

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



TESIS DE GRADO

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO
DE LA SINUSITIS BASADO EN LÓGICA DIFUSA”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA

MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POSTULANTE: CARLOS FRADE MUÑOZ

TUTOR METODOLÓGICO: LIC. GROVER ALEX RODRIGUEZ RAMIREZ

ASESOR: M.Sc. ALDO RAMIRO VALDEZ ALVARADO

LA PAZ – BOLIVIA

2017



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



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

A mis padres Carlos y Victoria por su constante e incondicional apoyo, su conocimiento, entendimiento y amor para conmigo a lo largo de mi vida.

A mis hermanas Victoria y Olivia por sus consejos, su apoyo y ánimos que me brindaron todo este tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor M.Sc. Aldo Ramiro Valdez Alvarado, por guiarme durante toda la elaboración de la presente tesis, por su asesoramiento, su apoyo y su tiempo, por sus observaciones, colaboración y consejos.

A mis tutores metodológicos, el Ph.D. Yohoni Cuenca Sarzuri por brindarme su constante colaboración y conocimiento, a el Lic. Grover Alex Rodríguez Ramírez por su tiempo y atención en las revisiones de la tesis.

A mi familia por su apoyo durante todo este tiempo, por sus consejos y brindarme sus experiencias, y sobre todo por su amor incondicional.

A los docentes de la carrera de Informática, por sus enseñanzas.

A Don Antonio por su apoyo, consejo y paciencia.

RESUMEN

Está demostrado que la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en diferentes contextos (informático, industrial, biológico, otros) es una herramienta muy útil. Los sistemas expertos son un área de la informática que se derivan de la (IA), se están implementando en el campo de la medicina para ayudar al doctor en el diálogo clínico. Por otro lado, la sinusitis es una infección respiratoria que consiste en la inflamación de la mucosa de los senos paranasales. La sinusitis constituye una enfermedad de adquisición comunitaria y frecuente que afecta a personas de toda edad sin discriminación, por lo tanto tiene un impacto considerable sobre la salud pública general.

El presente trabajo de tesis, ofrece una visión detallada de la construcción de un sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis, el mismo que servirá de apoyo a los profesionales del área de la salud y personas que padecen esta enfermedad. El sistema contribuye en la toma de decisiones, al médico especialista, además de defender el saber del otorrinolaringólogo, cuenta con entradas, que son los síntomas y signos, una base de conocimiento que contiene el saber formalizado y estructurado del otorrinolaringólogo, la representación de este conocimiento permite describir los hechos que ocurren y las reglas utilizadas en el proceso de diagnóstico, además las incertidumbres representadas en las variables de clasificación que surgen necesariamente y son representadas a través de la lógica difusa, las salidas son el diagnóstico y tratamiento que resulta; su implementación se realiza en el lenguaje de programación SWI-PROLOG.

Finalmente se concluye que la hipótesis planteada y cada uno de los objetivos se cumplen con la investigación y el trabajo realizado. De la misma forma se recomienda que existen muchos problemas que investigar dentro de las enfermedades infecciosas respiratorias. Con los resultados obtenidos de las pruebas se llegó a la conclusión que los diagnósticos obtenidos tienen un grado de confiabilidad de un 90% respecto a los resultados reales.

ABSTRACT

It has been demonstrated that the application of artificial intelligence (AI) in different contexts (computer, industrial, biological, others) is a very useful tool. Expert systems are an area of computer science that are derived from the (AI), are being implemented in the field of medicine, to assist the doctor in clinical dialogue. On the other hand, sinusitis is a respiratory infection that consists of inflammation of the mucosa of the paranasal sinuses. Sinusitis is a common and frequent disease that affects people of all ages without discrimination, and therefore has a considerable impact on general public health.

The present work of thesis, offers a detailed view of the construction of an expert system based on diffuse logic for the diagnosis and treatment of sinusitis, which will serve as support for health professionals and people suffering from this disease. The system contributes to decision making, to the specialist doctor, besides defending the knowledge of the otorhinolaryngologist, has inputs, which are the symptoms and signs, a knowledge base containing the formal and structured knowledge of the otorhinolaryngologist, the representation of this knowledge allows to describe the facts that occur and the rules used in the diagnostic process, besides the uncertainties represented in the classification variables that necessarily arise and are represented through diffuse logic, the outputs are the diagnosis and treatment that results; Its implementation is done in the SWI-PROLOG programming language.

Finally, it is concluded that the hypothesis presented and each of the objectives are fulfilled with the research and the work done. In the same way it is recommended that there are many problems to investigate respiratory infectious diseases. With the results obtained from the tests it was concluded that the diagnoses obtained have a degree of reliability of 90% with respect to the actual results.

ÍNDICE

CAPITULO 1

MARCO INTRODUCTORIO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3.1 PROBLEMA CENTRAL.....	5
1.3.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5 HIPÓTESIS.....	6
1.5.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	7
1.6 JUSTIFICACIÓN	7
1.6.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	7
1.6.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	7
1.6.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	7
1.7 ALCANCES Y LÍMITES	8
1.7.1 ALCANCES.....	8
1.7.2 LÍMITES	8
1.8 APORTES.....	9
1.8.1 PRÁCTICO	9
1.8.2 TEÓRICO	9
1.9 METODOLOGÍA	9
1.9.1 MÉTODO CIENTÍFICO.....	9
1.9.2 METODOLOGÍA BUCHANAN.....	10

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 INTRODUCCIÓN	12
2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	12
2.3 SISTEMA EXPERTO.....	14
2.3.1 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	15

2.3.2	CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO	17
2.3.3	ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO.....	17
2.3.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA EXPERTO	20
2.3.5	METODOLOGÍA DE BUCHANAN	22
2.3.5.1	IDENTIFICACIÓN.....	23
2.3.5.2	CONCEPTUALIZACIÓN	23
2.3.5.3	FORMALIZACIÓN	23
2.3.5.4	IMPLEMENTACIÓN	24
2.3.5.5	TESTEO	24
2.3.5.6	REVISIÓN DEL PROTOTIPO.....	24
2.4	LÓGICA DIFUSA	25
2.4.1	CONJUNTOS DIFUSOS	27
2.4.2	FUNCIÓN DE PERTENENCIA	28
2.4.3	VARIABLES LINGÜÍSTICAS.....	29
2.4.4	REGLAS DIFUSAS.....	30
2.4.5	INFERENCIA DIFUSA.....	32
2.4.5.1	METODO DE MAMDANI.....	32
2.5	SINUSITIS.....	33
2.5.1	PATOGENIA.....	36
2.5.2	CLASIFICACIÓN DE LA SINUSITIS	36
2.5.2.1	POR SU DURACIÓN	36
2.5.2.2	POR SU LOCALIZACIÓN.	36
2.5.2.3	POR SU ETIOLOGÍA.....	37
2.5.3	SINTOMATOLOGÍA.....	38
2.5.4	EXPLORACIÓN.....	39
2.5.5	DIAGNÓSTICO	40
2.5.6	TRATAMIENTO.....	40
2.5.6.1	TRATAMIENTO MÉDICO.....	41
2.5.6.2	TRATAMIENTO QUIRÚRGICO.....	41

