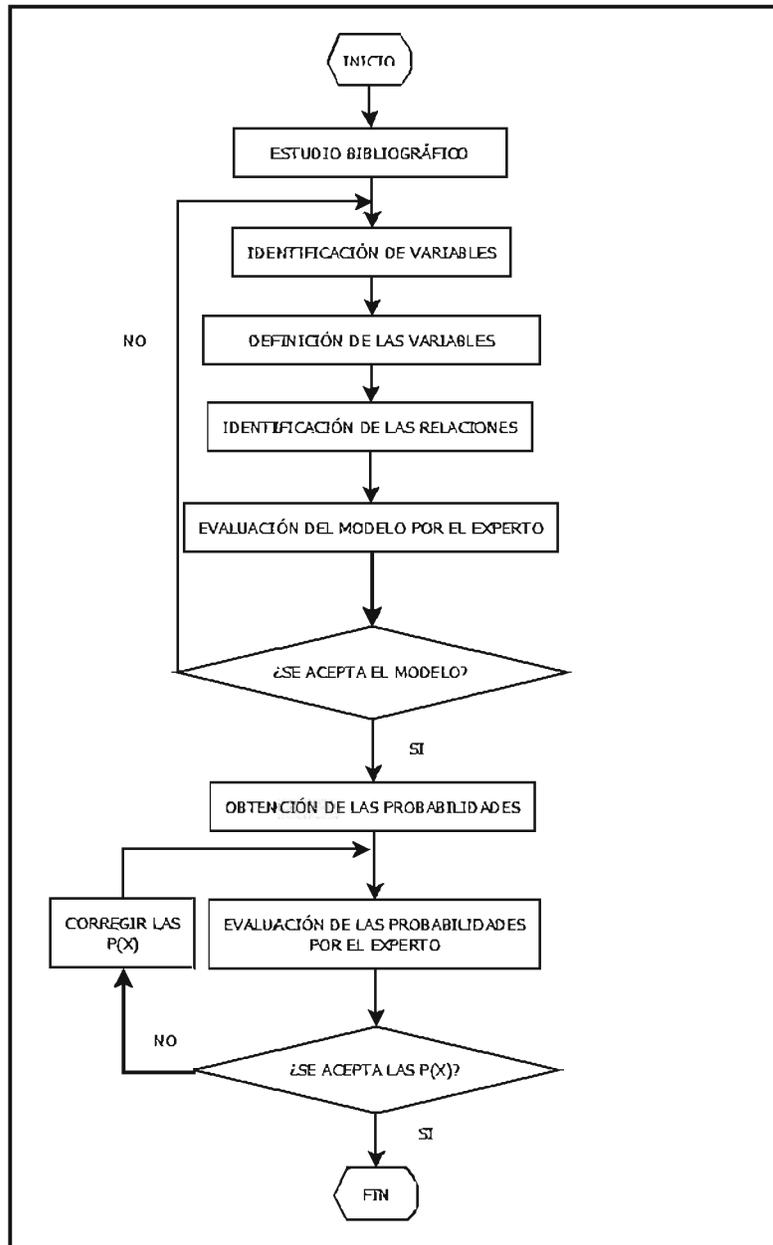


Figura 3.1 Construcción de la Red Bayesiana

Fuente: [Flores, 2010]

La metodología empleada para llevar a cabo la adquisición del conocimiento forma parte de la **Ingeniería del conocimiento** y sigue los siguientes pasos: delimitar el dominio de conocimiento, localizar el experto, investigar los métodos analíticos del experto, averiguar acerca del proceso de toma de decisiones del experto.

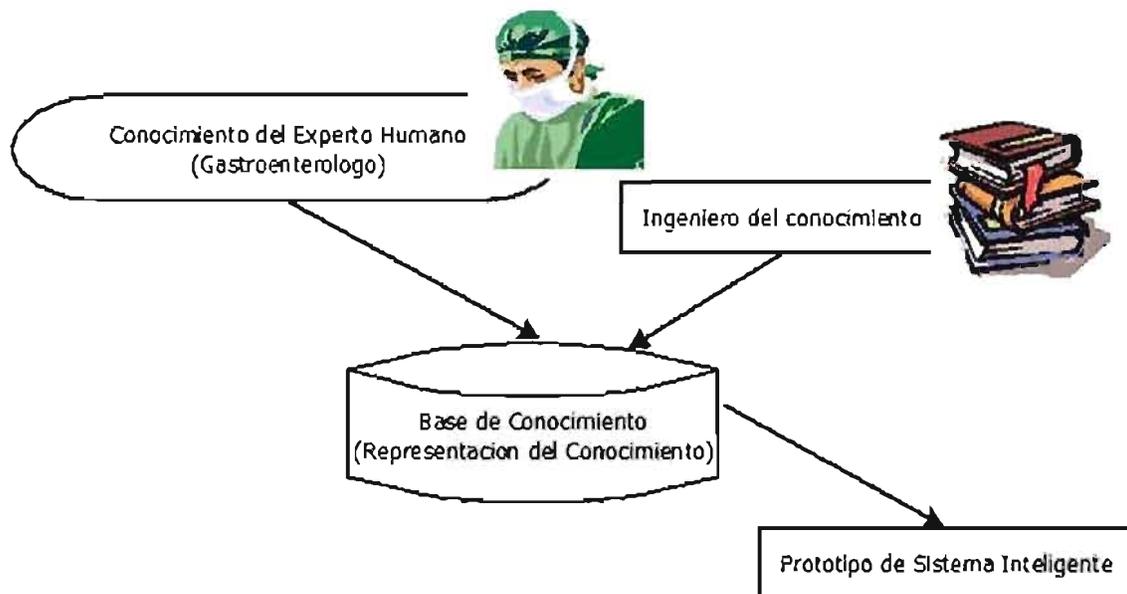


Figura 3.2 Adquisición del conocimiento

Fuente: [Elaboración propia]

3.4 DESCRIPCIÓN INFORMAL DEL MODELO

3.4.1 COMPONENTES PARA EL DIAGNÓSTICO DE GASTRITIS CRÓNICA

A continuación se describe de mejor forma las actividades que el especialista gastroenterólogo debe seguir para determinar la gastritis crónica no atrófica.

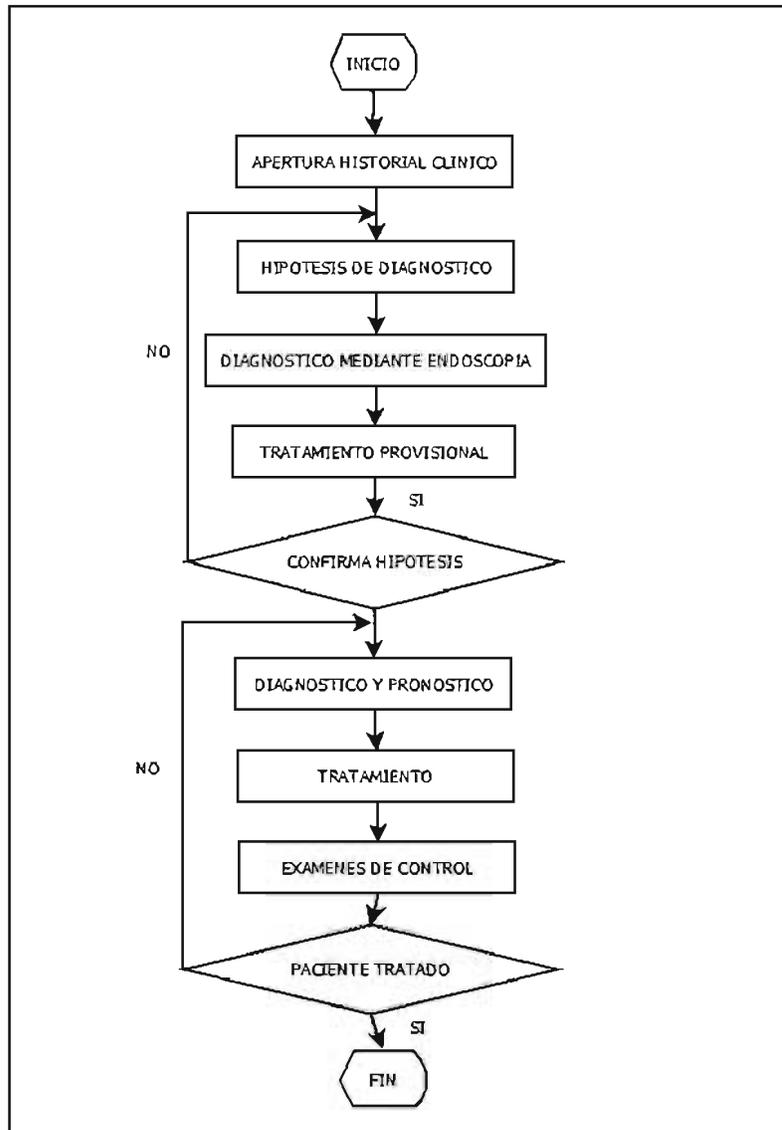


Figura 3.3 Proceso médico para determinar la gastritis crónica

Fuente: [Elaboración propia]

A continuación se muestra las actividades que el sistema inteligente tendrá:

- I. **Adquisición de datos del paciente “síntomas y/o signos”(S):** Donde se realiza la respectiva consulta del paciente, incluyen características físicas, antecedentes familiares, personales y los *síntomas* (sensaciones subjetivas

comunicadas por el paciente: dolor, malestares estomacales, etc.), *signos* (hechos observados o médicos: vómitos, náuseas, mala alimentación, etc.)

- II. **Interpretación de los datos “síntomas asociados a la gastritis crónica no atrófica” (D):** Se interpretan los datos obtenidos del paciente. Llegando a una conclusión del diagnóstico.
- III. **Estructurar la información en una Red Bayesiana (RB):** Donde se toma los signos y síntomas de la gastritis crónica y lo estructura a una Red Bayesiana.