CAPITULO 3

MARCO APLICATIVO	43
3.1 INTRODUCCIÓN	43
3.2 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO	45
3.2.1 IDENTIFICACIÓN.....	45

3.2.2	CONCEPTULIZACIÓN	47
3.2.3	FORMALIZACIÓN.....	48
3.2.3.1	BASE DE CONOCIMIENTO.....	48
3.2.3.2	VARIABLES DE LA BASE DE CONOCIMIENTO.....	48
3.2.3.3	PROCESO DE FUSIFICACIÓN DE LAS VARIBLES LINGÜÍSTICAS.....	50
3.2.3.5	BASE DE REGLAS	54
3.2.3.6	MOTOR DE INFERENCIA.....	59
3.2.4	IMPLEMENTACIÓN.....	60
3.2.5	TESTEO.....	61
3.2.6	REVISIÓN DEL PROTOTIPO	67

CAPITULO 4

EVALUACIÓN DE RESULTADOS	68
4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	68
4.1.1 CONTRASTE DE RACHAS DE WALD-WOLFOWITZ.....	68
4.1.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	70

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1 CONCLUSIONES.....	75
5.2 RECOMENDACIONES	76

BIBLIOGRAFÍA.....	78
-------------------	----

GLOSARIO	81
----------------	----

ANEXOS

DOCUMENTACIÓN

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Algunas áreas de la inteligencia artificial	14
Figura 2.2: Campos de aplicación de los sistemas expertos.....	15
Figura 2.3: Arquitectura general de un sistema experto.....	18
Figura 2.4: Etapas de la Metodología Buchanan	22
Figura 2.5: Ejemplo de Conjunto Difuso	28
Figura 2.6: Función triangular	28
Figura 2.7: Función Trapezoidal	29
Figura 2.8: Valores lingüísticos de la variable difusa “Velocidad”	29
Figura 2.9: Conjunto difuso de la variable difusa “Velocidad”	30
Figura 2.10: Ubicación de los senos paranasales	34
Figura 2.11: Vías de infección: a) nasal; b) odontogénea; c) orbitaria; d) hemática.....	35
Figura 3.1: Proceso de desarrollo del sistema experto propuesto.....	44
Figura 3.2: Participantes que intervienen en el desarrollo del sistema experto.....	45
Figura 3.3: Estructura del sistema experto	46
Figura 3.4: Conjunto difuso de fiebre.....	50
Figura 3.5: Conjunto difuso de fobia	51
Figura 3.6: Conjunto difuso de dolor de garganta	52
Figura 3.7: Entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor.....	61
Figura 3.8: Pantalla de inicio del sistema experto	62
Figura 3.9: Pantalla de información sobre la sinusitis.....	63
Figura 3.10: Pantalla de radiografía de Cadwell	63
Figura 3.11: Pantalla de radiografía de Waters	64
Figura 3.12: Pantalla de Terminología Médica	64
Figura 3.13: Pantalla de edad del paciente	65
Figura 3.14: Pantalla de síntomas y signos.....	65
Figura 3.15: Pantalla de diagnóstico.....	66
Figura 3.16: Tratamiento de la sinusitis	66
Figura 3.17: Pantalla de recomendaciones para la recuperación.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Problemas secundarios y relación causa y efecto.....	6
Tabla 2.1: Primeros sistemas expertos.	16
Tabla 3.1: Descripción de variables de síntomas y signos característicos de la sinusitis.....	49
Tabla 3.2: Función de pertenencia de fiebre.....	51
Tabla 3.3: Función de pertenencia de fotofobia	52
Tabla 3.4: Función de pertenencia de dolor de garganta.....	53
Tabla 3.5: Formato para el desarrollo de las reglas de producción	55
Tabla 4.1: Comparación del diagnóstico médico y el sistema experto	72

CAPÍTULO 1

MARCO INTRODUCTORIO

1.1 INTRODUCCIÓN

Con la rápida evolución de la tecnología y la progresiva incorporación de avances tecnológicos como la aplicación de la informática en la práctica de la medicina, han hecho que esta sufra un cambio radical y mediante los sistemas informáticos se busca mejorar la calidad de la salud de los seres humanos cada vez más.

Las computadoras y los sistemas de información se están introduciendo al área de la medicina para agilizar y mejorar los procesos de apoyo médico, en la toma de decisiones médicas y la atención al paciente. Es el diagnóstico quizás, el más controvertido de los sectores de la aplicación de los sistemas en la medicina, por las implicaciones éticas que puede traer (Giarratano y Riley, 2001).

La sinusitis está definida como la condición resultante de la inflamación de la mucosa de la nariz o del hueso subyacente de las paredes de uno o más senos paranasales (Otolaryngology Head and Neck Surgery [OHNS], 2007). Afecta a toda la población sin predominio de sexo o edad y se puede encontrar asociado a importantes factores de riesgo que influyen en su presentación recurrente. Las causas de la sinusitis son diversas como ser: causas anatómicas, motivadas por el estilo de vida, trastornos del desarrollo y tumores en la nariz y los senos paranasales.

Como parte de las infecciones respiratorias de adquisición comunitaria, la sinusitis durante estos últimos 10 a 15 años alcanzó bastante notoriedad, y se la reconoce como una enfermedad frecuente y tiene, por tanto, un impacto considerable sobre la salud pública general y también sobre los recursos económicos destinados a tratarla (Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cervico-Facial [SEORL], 2003).

Los sistemas expertos (SE) es parte de las ramas de la inteligencia artificial, que contribuye en gran medida al área dentro de la cuales se encuentra la medicina. Estos sistemas imitan las actividades humanas para resolver problemas como un especialista humano lo haría en un área determinada y usando su propia manera de resolver el problema basado en la experiencia.

Actualmente existen gran variedad de sistemas expertos, el enfoque que se busca de un sistema experto para el diagnóstico, sistema el cual se enfoca para el diagnóstico en los síntomas de la enfermedad.

En la presente tesis se propone el desarrollo y construcción de un sistema experto que coadyuve como herramienta para el diagnóstico y tratamiento de sinusitis. Al ser campo de estudio de la tesis el diagnóstico médico, y por las características que presenta, se recomienda que problemas de este tipo sean tratados mediante reglas y la base de conocimientos a través de la experiencia del experto humano.

El sistema experto se desarrollara de la siguiente manera: el planteamiento del problema se realizara en base a la enfermedad a diagnosticar, posteriormente se trabajará y colaborará con un experto en el área de otorrinolaringología, seguidamente se plantearan los objetivos a alcanzar. Se obtendrá el conocimiento mediante la entrevista y observación para desarrollar el sistema experto.

1.2 ANTECEDENTES

A inicios de los años 50 el conocido Alan Mathinson Turing publicó "Inteligencia y Funcionamiento de las Máquinas" con el fin de demostrar hasta qué punto estas tienen inteligencia (Montes, 2003). A continuación se dará un breve resumen de la historia de los Sistemas Expertos agrupada por fechas:

- 1956: John McCarthy propuso por primera vez el uso del término inteligencia artificial para denominar el estudio del tema, en una conferencia en Vermont (USA).
- 1957: Apareció la primera versión de "The General Problem Solver" (GPS: Solucionador General de Problemas), el cual era capaz de solucionar problemas de sentido común pero no de la vida real.
- 1958: John McCarthy desarrollo el lenguaje LISP (LISt Procesing).

- 1965: Surgió el primer sistema experto llamado DENDRAL, se utilizaba para identificar estructuras químicas moleculares a partir de su análisis espectrográfico., su realización duro más de 10 años (1965-1975).
- 1972: Se desarrolló MYCIN en la Universidad de Stanford, un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades infecciosas. También apareció el lenguaje PROLOG.
- 1974: Apareció PROSPECTOR, un sistema experto de prospección minera desarrollado en la Universidad de Stanford.
- 1979: Se desarrolló XCOM, un sistema experto que se encargaba de configurar todas las computadoras que salían de la DEC (Digital Equipment Corporation).
- Entre 1980 y 1985 se produjo la revolución de los Sistemas Expertos, en este intervalo de tiempo se crearon Sistemas como el DELTA, de General Electric Company, para la reparación de locomotoras diésel y eléctricas; se crearon multitud de empresas dedicadas a los Sistemas Expertos como Teknowledge Inc., Lisp Machines Inc., Thinking Machines Corporation, Cognitive Systems Inc.
- A partir de los 90 y con el desarrollo de la informática, se produjo un amplio desarrollo en el campo de la IA y por ende de los Sistemas Expertos, pudiéndose afirmar que estos se han convertido en una herramienta habitual en determinadas empresas en la actualidad.
- 2014: Un ordenador con el programa Eugene logro superar con éxito el test de turing, haciendo creer a un interrogador que es una persona quien responde a las preguntas.
- 2016: Un ordenador de Google venció al campeón mundial del juego de origen oriental llamado Go.

Los sistemas expertos tiene aplicación dentro del campo médico, más específicamente en la precisión del diagnóstico médico y poder brindar un tratamiento eficaz. Estos sistemas con el transcurso del tiempo almacenaron el conocimiento en medios electrónicos, donde nunca se deteriorará, por el contrario sirve como base para profundizar sobre conocimientos del área y crear o ingresar nuevas reglas para tratar nuevas enfermedades.

Los sistemas expertos sirven como apoyo para el desarrollo tecnológico y humano en el campo de la medicina, y mientras más se utilicen, el conocimiento y diagnóstico de enfermedades será más preciso, pero dichos sistemas no reemplazaran al experto humano.

Realizando una investigación en la carrera de Informática de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés se encontraron seis tesis de grado, que contemplan o están relacionados con este tipo de temas. La carrera de Informática cuenta con los siguientes trabajos realizados con anterioridad relacionados con este tema:

- **Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades neurológicas ciáticas**, hace referencia al desarrollo de un sistema que permita el diagnóstico oportuno de enfermedades neurológicas ciáticas y proporcionar sugerencias de tratamiento utilizando redes neuronales que pueden inferir dicho diagnóstico (Mamani, 2004).
- **Sistema basado en conocimiento para el diagnóstico de desnutrición en niños menores de 5 años**, menciona el desarrollo de un sistema que permita determinar el grado de desnutrición en niños y su respectivo tratamiento para prevenir posteriores enfermedades mediante la integración de redes neuronales (Escobar, 2007).
- **Sistema experto para el diagnóstico de anemia y poliglobulia mediante hemograma**, cita al desarrollo de un prototipo de un sistema que proporcione un diagnóstico de anemia y poliglobulia considerando el examen hematológico, utilizando lógica difusa y aplicando un motor de inferencia en base a hechos y reglas (Lima, 2007).
- **Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años basado en lógica difusa**, alude al desarrollo de un prototipo de un sistema que proporcione un diagnóstico confiable de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años, utilizando lógica difusa para representar el conocimiento del especialista (Enriquez, 2012).
- **Sistema basado en conocimiento para el diagnóstico de osteoporosis en mujeres de 35 a 45 años**, se refiere al desarrollo de un sistema que permita el diagnóstico de osteoporosis confiable y prevención de la disminución de masa ósea en mujeres de 35 a 45 años utilizando lógica de proposiciones y predicados y desarrollando con la herramienta de programación SWI-Prolog (Mamani, 2012).
- **Sistema experto para el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas en menores de cinco años**, concierne al desarrollo de un prototipo de un sistema que permita el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas mediante la implementación de redes bayesianas y formalizando el conocimiento de especialista para representar su conocimiento (Chavez, 2012).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sinusitis constituye una afección frecuente en los países desarrollados: alcanza cerca de un 50% de los habitantes del norte de Europa y más de 31 millones de pacientes/año en EE.UU., lo que da idea del elevado consumo de recursos sanitarios (Ramírez, 1998).

1.3.1 PROBLEMA CENTRAL

El no diagnosticar a tiempo una sinusitis en los pacientes puede causar la complicación de la misma, además de que existe una probabilidad de desarrollar otras infecciones cerca del área afectada, como neumonía, meningitis, otitis, entre otras. Donde en casos extremos se llega a la hospitalización o intervención quirúrgica. El principal problema que se pretende resolver con el desarrollo del presente trabajo es el siguiente:

¿De qué manera se puede apoyar al especialista otorrinolaringólogo a diagnosticar una sinusitis en pacientes?