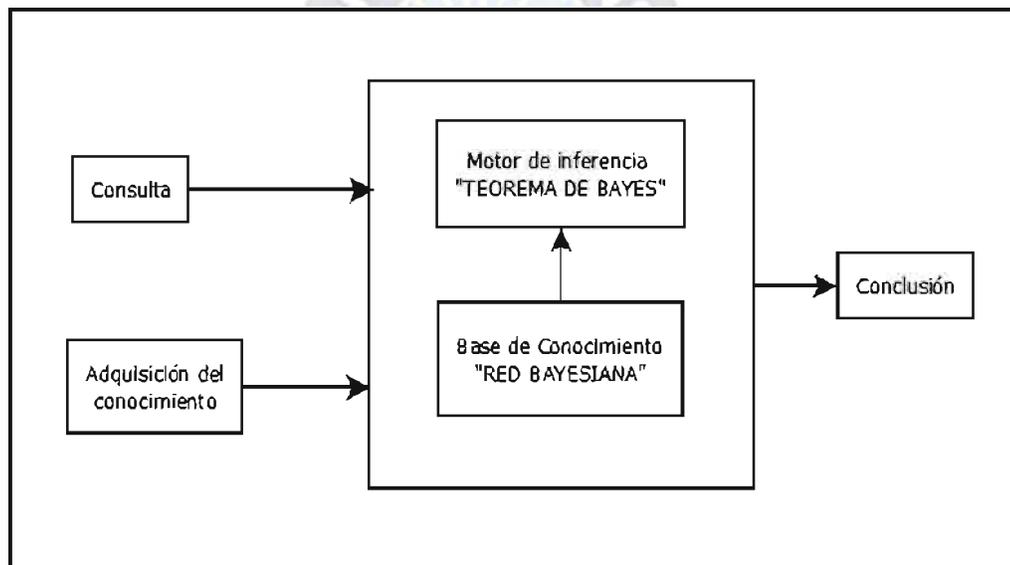


Figura 3.4 Modelo de Sistema Inteligente

Fuente: [Elaboración propia]

3.4.2 VARIABLES DEL MODELO

A continuación se presenta las variables a utilizar para el tratamiento de la información:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
S1	Dolor epigástrico
S2	Vómitos
S3	Meteorismo
S4	Acidez
S5	Pirosis
S6	Nausea
S7	Eructo
S8	Estrés
S9	Sensación de inflamación del abdomen
S10	Consumo excesivo de alcohol
S11	Pérdida de apetito
S12	Consumo excesivo de medicamentos analgésico-antiinflamatorios AINE
S13	Consumo de tabaco
S14	Pesadez luego de las comidas
S15	Ruidos en el abdomen
S16	Transgresiones Dietéticas
S17	Digestión lenta
D	Gastritis crónica no atrófica

Tabla 3.1 Variables identificadas

Fuente: [Elaboración propia]

3.4.3 INTERACCIÓN ENTRE COMPONENTES

La relación entre los componentes de RB y S nos permite determinar el componente D, que proporcionará el diagnóstico.

En el proceso de obtener el diagnóstico de gastritis crónica no atrófica se hallará en la probabilidad *a priori* de los nodos. Luego se realiza la propagación de los nodos de la Red para conocer la probabilidad *a posteriori* de las variables.

Seguidamente se tiene la Red Bayesiana para el diagnóstico de Gastritis Crónica del tipo no atrófica. Donde los nodos representan síntomas y/o signos.

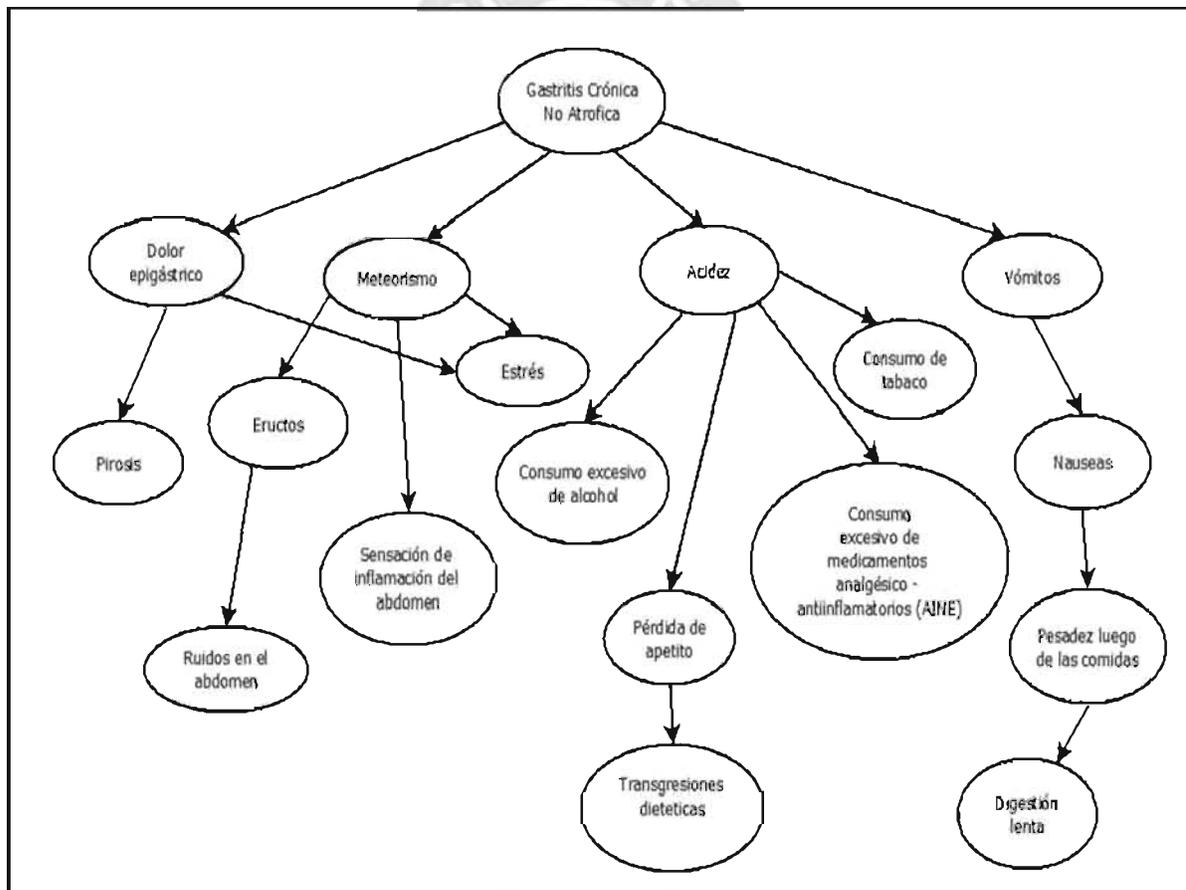


Figura 3.5 Red Bayesiana propuesta

Fuente: [Elaboración propia]

3.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL LENGUAJE

El programa Elvira es fruto de un proyecto de investigación financiado por la CICYT y el Ministerio de Ciencia y Tecnología, en el que participan investigadores de varias universidades españolas y de otros centros.

El programa Elvira está destinado a la edición y evaluación de **modelos gráficos probabilísticos**, concretamente redes bayesianas y diagramas de influencia. cuenta con un formato propio para la codificación de los modelos, un lector-intérprete para los modelos codificados, una interfaz gráfica para la construcción de redes, con opciones específicas para modelos canónicos (puertas OR, AND, MAX, etc.), algoritmos exactos y aproximados (estocásticos) de razonamiento tanto para variables discretas como continuas, métodos de explicación del razonamiento, algoritmos de toma de decisiones, aprendizaje de modelos a partir de bases de datos, fusión de redes, etc.

Elvira está escrito y compilado en Java, lo cual permite que pueda funcionar en diferentes plataformas y sistemas operativos (Linux, MS-DOS/Windows, Solaris, etc.).

3.5.2 PRESENTACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El paradigma de creación de prototipos puede ser cerrado o abierto. El enfoque cerrado se denomina a menudo “prototipo desechable”. Este prototipo sirve únicamente como una vasta demostración de los requisitos. Después se desecha y se hace una ingeniería de software. Un enfoque abierto denominado prototipo evolutivo, emplea el prototipo como una primera parte de una actividad de análisis a la que seguirá el diseño y la construcción.

El prototipo del software es la primera evolución del sistema terminado [R. Presman].

A continuación se muestra las pantallas de lo que es la simulación de la Red bayesiana propuesta, claro está que se muestra desde la creación de la Red hasta la inferencia, es decir, ejecutándose con sus respectivas probabilidades.

Posteriormente se muestra las pantallas del prototipo del Sistema Inteligente, implementada bajo el lenguaje de java las cuales proporcionan un conjunto de funciones para realizar el diagnóstico de la gastritis crónica no atrófica.

En la pantalla inicial de Elvira se muestra:

1. En la barra de menú ofrece siete pestañas: archivo, editar, ver, tareas, opciones, ventana y ayuda.
2. En la primera barra de herramientas hay botones para crear, abrir y guardar redes, hacer zoom, obtener información sobre Elvira y seleccionar el modo básico: edición, inferencia o aprendizaje.
3. La segunda barra de herramientas varía dependiendo del modo básico en que nos encontremos: edición inferencia o aprendizaje, la barra de edición, que es la que aparece en la figura anterior, tiene botones para cortar, copiar, pegar, deshacer/rehacer cambios y cinco botones para escoger la herramienta de edición, que puede ser una de las cinco siguientes:
 - ❖ Seleccionar
 - ❖ Añadir nodo aleatorio
 - ❖ Añadir nodo decisión (solo está activo para diagramas de influencia)
 - ❖ Añadir nodo utilidad (solo activo para diagramas de influencia)
 - ❖ Añadir enlace
4. Debajo de la barra de herramientas hay un espacio destinado a mostrar la ventana de mensajes y las redes abiertas ver figura 3.6

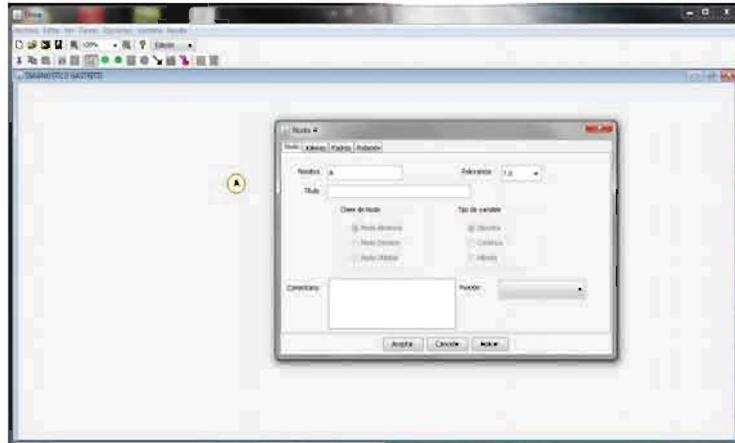


Figura 3.6 Pantalla inicial del programa Elvira
Fuente: [Elvira, datos propios]

Seguidamente se introduce el título y la función que va cumplir de cada nodo. Ver figura 3.7.