1.3.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS

Para el desarrollo de la presente tesis se obtuvieron diversos problemas, en la tabla 1.1 se muestra los dichos problemas y la relación causa efecto.

Nº	CAUSA	EFEECTO
1	Falta de diagnóstico oportuno de la sinusitis, el especialista no se puede encontrar en diferentes lugares.	Complicación de la sinusitis y riesgo de aparición de nuevas afecciones o infecciones.
2	Existe un bajo nivel de información y educación de la ciudadanía respecto a la enfermedad y como proceder correctamente cuando esta se manifiesta.	La gente no toma interés sobre el riesgo que surge cuando una sinusitis se presenta.
3	Tratamiento ineficaz de una sinusitis a causa de medicamentos ineficientes.	Reaparición de la sinusitis y su posterior complicación.

4	Poco acceso a centros de salud y saneamiento básico por parte de la población por no estar afiliados a un seguro.	Contribuyen a que se presenten diferentes tipos de sinusitis y con más frecuencia.
5	Los criterios de diagnóstico sobre la sinusitis varían según el especialista.	Pueden existir diferentes diagnósticos y tratamientos, algunos más efectivos que otros.

Tabla 1.1: Problemas secundarios y relación causa y efecto
Fuente: (Elaboración Propia)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema experto, para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis, que sea útil para el otorrinolaringólogo al momento de emitir un diagnóstico y tratamiento adecuado.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Brindar mayor información sobre la enfermedad de sinusitis con su respectivo diagnóstico y tratamiento.
- Apoyar al especialista otorrinolaringólogo a la hora de diagnosticar y tratar la sinusitis.
- Prevenir las complicaciones de la sinusitis mediante el diagnóstico oportuno del sistema experto.
- Diseñar una base de conocimientos, a través de la experiencia que el especialista otorrinolaringólogo posea en el área de sinusitis y preservar dicho conocimiento.
- Evaluar los resultados obtenidos por el sistema experto mediante la comparación con diagnósticos emitidos por el especialista otorrinolaringólogo.

1.5 HIPÓTESIS

El sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis es una herramienta capaz de apoyar el trabajo del especialista otorrinolaringólogo en el área de salud proporcionando un diagnóstico con una confiabilidad del 90%.

1.5.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **Variable independiente:** Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis.
- **Variable dependiente:** El diagnóstico de la sinusitis con una confiabilidad del 90%.
- **Variable interviniente:** Lógica difusa.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Cuando se es difícil asistir a una consulta médica del experto o no se puede costear dicha consulta, el sistema experto podrá reducir los costos en consultas médicas en un centro de salud para el diagnóstico de la sinusitis y hacerlas accesibles a padres de familia de bajos recursos. Además en los centros de salud el sistema experto podrá reducir el tiempo de consulta médica por lo tanto se atenderá mayor cantidad de pacientes y aumentaran sus ganancias.

1.6.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La disposición de un sistema experto que pueda diagnosticar sinusitis, y apoyar el diagnóstico de un médico general o un médico especialista, además de mostrar los tratamientos posibles a ser tomados en cuenta. Con esta tesis se busca prevenir y mejorar la calidad de la salud de los pacientes. De otro lado un sistema de diagnóstico temprano de este tipo de enfermedad, también evitará a las personas, innecesarias preocupaciones acerca de la salud de su familia.

Además la importancia de contar con un sistema experto que diagnostique la sinusitis de una manera confiable y rápida ayuda a los centros de salud en no saturarse de pacientes, especialmente en cambio de estación (cambio de clima), donde se incrementan los casos de sinusitis a tratar.

1.6.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

La realidad requiere de la conjunción de las ciencias en general y de manera particular de la relación entre la medicina e informática. Como estas ciencias están en una dinámica de constante cambio, van a la par de la tecnología es por eso que requieren de actualizaciones de equipos, métodos y conocimiento para resolver un determinado problema.

El sistema experto se desarrolla para coadyuvar y brindar un diagnóstico y tratamiento adecuados, utilizando para esto la base de conocimiento y de hechos, además el modelo puede ser útil para futuras investigaciones y así profundizar sobre el conocimiento de sinusitis especialmente a nivel del diagnóstico y tratamiento.

1.7 ALCANCES Y LÍMITES

1.7.1 ALCANCES

El estudio teórico que se realiza para esta tesis se basa fundamentalmente en métodos y técnicas relacionadas al campo de los sistemas expertos, que permiten resolver problemas en un área determinada del conocimiento y requieren de la inteligencia de un experto humano para mejorar su productividad, ahorrar tiempo y dinero.

Los recursos necesarios sobre la patología de la sinusitis para el presente trabajo, fueron provistos ampliamente por la Caja Nacional de Salud (CNS), Hospital Otorrino-Oftalmológico de tercer nivel, de la ciudad de La Paz, las entrevistas y consultas se realizaron al Dr. Carlos Frade Vargas, Especialista Cirujano Otorrinolaringólogo, Docente de Postgrado y Docente Adscrito de Pregrado.

El alcance de este trabajo toma en cuenta los siguientes puntos:

- Diagnóstico de sinusitis: frontal, maxilar, esfenoidal y etmoidal.
- Tratamiento básico inicial para la infección de la sinusitis.

1.7.2 LÍMITES

El presente trabajo se limita a los siguientes aspectos:

- No se toman en cuenta complicaciones con otras patologías que surjan a partir de la sinusitis.
- La investigación se apoya únicamente en especialistas del área de otorrinolaringología.
- El sistema experto no reemplazará por completo la experiencia del especialista otorrinolaringólogo, es una herramienta de apoyo a dicho especialista.

1.8 APORTES

El prototipo del sistema experto especializado en el área de otorrinolaringología, brinda un diagnóstico confiable de sinusitis en pacientes de centros de salud o personas que estén interesadas en cuidar de su salud.

1.8.1 PRÁCTICO

El aporte práctico será el diseño de un sistema experto que realice el diagnóstico de sinusitis, para coadyuvar al especialista del área de la salud y brindar información a la sociedad.

1.8.2 TEÓRICO

El aporte teórico de esta investigación es:

- El diseño de una base de conocimiento que preserve el saber del especialista otorrinolaringólogo acerca de la sinusitis, y además que la comprensión perdure a pesar de la muerte física del experto humano.
- Diseño de la base de hechos mediante la construcción de un conjunto de reglas y lógica difusa que representen de manera fidedigna el conocimiento del experto otorrinolaringólogo.
- Se proporciona una herramienta nueva e innovadora en nuestro medio para que coadyuve al trabajo del experto desafiando las tradicionales técnicas existentes.

1.9 METODOLOGÍA

1.9.1 MÉTODO CIENTÍFICO

La metodología a aplicarse en el desarrollo del presente trabajo de tesis es el Método Científico que sigue la ciencia para encontrarse a sí misma o mejorarse (Gutiérrez, 2006). Los pasos principales de dicho método que se detallan a continuación:

- 1) **Observación:** consiste en el estudio de un fenómeno, que se produce en sus condiciones naturales y debe ser cuidadosa, exhaustiva y exacta.
- 2) **Identificación del problema:** que se va estudiar, se realiza a partir de la observación, lo que lleva a emitir una hipótesis.

- 3) **Hipótesis:** establece una relación entre dos o más variables, al estudiar un conjunto de leyes se pueden hallar algunas irregularidades, buscamos probar la veracidad de explicaciones tentativas.
- 4) **Experimentación:** consiste en el estudio de un fenómeno, en las condiciones particulares de estudio que interesan, eliminando o introduciendo aquellas variables que puedan influir en el.
- 5) **Conclusión:** los resultados de un experimento pueden describirse mediante tablas, gráficos y ecuaciones, de manera que puedan ser analizados con facilidad y permitan encontrar relaciones entre ellos que confirmen o no las hipótesis emitidas.

1.9.2 METODOLOGÍA BUCHANAN

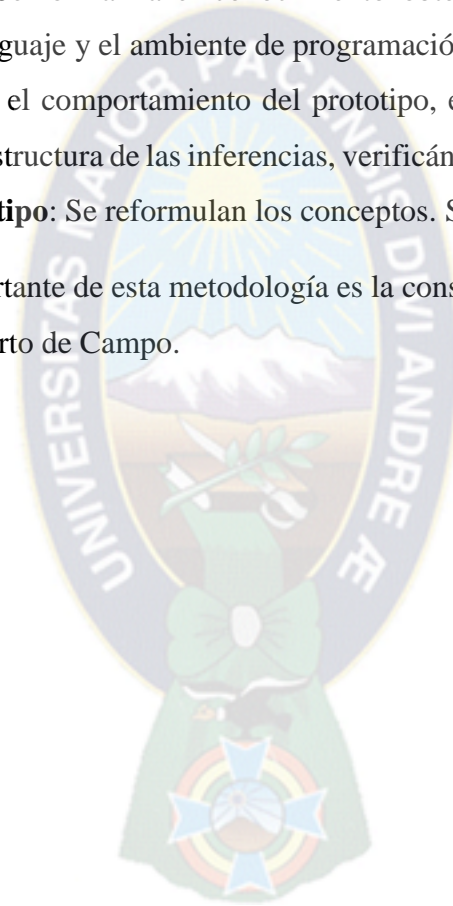
La metodología Buchanan adquiere el conocimiento mediante distintas fuentes como ser libros y expertos, el ingeniero de conocimiento procede a través de una serie de etapas para producir un sistema experto.

Se distinguen 6 etapas fundamentales:

- 1) **Identificación:** Se identifican los participantes y roles, los recursos, fuentes de conocimiento, se establecen las facilidades computacionales y presupuestos, se identifican los objetivos o metas.
- 2) **Conceptualización:** Se analizan los conceptos vertidos por el Experto de Campo, los mismo serán tomados en cuenta.
- 3) **Formalización:** Se identifican los conceptos relevantes e importantes. El resultado de formalizar el diagrama de información conceptual y los elementos subproblemas es una especificación parcial para construir un prototipo de la base de conocimiento la cual estará relacionada con la variable que se muestra a continuación:
 - **Lógica Difusa:** también llamada lógica borrosa se basa en lo relativo a lo observado como posición diferencial. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero, contextualizados y referidos entre sí. Este tipo de lógica incluye en su desarrollo una inferencia difusa la cual se detalla a continuación:

- **Inferencia de Mamdani:** es uno de los métodos más usados en aplicaciones, dado que es un método de inferencia directa. Veremos los diferentes pasos del método a continuación:
 - Evaluación del antecedente en cada regla.
 - Obtener la conclusión en cada regla.
 - Agregar la conclusión de cada regla.
 - Desborrosificación (defuzzify).
- 4) **Implementación:** Se formaliza el conocimiento obtenido del Experto y se elige la organización, el lenguaje y el ambiente de programación.
- 5) **Testeo:** Se observa el comportamiento del prototipo, el funcionamiento de la base de conocimiento y la estructura de las inferencias, verificándose la performance del sistema.
- 6) **Revisión del prototipo:** Se reformulan los conceptos. Se rediseña y refina el prototipo.

La característica más importante de esta metodología es la constante relación entre el Ingeniero de Conocimiento y el Experto de Campo.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se explica la definición, componentes y funcionamiento de los sistemas expertos, así también se realiza una breve descripción de las ventajas, limitaciones e historia del desarrollo de los sistemas expertos. Se menciona también la metodología de Buchanan con sus distintas etapas o fases que son aplicadas en el presente trabajo, el tipo de problema que se plantea, es tratado mediante razonamiento difuso (Lógica Difusa) y la base de conocimiento a través de la experiencia del experto humano.

Por último se realiza una explicación y descripción de la sinusitis, que factores son los que inciden en la causa u origen de esta enfermedad, así también los síntomas y signos que presenta dicha enfermedad, como llegar a un diagnóstico confiable y el tratamiento que se debe seguir en estos casos.

2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial (I.A.) es la rama de la informática que desarrolla procesos que imitan a la inteligencia de los seres vivos. Es también la ciencia que enfoca su estudio a lograr la comprensión de entidades inteligentes (Giarratano, 2001).

Para complementar esta definición algunos autores definen a la inteligencia artificial como:

- La I.A. es la parte de las ciencias de la computación que se ocupa del diseño de sistemas de computación inteligentes, esto es, sistemas que exhiben las características que asociamos con la inteligencia en el comportamiento humano (Barr y Feigenbaum, 1981).