Figura 3.7 Propiedades de nodo
Fuente: [Elvira, datos propios]

Una vez que se tiene las variables y enlaces se va a introducir la información numérica, es decir la probabilidad condicional de cada nodo ver figura 3.8.



Figura 3.8 Probabilidades condicionales para el nodo Dolor epigástrico

Fuente: [Elvira, datos propios]

A continuación se muestra la Red Bayesiana propuesta con los respectivos nodos y enlaces, se observa los síntomas y/o signos de la Gastritis Crónica. Ver figura 3.9.

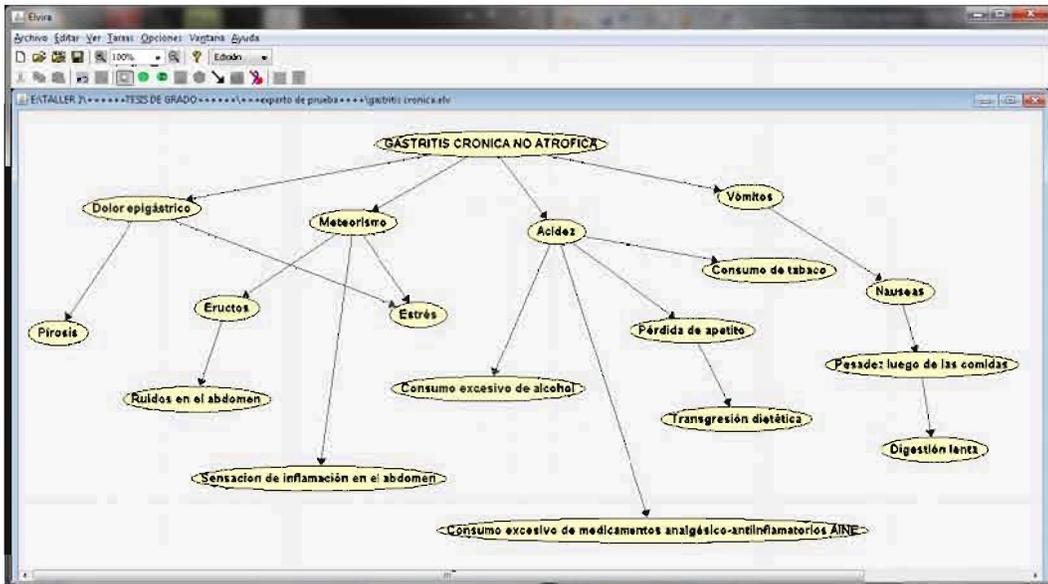


Figura 3.9 Representación gráfica de la red
Fuente: [Elvira, datos propios]

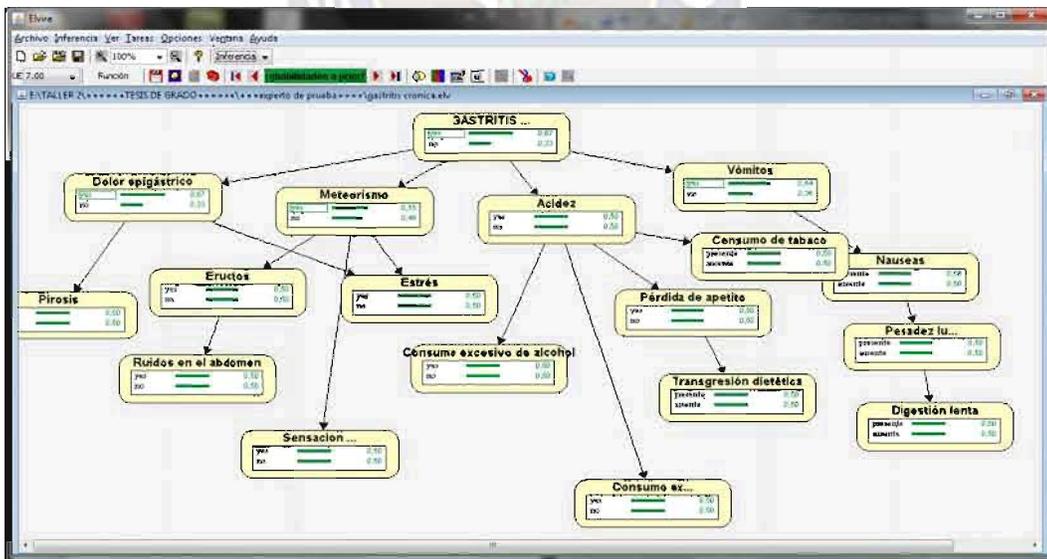


Figura 3.10 Proceso de inferencia a priori
Fuente: [Elvira, datos propios]

Luego de haber introducido las probabilidades a priori de todos los nodos se escoge la opción de inferencia como se puede observar en la figura 3.10. También se observa que la segunda barra de herramientas ha cambiado, y que han cambiado los botones de edición, como cortar, copiar y pegar y han aparecido otros botones y campos: umbral de expansión, guardar caso en fichero, guardar caso en memoria, expandir/ contraer nodo, opciones de inferencia, etc.

En el último nodo se tendrá el diagnóstico y después se puede hacer una explicación ver figura 3.11.

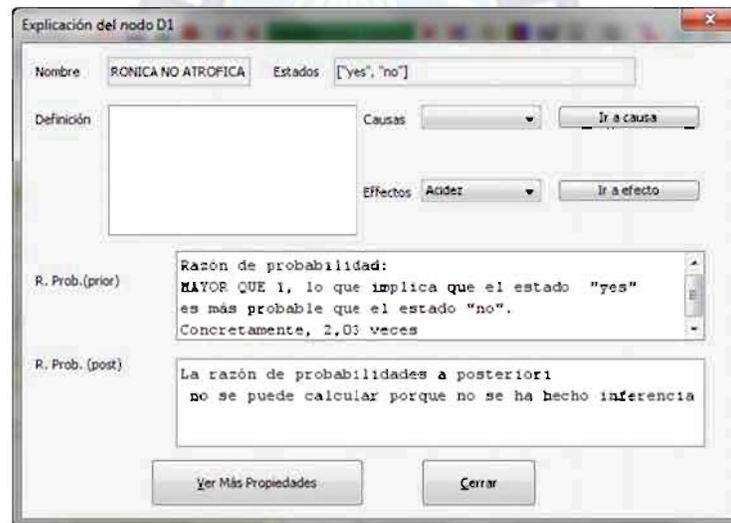


Figura 3.11 Explicación del nodo gastritis crónica

Fuente: [Elvira, datos propios]

Una vez programado el prototipo de Sistema Inteligente, se muestra las salidas de la ejecución del programa, se capturó las imágenes en pleno proceso, mostrando la entrada de datos al sistema, los síntomas y/o signos que se debe seleccionar y los resultados finales que se muestra al ejecutar el programa.

Caso 1: A continuación se muestra la pantalla donde se introduce los datos del paciente:

Figura 3.12 Datos del paciente
Fuente: [Elaboración propia]

En la siguiente tabla se toma en cuenta los síntomas y las probabilidades que un paciente tiene, como entrada de la prueba.

SÍNTOMA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD (%)
S3	Presenta meteorismo	15
S4	Presenta acidez	75

S8	Presenta estrés	40
S14	Pesadez luego de las comidas	85

Tabla 3.2 Síntomas de entrada, caso 1

Fuente: [Elaboración propia]

A continuación se muestra el proceso de captura de los síntomas que padece un paciente, las cuales son introducidas, como se muestra en la figura 3.13.

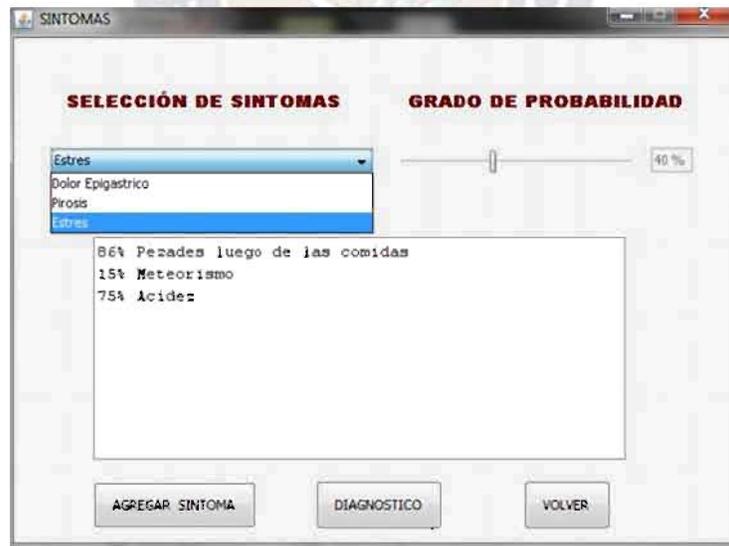


Figura 3.13 Selección y grado de probabilidad de los síntomas

Fuente: [Elaboración propia]

Una vez introducidos los síntomas y sus respectivas probabilidades, se muestra el resultado final del proceso de inferencia que el sistema inteligente realiza para dar el diagnóstico final.

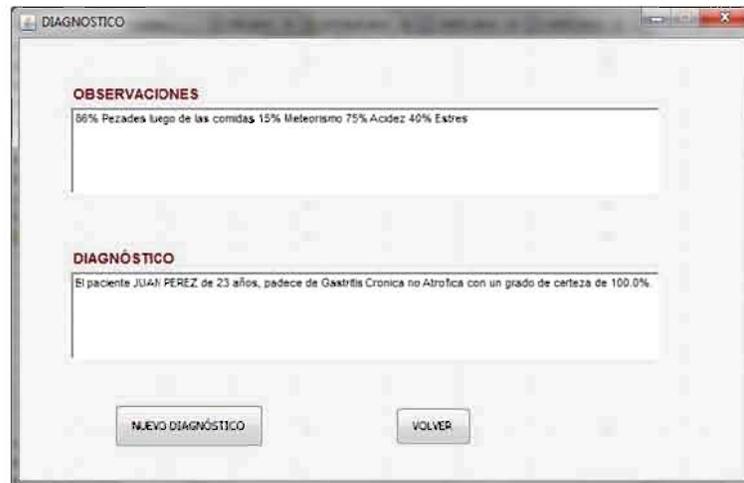


Figura 3.14 Resultado de diagnóstico, caso 1
Fuente: [Elaboración propia]

Caso 2: Para el siguiente caso se toman los siguientes síntomas:

SÍNTOMA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD (%)
S2	Presenta vómitos	14
S8	Presenta estrés	21
S15	Presenta ruidos en el abdomen	14

Tabla 3.3 Síntomas de entrada, caso 2

Fuente: [Elaboración propia]

Se muestra el los datos del paciente y proceso de selección de los síntomas:

DIAGNOSTICO GASTRITIS

**SISTEMA INTELIGENTE
PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA
GASTRITIS CRÓNICA**

DATOS DEL PACIENTE

NOMBRE: MARIA GONZALES

EDAD: 45

SEXO: Femenino

GUARDAR

SINTOMAS

SELECCIÓN DE SINTOMAS

- Estres
- Estres
- Sensación de Inflamación del abdomen
- Consumo Excesivo de Alcohol
- Consumo Excesivo de Medicamentos
- Consumo de Tabaco
- 30% Transgresión dietética
- 10% Vómitos
- 20% Pirois

GRADO DE PROBABILIDAD

20%

AGREGAR SINTOMA DIAGNOSTICO VOLVER

Figura 3.15 Datos del paciente y selección de síntomas

Fuente: [Elaboración propia]

Finalmente se muestra el proceso la probabilidad de gastritis crónica no atrófica que presenta la paciente:

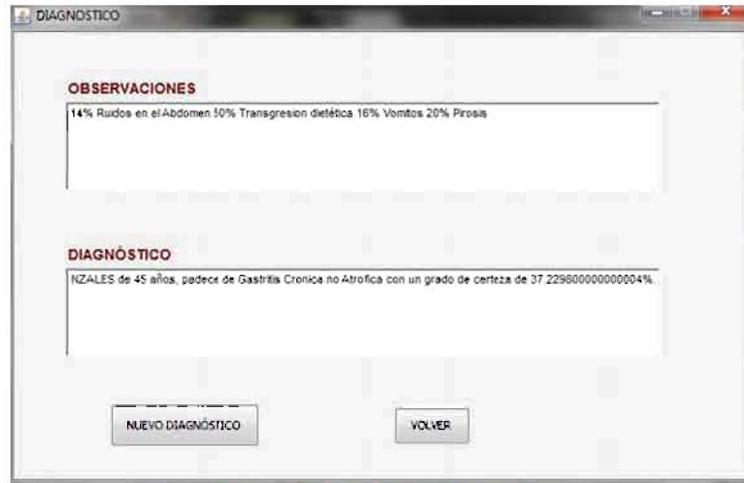


Figura 3.16 Resultado de diagnóstico, caso 2

Fuente: [Elaboración propia]

3.6 DESCRIPCIÓN FORMAL DEL MODELO

Luego de haber obtenido el conocimiento del experto gastroenterólogo (síntomas y/o signos de la gastritis) ya sea por entrevista con el médico especialista y por medio de historiales clínicos, se procede a estructurar la información con el fin de representarlo en la base de conocimiento.

Cuando un paciente acude al médico gastroenterólogo, lo primero que éste realiza es la apertura de un historial clínico, que comprende de los siguientes puntos:

- ✓ Formulación adecuada de preguntas: nombre, edad, sexo, ocupación, etc.

- ✓ Determinar el motivo de la consulta del paciente, identificando los signos y/o síntomas.
- ✓ Recopilar antecedentes de las enfermedades.

Se procede a identificar las variables de entrada y salida para el Sistema Inteligente se tiene que todos los síntomas y/o signos son variables de entrada, estas variables son procesadas mediante la inferencia bayesiana como el teorema de Bayes para dar un resultado que en este caso viene a ser el diagnóstico de la gastritis crónica no atrófica, ver figura 3.17

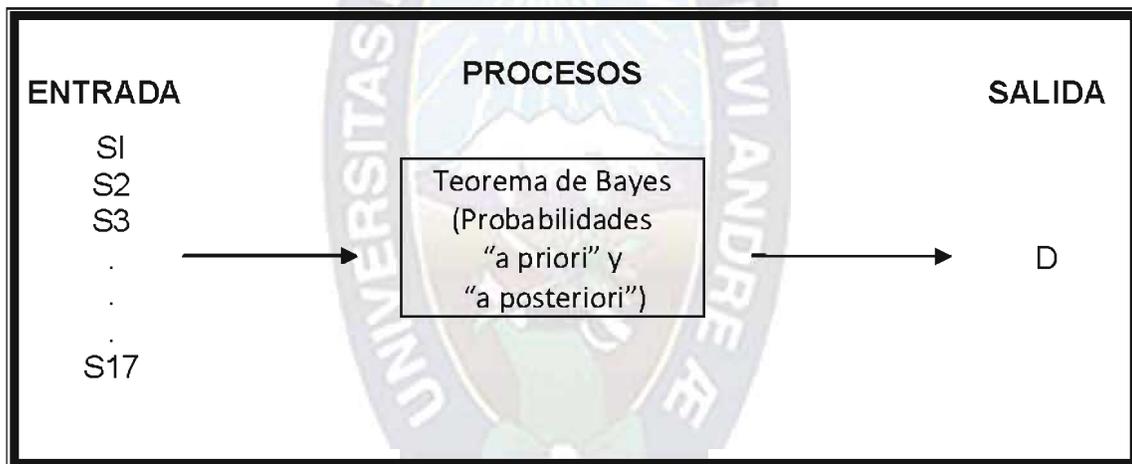


Figura 3.17 Representación del Modelo

Fuente: [Elaboración propia]

Se describe los procedimientos de inferencia para el cual los conjuntos a ser utilizados son los siguientes:

Sintomas y/signos del paciente: $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_{17}\}$

Diagnóstico: $D = \{D\}$

Si M representa el modelo formal, entonces:

$$M: \Phi(\text{Síntomas y/o signos}) = \text{Diagnóstico}$$

Donde "Prob" denota el resultado de aplicar las funciones de probabilidad asociados a las propiedades del Teorema de Bayes.

Por lo que $\Phi: \text{Síntomas y/o signos} \rightarrow \text{eval (prob)}$

Con los síntomas y signos representados en forma de red bayesiana se realiza el proceso de inferencia.

$\text{Prinfer(prob)} \rightarrow \beta_{\text{RB}}(\text{prob_apri}) \vee \beta_{\text{RB}}(\text{prob_apost}) \rightarrow \text{Diagnóstico}$

3.7 FORMALIZACIÓN

Se representa algunas de las reglas de inferencia del Modelo Bayesiano a través de ejemplos, se formalizará el conocimiento haciendo uso de la lógica proposicional y de esta forma mostrar como infiere en base a cierto conocimiento. A continuación se presenta las siguientes proposiciones:

REGLA 1:

P1: Toda persona que presente Pirosis puede a tener Dolor epigástrico.

P2: Toda persona que tiene Estrés, puede a tener Dolor epigástrico.

P3: Toda persona que tiene Dolor epigástrico puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Estrés como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 2:

P1: Toda persona que presente Ruidos en el abdomen puede a tener Meteorismo.

P2: Toda persona que tiene Estrés, puede a tener Meteorismo.

P3: Toda persona que tiene Meteorismo puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Ruidos en el abdomen como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 3:

P1: Toda persona que presente Eructos puede a tener Meteorismo.

P2: Toda persona que tiene Estrés, puede a tener Meteorismo.

P3: Toda persona que tiene Meteorismo puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Eructos como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 4:

P1: Toda persona que presente Sensación de inflamación del abdomen puede tener Meteorismo.

P2: Toda persona que tiene Eructos, puede a tener Meteorismo.

P3: Toda persona que tiene Meteorismo del abdomen puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Sensación de inflamación del abdomen como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 5:

P1: Toda persona que presente Consumo excesivo de alcohol puede tener Acidez.

P2: Toda persona que presente Pérdida de apetito, puede a tener Acidez.

P3: Toda persona que tiene Acidez del abdomen puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Consumo excesivo de alcohol como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 6:

P1: Toda persona que presente Consumo de tabaco puede tener Acidez.

P2: Toda persona que presente Consumo excesivo de alcohol, puede a tener Acidez.

P3: Toda persona que tiene Acidez del abdomen puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Consumo de tabaco como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 7:

P1: Toda persona que tiene Digestión lenta, puede tener Nauseas.

P2: Toda persona que presente Pesadez luego de las comidas, puede a tener Nauseas.

P3: Toda persona que tiene Nauseas, puede a tener Vómitos.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Digestión lenta como síntoma puede tener Vómitos.

REGLA 8:

P1: Toda persona que tiene Pesadez luego de las comidas, puede tener Vómitos.

P2: Toda persona que presente Nauseas, puede a tener Vómitos.

P3: Toda persona que tiene Vómitos, puede a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Pesadez luego de las comidas como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

A continuación se obtiene la tabla binaria de una regla de inferencia:

p: Alguien tiene Transgresiones dietéticas.

q: Alguien consume en exceso medicamentos analgésicos-antiinflamatorios (AINE).

r: Alguien indica que tiene Acidez.

s: Alguien tiene Gastritis Crónica No Atrófica.

REGLA 9:

P1: Toda persona que presente Transgresiones dietéticas tiene una tendencia a la Acidez.

P2: Toda persona que Consume en exceso medicamentos analgésicos-antiinflamatorios (AINE) tiende a tener Acidez.

P3: Toda persona que tiene Acidez tiende a tener Gastritis Crónica No Atrófica.

En base a las premisas dadas se quiere verificar la siguiente conclusión:

C: La persona que presenta Transgresiones dietéticas como síntoma puede tener Gastritis Crónica No Atrófica.

Con las proposiciones anteriores las premisas y conclusión pueden ser expresadas de la siguiente forma:

$$P1: (p \rightarrow r)$$

$$P2: (q \rightarrow r)$$

$$P3: (r \rightarrow s)$$

$$C: (p \rightarrow s)$$

Para obtener la conclusión se sigue el siguiente razonamiento:

$$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \wedge (r \rightarrow s) \rightarrow (p \rightarrow s)$$

Tabla binaria:

s	r	q	p	$p \rightarrow r$	$q \rightarrow r$	$r \rightarrow s$	$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \wedge (r \rightarrow s)$	$p \rightarrow s$	$[(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \wedge (r \rightarrow s)] \rightarrow (p \rightarrow s)$
0	0	1	0	1	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
									TAUTOLOGIA

Tabla 3.4 Tabla binaria de las variables identificadas

Fuente: [Elaboración propia]

En la tabla mostrada anteriormente se comprobó que la formalización del razonamiento es válida. Es decir, dados los síntomas, presentados por un paciente X, el motor de inferencia realizó un proceso de búsqueda obteniendo conclusiones de acuerdo al conocimiento almacenado en la base de conocimiento.