- La I.A. es el campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales (Schalkoff, 1990).
- La I.A. es el estudio de cómo hacer que las computadoras hagan cosas que hasta el momento, los humanos hacen mejor (Rich y Knight, 1994).
- La I.A. es la solución de problemas complejos con el apoyo del computador, mediante la aplicación de procesos que son análogos al proceso del razonamiento humano (Rolston, 1995).
- La I.A. es el campo de estudio que se enfoca en la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales basadas en la experiencia y el conocimiento continuo del ambiente (Nebendah, 1998).
- La I.A. indaga buscar procedimientos, métodos y técnicas que se asocien a la capacidad de pensar y razonar hasta de manera inteligente. En este proceso pretende automatizar las tareas del pensamiento y razonamiento humano, proveyendo un modelo cognitivo de sus funcionamientos (García y Britos, 2004).

Se puede decir que, actualmente, cuando se investiga en el campo de la inteligencia artificial se pueden conseguir dos objetivos complementarios que ponen énfasis, respectivamente en los siguientes aspectos:

- El primer objetivo es el estudio de los procesos cognoscitivos en general lo que justificaría la siguiente definición “El estudio de la inteligencia como computación, que se orienta en la consideración de la IA como un estudio de la conducta humana inteligente” (Hayes, 1973).
- Como segundo objetivo a lograr por la inteligencia artificial, está la creación de entes o sistemas automáticos que sean capaces de llevar a cabo tareas y funciones que han estado, hasta el momento, reservadas en su desempeño exclusivamente a los seres humanos. En este segundo enfoque la inteligencia artificial se enmarca dentro de un contexto, más tecnológico, donde sea posible diseñar y construir programas, máquinas, y otros, con aptitudes similares o superiores a las de un ser humano.

El campo de la inteligencia artificial engloba y tiene muchas áreas de interés como se muestra en la figura 2.1, tales como los sistemas expertos ya que es una aproximación muy exitosa a la solución de los problemas clásicos de la I.A. en la programación de inteligencia.

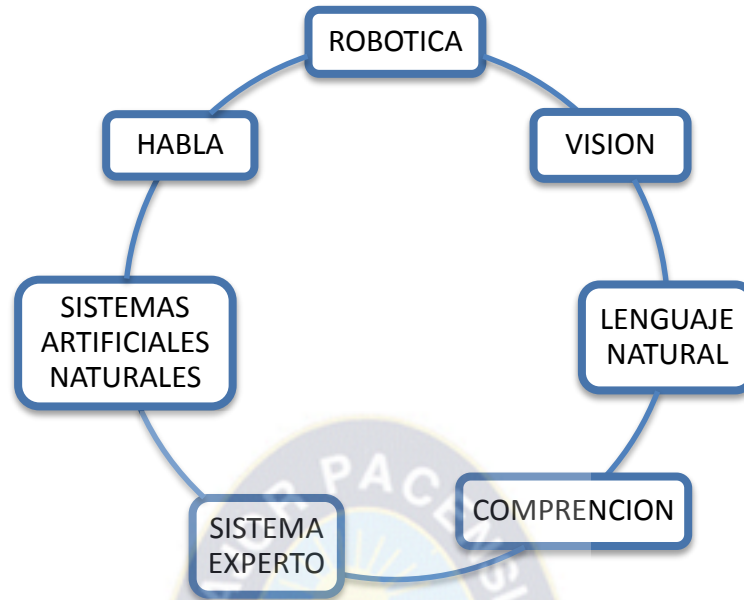


Figura 2.1: Algunas áreas de la inteligencia artificial
Fuente: (Giarratano, 2001)

2.3 SISTEMA EXPERTO

En la literatura existente se pueden encontrar muchas definiciones de sistema experto, o también llamado sistema experto basado en conocimiento. Stevens (1984) da la definición siguiente:

Los sistemas expertos son máquinas que emulan el pensar y razonar como un experto lo haría en cierta especialidad o campo. Por ejemplo, un sistema experto en diagnóstico médico requeriría como datos los síntomas del paciente, los resultados de análisis clínicos y otros hechos relevantes y, utilizando estos, buscaría en una base de datos la información necesaria para poder identificar la correspondiente enfermedad. Un sistema experto de verdad, no solo realiza las funciones tradicionales de manejar grandes cantidades de datos, sino que también manipula esos datos de forma tal que el resultado sea inteligible y tenga significado para responder a preguntas incluso no completamente específicas.

A pesar de que la anterior definición de un sistema experto es razonable, han surgido desde entonces otras definiciones, debido al rápido desarrollo de la tecnología como lo describen, Castillo y Alvarez (1991) y Durkin (1994). El sentido de estas definiciones puede resumirse como sigue:

Un sistema experto puede explicarse como un sistema informático (hardware y software) que simula a los expertos humanos en un área de especialización dada.

Un software que imite el comportamiento de un experto humano en la solución de un problema, que pueda almacenar conocimientos de expertos para un campo determinado y solucionar un problema mediante deducción lógica de conclusiones (Criado, 2002).

Durante la última década se han desarrollado muy rápidamente numerosas aplicaciones de sistemas expertos en muchos campos, por ejemplo, Quinlan (1987, 1989). Durkin (2004) examina unos 2500 sistemas expertos y los clasifica por criterios, tales como áreas de aplicación, tareas realizadas, etc. Tal como puede verse en la figura 2.2, los negocios, la industria y la medicina continúan siendo los campos dominantes entre aquellos en los que se utilizan sistemas expertos.

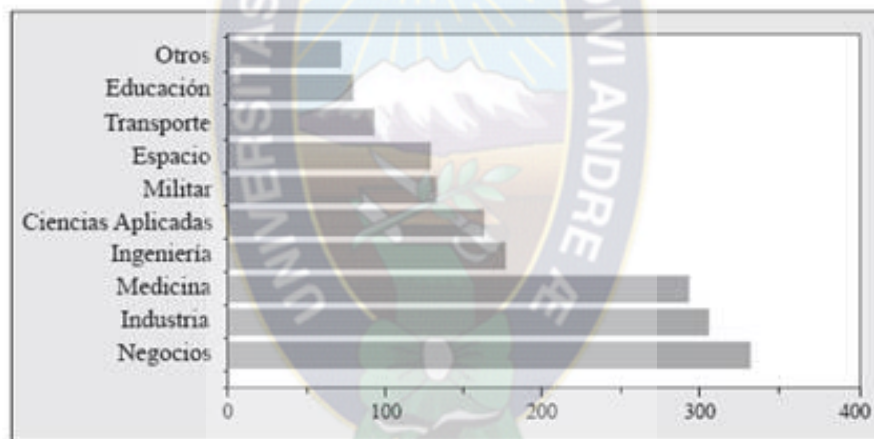


Figura 2.2: Campos de aplicación de los sistemas expertos
Fuente: (Durkin, 1994)

2.3.1 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

La tecnología representada por los sistemas expertos actuales, surge de las técnicas de inteligencia artificial que han sido objeto de amplias e intensivas investigaciones, desde finales de la década de 1950. Las investigaciones comenzaron en el área de lenguajes para apoyar el razonamiento simbólico (Giarratano, 2001).