3.7.1 MOTOR DE INFERENCIA

En el capítulo II, se ha analizado las redes bayesianas en sus aspectos generales. Vamos a describir ahora en el capítulo III, la aplicación de esos conceptos en el desarrollo de un Sistema Inteligente para diagnosticar Gastritis Crónica no Atrófica.

Para realizar la inferencia probabilística por excelencia es el que se basa en las probabilidades condicionales, se requiere de un conjunto de evidencias introducidas que activan el estado de los nodos y a través de los cuales se propaga la red.

A continuación se explica paso a paso el proceso de propagación.

Sea:

g: representa la presencia de gastritis crónica no atrófica

da: representa dolor epigástrico

Calculando la probabilidad a priori del nodo Gastritis, se obtiene los siguientes resultados:

ESTADO	PROBABILIDAD
Presente	0.65
Ausente	0.35

Tabla 3.5 Probabilidad a priori del nodo gastritis crónica no atrófica p(g)

Fuente: [Elaboración propia]

Para el nodo “g”, que no tiene padres, la probabilidad condicionada es la probabilidad a priori. Obtenida a través de la siguiente fórmula:

$$P(g/pa(u)) = p(u)$$

Lo cual significa que de 30 personas seleccionadas, 20 personas tienen gastritis crónica no atrófica, por tanto la probabilidad a priori de que una persona tenga la enfermedad, es decir, la probabilidad cuando no se conoce nada mas sobre esa persona es del 0.65 %.

En medicina esta probabilidad a priori se conoce como *prevalencia de la enfermedad* y se la denota de la siguiente manera:

- +g significa que el paciente tiene gastritis crónica no atrófica
- g significa que el paciente no tiene gastritis crónica no atrófica
- +da significa que el paciente tiene dolor epigástrico
- da significa que el paciente no tiene dolor epigástrico

	+g	-g			+da	-da
P(g)	0.65	0.35		P(da)	0.70	0.30

Tabla 3.6 Probabilidades a priori de los nodos gastritis crónica no atrófica y dolor epigástrico

Fuente: [Elaboración propia]

Puesto que se tiene calculado la probabilidad a priori, se debe calcular $p(da/g)$ que es la probabilidad del efecto condicionado. Por tanto para el nodo *da* cuyo padre es solamente *g*, la probabilidad condicionada se calcula como sigue:

$$P(da/pa(da)) = p(da/g)$$

Es decir empezar a tomar en cuenta cada uno de los síntomas que presenta la anomalía y confirmar si el paciente tiene o no gastritis.

Los resultados de las probabilidades se muestran en la siguiente tabla:

PROBABILIDAD	INTERPRETACIÓN
$P(+da/+g) = 0.72$	Existe gastritis crónica no atrófica dado que el paciente tiene dolor epigástrico. Conocido como <i>sensibilidad de test</i> .
$P(-da/+g) = 0.28$	Existe gastritis crónica no atrófica dado que el paciente no tiene dolor epigástrico. Conocido como <i>Falso positivo</i> .
$P(+da/-g) = 0.6$	No existe gastritis crónica no atrófica dado que el paciente tiene dolor epigástrico.
$P(-da/-g) = 0.4$	No existe gastritis crónica no atrófica dado que el paciente no tiene dolor epigástrico. Denominado <i>especificidad</i> .

Tabla 3.7 Probabilidades condicionales para el nodo dolor epigástrico

Fuente: [Elaboración propia]

En todos los problemas de diagnóstico, no solo en el campo de la medicina se trata de encontrar las pruebas que ofrezcan el grado más alto de sensibilidad y especificidad. Todo esto se calcula a través de:

$$P(+da/+g) + P(-da/+g) = 1$$

$$P(+da/-g) + P(-da/-g) = 1 \dots\dots\dots 3.1$$

En este caso se comprueba que se cumple satisfactoriamente el punto 3.1 ya que conociendo la probabilidad a priori de "g" y la probabilidad condicional $p(da/g)$, se

calcula la probabilidad a priori de “da”, por el teorema de la probabilidad total, dado por:

$$P(+da) = P(+da/+g)P(+g) + P(+da/-g)P(-g)$$
$$P(-da) = P(-da/+g)P(+g) + P(-da/-g)P(-g)$$

Que en su forma abreviada se escribe de la siguiente forma:

$$\sum P(da/g) * P(g)$$

Reemplazando valores:

a) $P(+da) = P(+da/+g)P(+g) + P(+da/-g)P(-g)$

$$P(+da) = (0.72)*0.65 + (0.60)*0.35$$

$$P(+da) = 0.47 + 0.21$$

$$P(+da) = 0.68$$

Con este resultado se puede indicar que al realizar el diagnóstico a una persona, existe un 68% de probabilidad de que tenga gastritis crónica no atrófica, puesto que hay dolor epigástrico.

b) $P(-da) = P(-da/+g)P(+g) + P(-da/-g)P(-g)$

$$P(-da) = (0.28)*0.65 + (0.40)*0.35$$

$$P(-da) = 0.18 + 0.14$$

$$P(-da) = 0.32$$

Con este resultado se puede indicar que existe un 32% de que la persona no tenga gastritis crónica no atrófica, dado que no presenta dolor epigástrico.

Para obtener un resultado más fiable, se realiza el cálculo de la probabilidad “a posteriori”, es decir, la probabilidad de una variable dada la evidencia observada “a”, expresada por la siguiente fórmula:

$$P^*(g) = P(g/a)$$

En términos médicos, éste resultado se obtiene después de realizar la oscultación médica: por tanto, ¿cuál es la probabilidad de que el paciente tenga gastritis crónica no atrófica, puesto que presenta dolor epigástrico?

$$a = \{+da\}$$

Si el síntoma tuviese una fiabilidad absoluta se podría asegurar con una certeza del 100% el diagnóstico. Sin embargo, es posible que se haya obtenido un resultado “falso positivo”. Por tal razón se calcula $P(+da)$, es decir hallar $P(+g/+da)$, todo esto a través del Teorema de Bayes, dada en el capítulo II.

$$P^*(+g) = P(+g/+da) = \frac{P(+g) * P(+da/+g)}{P(+da)}$$

$$P(+g) = (0.65 * 0.72) / 0.70$$

$$P^*(+g) = 0.67$$

De acuerdo con el resultado, existe un 67% de probabilidad de que el paciente tenga gastritis crónica no atrófica.

Calculando su complemento, se tiene:

$$P^*(-g) = P(-g/+da) = \frac{P(-g) * P(+da/-g)}{P(+da)}$$

$$P^*(-g) = (0.35 * 0.60) / 0.70$$

$$P^*(-g) = 0.30$$

Esto significa que existe un 30% de probabilidad de tener un resultado falso positivo. Con ambos resultados naturalmente se observa el cumplimiento de:

$$P^*(+g) + P^*(-g) = 1$$

Por semejanza con el método probabilista clásico, se la rescribe de la siguiente forma:

$$P^*(x) = \alpha * P(x) * \lambda_{y_1(x)} \dots \dots \dots 3.2$$

Donde:

$$\lambda_{y_1(x)} = P(a/x) = P(y_1/x)$$

$$\alpha = [P(a)]^{-1} = [P(y_1)]^{-1}$$

Denominado normalización.

Aplicando esta reformulación del Teorema de Bayes, se tiene:

$$a = \{+da\} = \begin{cases} \lambda_{da(+g)} = P(+da/+g) = 0.72 \\ \lambda_{da(-g)} = P(+da/-g) = 0.28 \end{cases}$$

Esto significa que un resultado positivo en la prueba se explica mucho mejor con la enfermedad presente que con la enfermedad ausente:

Por tanto:

$$\begin{cases} P^*(+g) = \alpha(0.65)*0.72 = \alpha * 0.47 \\ P^*(-g) = \alpha(0.35)* 0.28 = \alpha * 0.1 \end{cases}$$

Aplicando la condición de normalización, se encuentra el valor de α

$$\alpha = [0.47 + 0.1]^{-1}$$

$$\alpha = 1.75$$

Finalmente:

$$\begin{cases} P^*(+g) = 1.75 * 0.47 = 0.82 \\ P^*(-g) = 1.75 * 0.1 = 0.18 \end{cases}$$

Ahora pruébese cómo será el resultado cuando no se tiene dolor epigástrico. ¿Cuál sería la probabilidad de que el paciente tenga gastritis crónica no atrófica?

$$a = \{-da\} = \begin{cases} \lambda_{da}(+g) = P(-da/+g) = 0.60 \\ \lambda_{da}(-g) = P(-da/-g) = 0.40 \end{cases}$$

Es decir, un resultado negativo en la oscultación de dolor epigástrico se explica mucho mejor cuando no hay gastritis crónica no atrófica, que cuando lo hay.

Aplicando la ecuación 3.2, obtenemos:

$$\begin{aligned} P^*(+g) &= \alpha P(+g) * \lambda_{da}(+g) \\ &= \alpha [0.65 * 0.60] \\ &= \alpha [0.39] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P^*(-g) &= \alpha P(-g) * \lambda_{da}(-g) \\ &= \alpha [0.35 * 0.40] \\ &= \alpha [0.14] \end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \alpha &= [0.39 + 0.14]^{-1} \\ \alpha &= 1.87 \end{aligned}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} P^*(+g) &= \alpha (0.65) * 0.60 = \alpha * 0.39 \\ P^*(-g) &= \alpha (0.35) * 0.40 = \alpha * 0.14 \end{aligned}$$

Reemplazando el valor de α , se tiene:

$$\begin{aligned} P^*(+g) &= 1.87 * 0.39 = 0.73 \\ P^*(-g) &= 1.87 * 0.14 = 0.26 \end{aligned}$$

El resultado obtenido de $P(+g) = 0.73$, indica que el diagnóstico de gastritis crónica no atrófica es muy probable, puesto que el resultado es bastante significativo. Ampliando el modelo anterior, para un diagnóstico certero se realiza una prueba adicional, a través de la cual se confirmará la existencia de la enfermedad.

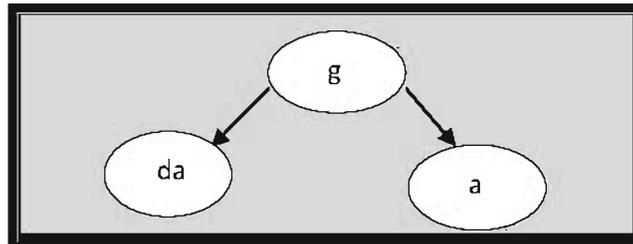


Figura 3.18 Nodo gastritis crónica no atrófica con nodos hijos

Fuente: [Elaboración propia]

Considérese el siguiente conjunto de evidencias:

$$a = \{+da, +a\}$$

Es decir que el individuo presenta dolor epigástrico y además también presenta acidez, por tanto. ¿Cuál será la probabilidad de que el paciente tenga gastritis crónica no atrófica?

La probabilidad condicional para este segundo enlace está definida por los valores detallados en la tabla 3.8

P(da/g)	+g	-g	P(a/g)	+g	-g
+da	0.72	0.6	+a	0.58	0.33
-da	0.28	0.4	-a	0.42	0.67

Tabla 3.8 Probabilidades a priori de los nodos dolor epigástrico y acidez

Fuente: [Elaboración propia]

A continuación se indican los valores de probabilidad de que un paciente (o persona, en general) tenga gastritis crónica no atrófica dependiendo de si la acidez es positivo o no.

P(da,a/g)	+g	-g
+da, +a	0.60	0.35
+da, -a	0.40	0.65

Tabla 3.9 Probabilidades condicionales de los nodos dolor epigástrico y acidez

Fuente: [Elaboración propia]

Aplicando el teorema de la probabilidad total, se calcula la probabilidad “a priori” de que un enfermo tenga acidez como positivo.

$$P(+a) = \sum_x P(+a/g) * P(g)$$

Cuyo valor carece de importancia para el diagnóstico. Aplicando el Teorema de Bayes en forma normalizada, se compara los resultados obtenidos en la probabilidad detallada en la tabla 3.8.

$$P(g) = P(g/a) = \frac{P(g) * P(a/g)}{P(a)}$$

Aplicando esta reformulación del Teorema de Bayes, se tiene:

Reformulación del Teorema de Bayes, se tiene:

$$a = \{+a\} = \begin{cases} \lambda_{da}(+g) = P(+a/+g) = 0.58 \\ \lambda_{da}(-g) = P(+a/-g) = 0.33 \end{cases}$$

Esto significa que un resultado positivo en la prueba se explica mucho mejor con la enfermedad presente que con la enfermedad ausente.

Por tanto:

$$P^*(+g) = \alpha(0.65) * 0.58 = \alpha * 0.38$$

$$P^*(-g) = \alpha(0.35) * 0.33 = \alpha * 0.12$$

Aplicando la condición de normalización, se encuentra el valor de α :

$$\alpha = [0.38+0.12]^{-1}$$

$$\alpha = 2$$

Finalmente:

$$P^*(+g) = 2 * 0.38 = 0.76$$

$$P^*(-g) = 2 * 0.12 = 0.24$$

Estudiando el caso, donde se tiene las dos observaciones y en la que ambas indican la presencia de la enfermedad; $a = \{+da, +a\}$.

El valor $P(+da/+a,+g)$ es desconocido ya que es una ecuación que combina varias evidencias a favor de una hipótesis. Es necesario para esto introducir lo que es la independencia condicional, que indica:

$$P(y1,y2/x) = P(y1/x) * P(y2)$$

Analizando el problema indica que los valores que tome la variable dolor epigástrico es totalmente independiente de los resultados de la acidez.

Las variables deben ser exclusivas y exhaustivas, condición que cumplen las Redes Bayesianas. Por lo que la fórmula es:

$$P(+g/+da,+a) = \frac{P(+g) * P(+da/+g) * P(+a/+g)}{P(+da,+a)}$$

Parametrizando se tiene:

$$P(g/da,a) = P(g) = \alpha P(g) * \lambda_{da,a}(g)$$

Hallando los valores:

$$P(+g/+da,+a) = \alpha(0.65)*(0.58)$$

$$P(+g/+da,+a) = \alpha(0.38)$$

$$P(-g/+da,+a) = \alpha(0.35)*(0.33)$$

$$P(-g/+da,+a) = \alpha(0.12)$$

Normalizando:

$$\alpha = [P(+g/+da,+a) + P(-g/+da,+a)]^{-1}$$

$$\alpha = [0.38 + 0.12]^{-1}$$

$$\alpha = 2$$

reemplazando valores, se obtiene:

$$P(+g) = \alpha P(+g) * \lambda_{da,a}(+g)$$

$$P(+g) = 2(0.65*0.58)$$

$$P(+g) = 0.75$$

$$P(-g) = \alpha P(-g) * \lambda_{da,a}(-g)$$

$$P(-g) = 2(0.35*0.33)$$

$$P(-g) = 0.23$$

Como se puede observar ambos resultados cumplen $P(+g) + P(-g) = 1$.

Cuando hay dos hallazgos a favor del diagnóstico de gastritis crónica no atrófica, la probabilidad resultante es 75% es mucho mayor que la correspondiente a cada uno de ellos por separado.

Por tanto, se puede afirmar, que se dará un diagnóstico con mucha más certeza si se tiene dos o más evidencias.

Esta es la forma como se realiza el diagnóstico mediante Redes Bayesianas.

3.8 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Podemos definir la hipótesis como un intento de explicación o una respuesta “provisional” a un fenómeno, su función consiste en delimitar el problema que se va a investigar según algunos elementos tales como el tiempo, el lugar y las características de los sujetos, etc.

Llegar a comprobar o rechazar la hipótesis que se ha elaborado previamente, confrontando su enunciado teórico con los hechos empíricos, es el objeto primordial de todo estudio que pretenda explicar algún campo de la realidad.

3.8.1 ETAPAS BÁSICAS EN PRUEBA DE HIPÓTESIS

La prueba de una hipótesis se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos y una sexta que viene a ser la conclusión de lo planteado:

1. Se plantea la hipótesis nula y alternativa
2. Se selecciona el nivel de significancia
3. Se identifica el estadístico de prueba
4. Se formula la regla de decisión
5. Se toma una muestra y se decide
6. **Para este último paso se rechaza H_0 o se acepta H_1**

3.8.2 CONTRASTES DE RACHAS DE WALD - WOLFOWITZ

Supongamos una población cuya función de distribución es desconocida y sea X la variable aleatoria asociada a esa población, la cual solo puede tomar dos posibles valores, como por ejemplo, éxito (A) y fracaso (B) o bien sexo femenino (F) y masculino (M), etc.

Consideramos una muestra de tamaño n con el fin de plantear el siguiente contraste de aleatoriedad.

H_0 : La muestra es aleatoria

H_1 : La muestra no es aleatoria

En general, sea una muestra de tamaño n en la que han aparecido n_1 elementos de tipo A y n_2 elementos del tipo B, siendo $n_1 + n_2 = n$. Y sea la variable aleatoria:

R: número total de rachas en la muestra

Para muestras grandes y bajo la hipótesis H_0 , es decir, para muestras aleatorias la distribución de probabilidad de R tiende hacia la normal a medida que n_1 y n_2 se van haciendo grandes. Esta aproximación es bastante buena si $n_1 > 10$ y $n_2 > 10$; de tal manera que:

$$R \rightarrow N(E[R], \sqrt{Var[R]})$$

Siendo:

$$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1n_2} + 1$$

$$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 - 1)}$$

Por consiguiente para muestras grandes se verifica:

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}}$$

Y para una muestra concreta el valor del estadístico Z será:

$$Z_{exp} = \frac{R - \left(\frac{2n_1n_2}{n} + 1\right)}{\sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n)}{n^2(n-1)}}}$$

En donde R es el número total de rechas observadas en la muestra.

La región de aceptación para la hipótesis nula será:

$$-Z_{\alpha/2} < Z_{exp} < Z_{\alpha/2}$$

El valor $z_{\alpha/2}$ se obtiene en la tabla de la N (0,1), de manera que:

$$P(Z_1 \leq -z_{\alpha/2}) = P(Z_1 \geq z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$$

3.8.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa.

H_0 = Las Redes Bayesianas permiten representar el conocimiento del Sistema Inteligente para que éste pueda presentar diagnósticos confiables de la gastritis.

H_1 = Las Redes Bayesianas no permiten representar el conocimiento del Sistema Inteligente para que éste pueda presentar diagnósticos confiables de la gastritis.

Paso 2: Seleccionar el nivel de significancia.

El nivel de confianza o significancia que se elige para este caso es de 90% eso quiere decir que $\alpha = 0.05$ en la normal.

Paso 3: Identificación del estadístico de prueba.

Para este caso se utilizará la prueba de rachas o Wald – Wolfowitz utiliza los signos de los residuos y sus variaciones de negativo a positivo o viceversa. Una racha vendrá constituida por la sucesión de signos iguales.

Paso 4: Formulación de la regla de decisión.

Para la prueba se tomaron 30 historias clínicas al azar del consultorio médico de la Dra. Amparo Rejas, Gastroenteróloga. A continuación se muestra un resumen de las pruebas realizadas con el Sistema Inteligente:

Nro.	Diagnóstico del Experto gastroenterólogo		Diagnóstico del Sistema Inteligente		Aceptación por rachas
	Síntoma	Probabilidad	Síntoma	Probabilidad	
Caso 1	Dispepsia funcional	72	Gastritis crónica no atrófica	48	-
Caso 2	Dispepsia funcional	65	Gastritis crónica no atrófica	26	-
Cas 3	Gastritis crónica no atrófica	90	Gastritis crónica no atrófica	92.56	+
Caso 4	Gastritis crónica no atrófica	100	Gastritis crónica no atrófica	100	+
Caso 5	Gastritis crónica no atrófica	42	Gastritis crónica no atrófica	43.98	+

Caso 6	Úlcera estomacal	73	Gastritis crónica no atrófica	37	-
Caso 7	Dispepsia funcional	85	Gastritis crónica no atrófica	64	-
Caso 8	Gastritis aguda	92	Gastritis crónica no atrófica	75	-
Caso 9	Dispepsia funcional	65	Gastritis crónica no atrófica	85.67	-
Caso 10	Gastritis crónica no atrófica	40	Gastritis crónica no atrófica	42.88	+
Caso 11	Gastritis crónica no atrófica	90	Gastritis crónica no atrófica	90.32	+
Caso 12	Dispepsia funcional	60	Gastritis crónica no atrófica	100	-
Caso 13	Úlcera estomacal	81	Gastritis crónica no atrófica	47	-
Caso 14	Gastritis crónica no atrófica	92	Gastritis crónica no atrófica	92.27	+
Caso 15	Gastritis crónica no atrófica	95	Gastritis crónica no atrófica	100	+
Caso 16	Gastritis aguda	58	Gastritis crónica no atrófica	72	-
Caso 17	Úlcera estomacal	90	Gastritis crónica no atrófica	100	-
Caso 18	Dispepsia funcional	53	Gastritis crónica no atrófica	89	-
Caso 19	Gastritis crónica no atrófica	86	Gastritis crónica no atrófica	87	+
Caso 20	Gastritis crónica no atrófica	90	Gastritis crónica no atrófica	89.52	+
Caso 21	Gastritis crónica no atrófica	40	Gastritis crónica no atrófica	39.74	+
Caso 22	Dispepsia funcional	70	Gastritis crónica no atrófica	39.94	-
Caso 23	Dispepsia funcional	65	Gastritis crónica no atrófica	89	-
Caso 24	Gastritis crónica no atrófica	70	Gastritis crónica no atrófica	69.92	+

Caso 25	Gastritis crónica no atrófica	65	Gastritis crónica no atrófica	67.68	+
Caso 26	Gastritis crónica no atrófica	30	Gastritis crónica no atrófica	32.58	+
Caso 27	Gastritis aguda	70	Gastritis crónica no atrófica	62	-
Caso 28	Dispepsia funcional	90	Gastritis crónica no atrófica	69.78	-
Caso 29	Úlcera estomacal	30	Gastritis crónica no atrófica	90	-
Caso 30	Dispepsia funcional	60	Gastritis crónica no atrófica	49	-

Tabla 3.10 Casos de estudio
Fuente: [Elaboración propia]

Al hacer la evaluación con el Sistema Inteligente dieron los siguientes resultados:

(- -) (+ + +) (- - - -) (+ +)(- -) (+ +) (- - -) (+ + +) (- -) (+ + +) (- - - -)

Donde:

- (-) Representa los casos que no reconoce el sistema inteligente.
- (+) Representa los casos que reconoce el sistema inteligente.

Siendo racha construida por la sucesión de signos iguales. En nuestro caso tenemos 11 rachas, $k = 11$, que se recogen entre paréntesis a continuación:

Siendo $n = 30$ el número total de observaciones, $n_1 = 13$ el número de residuos positivos y $n_2 = 17$ el número de residuos negativos, el número de rachas estará normalmente distribuido con media y varianza expresadas por las fórmulas:

$$E(k) = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} + 1 = 15.73$$

$$S^2(k) = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (2 \cdot n_1 \cdot n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 \cdot (n_1 + n_2 - 1)} + 1 = 6.98$$

Paso 6: Toma de decisión.

Como regla de decisión, al 95% de confianza, no se rechaza la hipótesis nula de aleatoriedad H_0 si el número de rachas obtenidas se encuentra en el intervalo.

$$[E(k) - 1.96 \cdot S(k) \quad - \quad E(k) + 1.96 \cdot S(k)]$$

Reemplazando valores:

$$[15.73 - 1.96 \cdot 2.64] - [1.73 + 1.96 \cdot 2.64]$$

$$[10.6 - 20.9]$$

Que en nuestro caso toma los valores **[10.6 – 20.9]**. Puesto que $k = 11$, cae dentro del intervalo no podemos rechazar la hipótesis, por lo tanto podemos afirmar H_0 “Las Redes Bayesianas permiten representar el conocimiento del Sistema Inteligente para que éste pueda presentar diagnósticos confiables de la gastritis”, lo que hace de esta tesis un trabajo valido, y además se prueba que los datos de la muestra son aleatorios.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en la experimentación podemos concluir que las redes bayesianas son una alternativa más, en el uso de la representación del conocimiento, de los sistemas inteligentes.

En otro aspecto, la red bayesiana del sistema inteligente posee una cantidad de variables menor que las que utiliza el experto humano, esta reducción de la cantidad de variables involucradas produce una simplificación en la conceptualización del dominio analizado, que en este caso fue la gastritis crónica no atrófica, por lo que se consideró algunas pruebas y síntomas relevantes al tema de estudio.

Se diseñó la base de conocimiento, que abarca entre un 70% a 80% del conocimiento y experiencia del experto seleccionado, además de realizar un análisis de los historiales clínicos, esto hace que el sistema sea confiable.

Se diseñó el sistema inteligente para el diagnóstico de la gastritis crónica no atrófica, para lograr el objetivo planteado en el capítulo 1. Se tuvo que usar una herramienta para la creación del prototipo, por este motivo el sistema inteligente se desarrolló en Java y adquiriendo en conocimiento del experto humano se logró estructurar la información adquirida, para que mediante síntomas y sus respectivos grados de probabilidad se realice un diagnóstico probabilístico.

Los resultados obtenidos por el Sistema Inteligente fueron satisfactorios, ya que en un 55 por ciento de los casos se obtuvo los resultados esperados, existiendo solo fallas cuando el paciente presentaba otro tipo de anomalías. Sin embargo dichas

fallas pueden solucionarse ampliando el dominio, considerando más pruebas al paciente y otros datos que permitan realizar un diagnóstico más específico.

4.2 RECOMENDACIONES

En el desarrollo del trabajo no se consideró algunos aspectos importantes, dentro de lo que significa la construcción de Sistemas Inteligentes, por tratarse de temas muy amplios en la investigación, se recomienda continuar el estudio. Entre estos están: los algoritmos de aprendizaje en redes bayesianas, que permiten dotar al sistema inteligente el aprendizaje en base a la ayuda del experto humano.

Otra alternativa que se recomienda es, ampliar la base de conocimientos para el Sistema Inteligente, ya que solo trata de gastritis crónica no atrófica y así completar el dominio de estudio. Y al hacer dicha ampliación del dominio, también se recomienda mejorar el prototipo del sistema inteligente ya que habrá más módulos como el de aprendizaje, mas síntomas que se deben tomar en cuenta y otros aspectos dotando al sistema de un amplio conocimiento, mejorando así la calidad del diagnóstico.

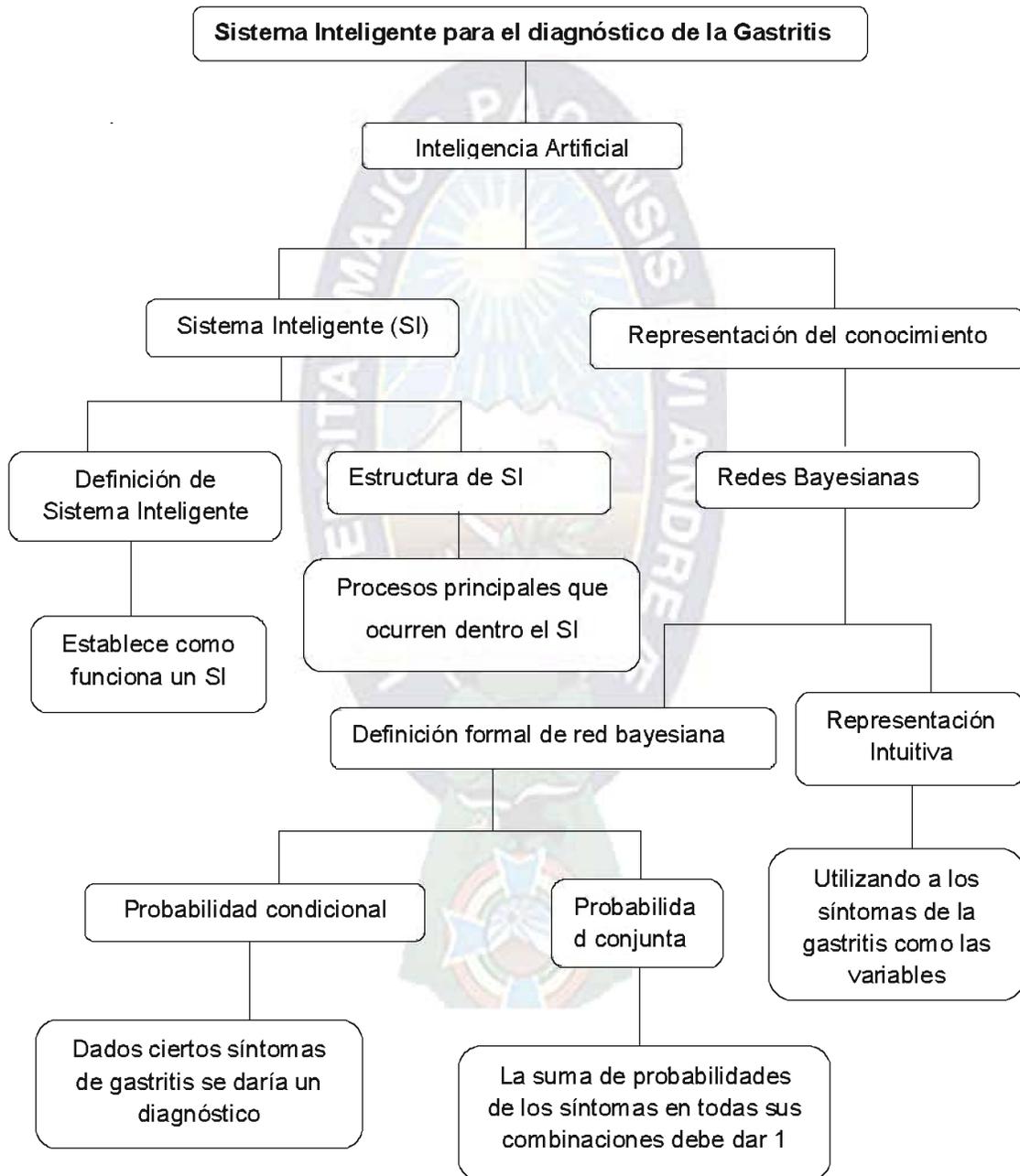
También se recomienda realizar un estudio de la Dispepsia funcional, por tener un cuadro de síntomas y/o signos muy similares a la gastritis crónica, además que se da en muchos pacientes y que dichos síntomas son reconocidos mundialmente, por lo que se tendría una base de conocimiento bien definida.

Se propone investigar la propagación de la evidencia de poliárbol con asignación, utilizando un algoritmo exacto, que puede ser el de eliminación de nodos, que consiste en realizar una búsqueda en profundidad en el poliárbol, partiendo de un nodo escogido arbitrariamente, recorriendo la red ignorando la dirección de los arcos y marcando los nodos visitados.

ANEXOS

ANEXO A

MAPA CONCEPTUAL



EXPLICACIÓN DEL MAPA CONCEPTUAL

Inteligencia Artificial (IA): En la investigación se debe tomar como base una rama de la Informática, por lo que se eligió la IA por ser un estudio de facultades mentales y como la informática y muchas otras ciencias se fusionan en la actualidad decidí fusionarla con la medicina ya que ambas ayudarían de alguna manera a la toma de decisiones para los doctores especialistas en el área estudiada.

Sistema Inteligente (SI): La IA tiene varios campos de investigación, pero en la presente Tesis de Grado se propone un Sistema Inteligente porque a diferencia de un Sistema Experto, éste aprende de su entorno, es decir emula un comportamiento racional en base a su experiencia y abstracción, por lo que ayudaría al médico especialista inclusive cuando aparezcan nuevas formas de síntomas en la enfermedad, el sistema lo guardaría en su base de conocimiento.

Definición de Sistema Inteligente: Ayuda mucho saber cómo es un sistema inteligente porque en base a dicha definición se sabe cómo debe actuar un sistema inteligente y de que son capaces para alcanzar su objetivo.

Establece como funciona un SI: Un SI puede percibir de su entorno, es la parte donde recopila la información, luego razona es ahí donde emula el razonamiento humano en base a su base de conocimiento, finalmente actúa dando respuesta al problema que percibió.

Estructura de SI: Son los procesos que ocurren dentro el SI y a la vez tienen partes donde estas deben trabajar de manera relacional para que así puedan dar respuesta a un problema, son como las partes del cuerpo humano que hace que un humano sea humano.

Procesos principales que ocurren dentro el SI: Los procesos pueden ser: el objetivo que es dar un diagnóstico, cerebro donde transforma las sensaciones en conceptos, memoria que vendrían a ser las reglas de actuación, en este caso las redes bayesianas.

Representación del conocimiento: Toda la información que se utilizará para dar diagnóstico acerca de la gastritis crónica debe ser muy bien tratada, por lo que se utilizan las redes bayesianas para que el conocimiento que dará el médico especialista sea estructurada de manera gráfica.

Redes Bayesianas: Una de las mejores maneras de representar el conocimiento son las redes bayesianas porque son probabilísticas, lo que implica que pueden tener un grado de probabilidad de que exista algún síntoma. El Sistema Inteligente tendrá dicha Red Bayesiana como base de conocimiento.

Representación Intuitiva: Visto de una manera más simple, las redes bayesianas ayudarían al sistema inteligente con su tratamiento del conocimiento ya que cada nodo sería un síntoma que estaría conectada por medio de un arco con otro síntoma, esto para que puedan dar un diagnóstico confiable.

Definición formal de red bayesiana: En esta parte se encuentran las fórmulas matemáticas de lo que es una red bayesiana. Se utilizará para sacar las probabilidades de cada nodo que en este proyecto serán los síntomas de la gastritis. Esto también ayudará a interpretar dichas variables en el software Elvira, para realizar la construcción del prototipo.

Probabilidad conjunta: Ayudará a controlar que las combinaciones posibles de cada síntoma no sobrepasen de 100%, visto de otra manera que sus probabilidades no sean mayores a 1.

Probabilidad condicional: Dado un síntoma, este debería tener otro que lo preceda para tener un grado de probabilidad de ambos y así ver cuál es el diagnóstico que puede tener el paciente, también definida por medio de fórmulas matemáticas, es otra de las maneras donde el Sistema Inteligente podrá dar lugar a su razonamiento.

ANEXO B

CÓDIGO FUENTE DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA INTELIGENTE MOTOR DE INFERENCIA

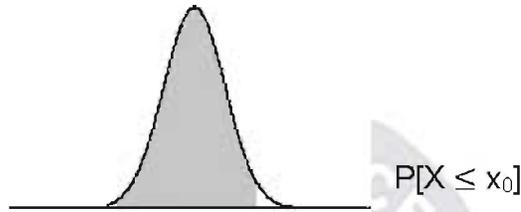
```
public class MotorInfe {  
  
    protected IsA a;  
  
    MotorInfe(IsA x) {  
        a = x;  
    }  
  
    void AlgElim(String x, int y, IsA z) {  
        NodoA r;  
        double auxi = y;  
        r = z.p;  
        while (r != null) {  
            if (r.sintoma != x) {  
                if (r.causas != null) {  
                    AlgElim(x, y, r.causas);  
                }  
            } else {  
                r.sw = true;  
                r.pesos = auxi / 100;  
            }  
            if (r != null && r.causas != null && r.causas.valid()) {  
                r.sw = true;  
            }  
            r = r.sig;  
        }  
    }  
  
    double calculo(IsA x) {  
        NodoA r;  
        r = x.p;  
        double auxh = 1, auxp = 0;  
        while (r != null) {  
            if (r.sw) {  
                auxh = r.pesos;  
                if (r.causas != null && r.causas.valid()) {  
                    auxh = auxh * calculo(r.causas);  
                }  
            }  
            if ((auxp + auxh) < 1) {  
                auxp = auxp + auxh;  
            }  
        }  
    }  
}
```

```
    } else {  
        auxp = 1;  
    }  
    }  
    r = r.sig;  
    }  
    return (auxp);  
    }  
}
```



ANEXO C

TABLA DISTRIBUCIÓN NORMAL



	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,5279	0,53188	0,53586
0,1	0,53983	0,5438	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56749	0,57142	0,57535
0,2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59483	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0,3	0,61791	0,62172	0,62552	0,6293	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65173
0,4	0,65542	0,6591	0,66276	0,6664	0,67003	0,67364	0,67724	0,68082	0,68439	0,68793
0,5	0,69146	0,69497	0,69847	0,70194	0,7054	0,70884	0,71226	0,71566	0,71904	0,7224
0,6	0,72575	0,72907	0,73237	0,73565	0,73891	0,74215	0,74537	0,74857	0,75175	0,7549
0,7	0,75804	0,76115	0,76424	0,7673	0,77035	0,77337	0,77637	0,77935	0,7823	0,78524
0,8	0,78814	0,79103	0,79389	0,79673	0,79955	0,80234	0,80511	0,80785	0,81057	0,81327
0,9	0,81594	0,81859	0,82121	0,82381	0,82639	0,82894	0,83147	0,83398	0,83646	0,83891
1	0,84134	0,84375	0,84614	0,84849	0,85083	0,85314	0,85543	0,85769	0,85993	0,86214
1,1	0,86433	0,8665	0,86864	0,87076	0,87286	0,87493	0,87698	0,879	0,881	0,88298
1,2	0,88493	0,88686	0,88877	0,89065	0,89251	0,89435	0,89617	0,89796	0,89973	0,90147
1,3	0,9032	0,9049	0,90658	0,90824	0,90988	0,91149	0,91308	0,91466	0,91621	0,91774
1,4	0,91924	0,92073	0,9222	0,92364	0,92507	0,92647	0,92785	0,92922	0,93056	0,93189
1,5	0,93319	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
1,6	0,9452	0,9463	0,94738	0,94845	0,9495	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,9608	0,96164	0,96246	0,96327
1,8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,9732	0,97381	0,97441	0,975	0,97558	0,97615	0,9767
2	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,9803	0,98077	0,98124	0,98169
2,1	0,98214	0,98257	0,983	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,985	0,98537	0,98574
2,2	0,9861	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,9884	0,9887	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,9901	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
2,4	0,9918	0,99202	0,99224	0,99245	0,99266	0,99286	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,9943	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,9952
2,6	0,99534	0,99547	0,9956	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2,7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,9972	0,99728	0,99736
2,8	0,99744	0,99752	0,9976	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861
3	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,999
3,1	0,99903	0,99906	0,9991	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,9994	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,9995
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,9996	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,9997	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,9998	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983

BIBLIOGRAFÍA

- [Montero, 2001] Montero Rocabado Silvia Luz, 2001, Diagnóstico y proyección de tratamiento de úlceras en el estomago, Carrera de Informática, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- [Vilarrasa, 2005] Villarrasa Andrés Amparo, 2006, Sistema Inteligente para la detección y diagnóstico de Patología Mamaria, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Medicina, Departamento de Radiología y Medicina Física, Madrid, España.
- [Bellido, 2009] Bellido A., 2009, Sistema Inteligente de diagnóstico de tumores cerebrales, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Madrid, España.
- [Ramirez, 2010] Ramirez J., 2010, Sistema Inteligente de diagnóstico del Alzheimer de forma precoz mediante procesado de imágenes del cerebro, Universidad de Granada.
- [Orozco, 2008] Orozco Apaza Juan Edgar, 2008, Diagnóstico clínico de Trastornos Mentales, Carrera de Informática, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- [Ramos, 2011] Ramos Condori Verónica Ingrid, 2011, Sistema Experto para el diagnóstico de quistes bucomaxilofaciales en niños basado en redes bayesianas, Carrera de Informática, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- [Flores, 2010] Rosa Flores Morales, 2010, Sistemas Expertos (INF-351), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- [Samper.2006] Samper, 2006, Metodología de la investigación.

- [Pajares, 2006] Pajares Martinsaz Gonzalo y Santos Peñas Matilde, 2006, Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento, Editorial ALFOMEGA.
- [Rusell, 2004] Rusell Sturat y Norvig Peter, 2004, Inteligencia Artificial. Un enfoque práctico. Editor PEARSON PRENTICE – HALL.
- [Martinsaz, 2006] Pajares Martinsaz Gonzalo y Santos Peñas Matilde, 2006] Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento, Editorial ALFOMEGA.
- [Calderón, 2009] Dr. Oscar Calderón V. - Dr. Daniel Elio Calvo - Dr. Modesto Valle, 2009, C., Actualización y guías de manejo de las enfermedades digestivas II, Gastritis, Dr. Guido Villa-Gomes Roig, Instituto de Gastroenterología Boliviano Japonés, La Paz-Bolivia
- [Macías, 2007] Dra. Elena Macías Mendizabal, 2007, GeoSalud, - Clínica Universitaria de Navarra.
- [Natur Center, 2011] Centro de Investigación de Biociencia “Natur Center” e Instituto Latinoamericano de Medicina Natural, Gastritis. <http://medicinaturalcientifica.org/Recursos/patologias/gastritis01.pdf>
- [Cortizo, 2008] Cortizo José Carlos y Díaz Luis Ignacio, 2008, ¿Por qué Sistemas Inteligentes y no Inteligencia Artificial? http://www.madrimasd.org/blogs/sistemas_inteligentes/2008/03/27/87532
- [Fritz. 2006] Fritz Walter, 2006, <http://intelligent-systems.com.ar/intsys/overviewSp.htm>
- [Pacheco, 1999] Pacheco Alberto, 1999, http://www.socrates.itc.edu.mx/~apacheco/ai/s_intel.htm

[Aguilar, 2003]

Aguilar Martínez Luis Carlos, 2003, Tipos de Gastritis y su tratamiento

<http://profesional.medicinal.medicinatv.com/fmc/muestra2.asp?id=1352&idpq=1>