El lenguaje de programación IPL, el primer lenguaje simbólico, para procesamiento de listas, se emplearon ampliamente en las primeras implementaciones de I.A., LIS actualmente uno de los más populares para I.A. en USA, fue desarrollado por Jhon McCarthy en 1958 (Rolston, 1995).

La investigación específica en sistemas expertos comenzó a mediados de los años sesenta, varios sistemas se desarrollaron entre 1965 y 1970 como se muestra en la Tabla 2.1; la mayoría de ellos fueron de alcance muy limitado, y se orientaron hacia juegos o temas altamente académicos e idealizados. A partir de 1980 se ponen de moda los sistemas expertos, numerosas empresas de alta tecnología investigan en el área apoyados de la inteligencia artificial, desarrollando sistemas expertos para su comercialización.

A partir de los 90 y con el desarrollo de la informática, se produce un amplio desarrollo en campo de la inteligencia artificial, y por ende de los sistemas expertos pudiéndose afirmar que estos se han convertido en una herramienta habitual de diversas empresas (Giarratano, 2001).

SISTEMA	AÑO	AUTOR	APLICACIÓN
DENDRAL	1965	Stanford	Deduce información sobre estructuras químicas
MACSYMA	1965	MIT	Análisis matemático complejo
HEARSAY	1965	Carnegie - Mellon	Interpreta el lenguaje natural un subconjunto del idioma
MYCIN	1972	Stanford	Diagnóstico de enfermedades de la sangre
TIERESIAS	1972	Stanford	Herramienta para la transformación de conocimiento
PROSPECTOR	1972	Stanford	Exploración mineral y herramientas de identificación
AGE	1973	Stanford	Herramientas para generar sistemas expertos
OPS5	1974	Carnegie - Mellon	Herramienta para el desarrollo de sistema experto
CADUCEUS	1975	University of Pittsburg	Herramienta de diagnóstico para medicina interna
ROSIE	1978	Rand	Herramienta de desarrollo de sistema experto
R1	1978	Carnegie - Mellon	Configurador de equipos de computación para DEC

Tabla 2.1: Primeros sistemas expertos.

Fuente: (Rolston, 1995)

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO

Según Giarratano (2001) un sistema experto suele diseñarse para que tenga las siguientes características generales:

- **Alto desempeño:** El sistema debe tener la capacidad de responder a un nivel de competencia igual o superior al de un especialista en el campo. Esto significa que la calidad del consejo dado por el sistema debe ser muy alta.
- **Tiempo de respuesta adecuado:** El sistema debe actuar en un tiempo razonable, comparable o mejor al tiempo requerido por un especialista, para alcanzar una decisión. Si un sistema experto necesita un año para tomar una decisión que un especialista tomaría en una hora no sería muy útil. Las restricciones de tiempo en el desempeño de un sistema experto pueden ser especialmente severas en el caso de los sistemas en tiempo real, cuando una respuesta debe darse dentro de un intervalo.
- **Confiabilidad:** El sistema experto debe ser confiable y no propenso a caídas o no será usado.
- **Comprensible:** El sistema debe ser capaz de explicar los pasos de su razonamiento mientras se ejecutan, de tal modo que sea comprensible. En lugar de ser sólo una caja negra que produce una respuesta milagrosa, el sistema debe tener capacidad de explicación, de la misma forma en que los especialistas pueden explicar su razonamiento. Este rasgo es muy importante por varias razones.
- **Flexibilidad:** Debido a la gran cantidad de conocimiento que un S.E. puede tener, es importante contar con un mecanismo eficiente para añadir, modificar y eliminar conocimiento.

2.3.3 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

Los sistemas expertos emplean una amplia variedad de arquitecturas específicas en sus sistemas. A pesar de las diferencias significativas, la mayoría de las arquitecturas tienen muchos componentes en común (Giarratano, 2001).

Un sistema experto como tal debe estar bien estructurado y sus componentes deben relacionarse entre sí de manera que permita al sistema un funcionamiento eficaz, ya que su trabajo es muy difícil y sus campos de aplicación se extienden en varias áreas por lo que los sistemas expertos

tienen bastante relevancia en el ámbito de la inteligencia artificial, además de coadyuvar al experto humano como una herramienta inteligente y brindando soluciones a problemas actuales.

La figura 2.3 nos muestra la arquitectura general de cualquier sistema experto con sus respectivos componentes y las relaciones que presentan entre dichos componentes para su correcto funcionamiento:

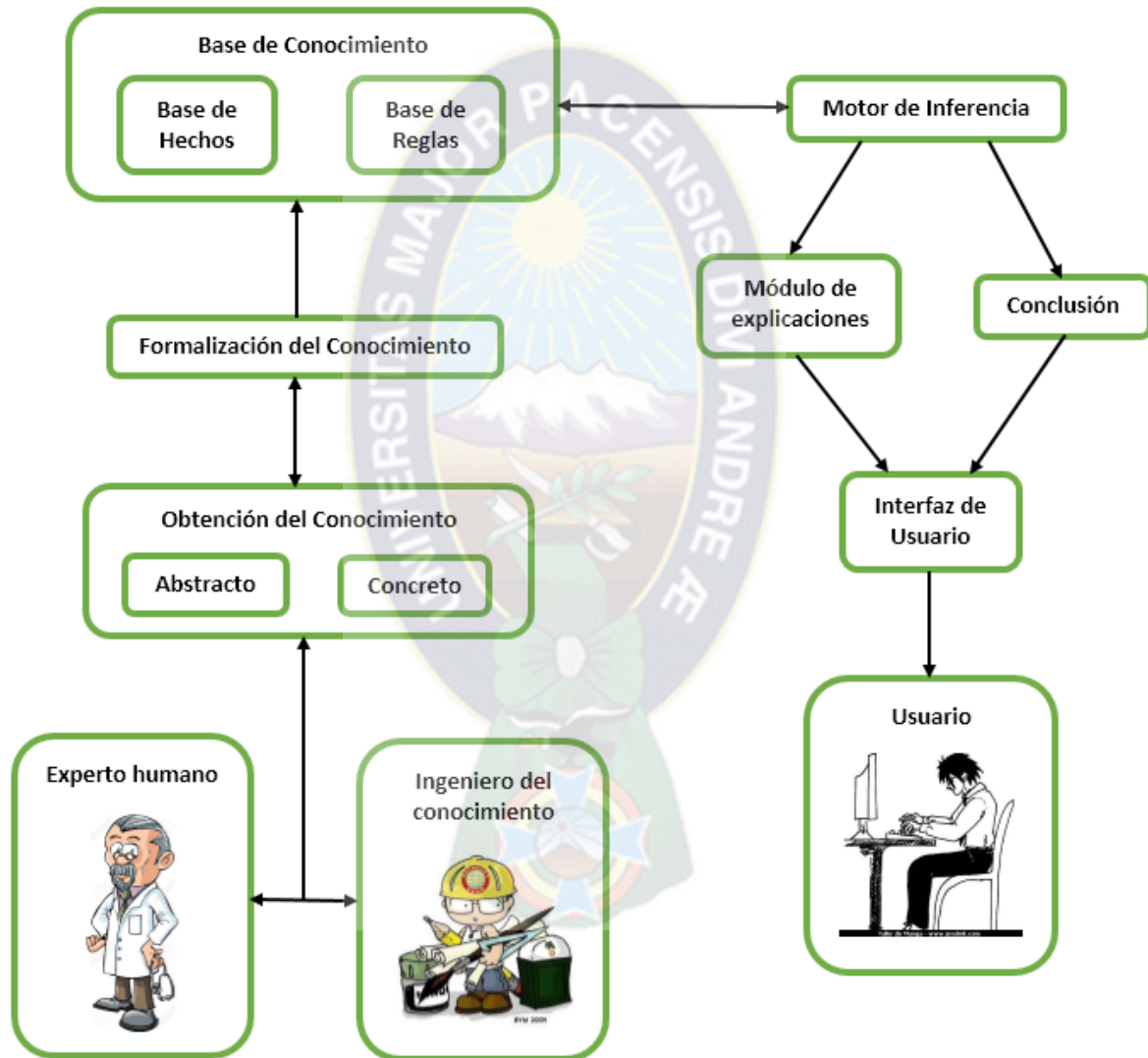


Figura 2.3: Arquitectura general de un sistema experto
Fuente: (Velásquez, 2011)

a) Experto humano

Es una persona que tiene experiencia desarrollada en cierta área, en otras palabras es un especialista que tiene conocimientos o habilidades especiales, que resuelve problemas con mucha más eficiencia y a otro costo (Giarratano, 2001).

b) Ingeniero del conocimiento

Especialista informático enfocado a la construcción de sistemas basados en conocimiento (SS.BB.CC) y sistemas expertos (SS.EE.) (Martínez, 2004).

Es el encargado de diseñar el sistema, y como tal debe conocer las herramientas de desarrollo, saber de algunas de las estrategias efectivas de comunicación para poder interpretar las expresiones y manifestaciones del experto.

c) Obtención del conocimiento

Depura el conocimiento realizando un control más ordenado y fiable avisando de las imperfecciones detectadas. Es frecuente encontrar contradicciones, lo que podría impedir su correcto funcionamiento (Velásquez, 2011).

d) Conocimiento abstracto y conocimiento concreto

El conocimiento abstracto como la validez general, reglas, espacios probabilísticos, y otros (Velásquez, 2011), por ejemplo los síntomas de la sinusitis como el dolor en algún área de la cara, trastornos olfativos, estos son subjetivos.

El conocimiento concreto está constituido por los síntomas particulares de la enfermedad (sinusitis) de cada paciente en estudio (Velásquez, 2011), por ejemplo inflamación en las áreas de los senos paranasales.

e) Formalización del conocimiento

El conocimiento obtenido del experto se formaliza utilizando la lógica de predicados y lógica de proposiciones de primer orden (Velásquez, 2011).

f) Base de conocimiento

Contiene el conocimiento sobre el dominio, es decir que es el conocimiento y la experiencia de los expertos en un área determinada, convenientemente codificado, estructurado y formalizado para el posterior uso del mismo.

El conocimiento se puede representar, mediante las distintas técnicas de formalización como son: las reglas de producción o sistemas de producción, redes semánticas, marcos o frames, guiones (Riley, 1990).

g) Base de hechos

Almacena el conocimiento del experto, los hechos iniciales y los que se vayan obteniendo como consecuencias en el proceso de inferencia todo esto en forma de axiomas, listos a ser disparadas cuando el motor de inferencia los requiera. (Velásquez, 2011).

h) Motor de inferencia

Es la unidad con la que se extraen conclusiones de la base de conocimientos (base de hechos y base de reglas), (Riley, 1990) según un método fijo de solución de problemas que está configurado imitando el procedimiento humano de los expertos para solucionar problemas. Entonces se puede decir que el motor de inferencia, también llamado interprete de reglas, es un módulo que se encarga de las operaciones de búsqueda y selección de reglas, a utilizar en el proceso de razonamiento.

Las conclusiones del motor de inferencia pueden estar basadas en conocimiento determinista o conocimiento probabilístico. Como puede esperarse, el tratamiento de situaciones de incertidumbre (probabilísticas) puede ser considerablemente más difícil que el tratamiento de situaciones ciertas (determinísticas).

i) Interfaz de usuario

La interfaz del usuario es el enlace entre el sistema experto y el usuario. Por ello, para que un sistema experto sea una herramienta efectiva, debe incorporar mecanismos eficientes para mostrar y obtener información de forma fácil y agradable (Shneiderman, 1987), (Brown y Cunningham, 1989).

2.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA EXPERTO

Los sistemas expertos presentan varias ventajas según Giarratano, (2001) y estas son:

- **Mayor disponibilidad:** La experiencia está disponible para cualquier hardware de cómputo adecuado; en sentido muy real, un sistema experto es la producción masiva de experiencia.
- **Costo reducido:** El costo de poner la experiencia a disposición del usuario se reduce enormemente.

- **Peligro reducido:** Los sistemas expertos podrían usarse en ambientes que suponen ser peligrosos para un ser humano.
- **Permanencia:** La experiencia es permanente; a diferencia de los especialistas humanos que pueden retirarse, renunciar o morir, el conocimiento del sistema experto durara indefinidamente.
- **Experiencia múltiple:** El conocimiento de varios especialistas puede estar disponible simultánea y continuamente en un problema, a cualquier hora del día o de la noche.
- **Mayor confiabilidad:** Al proporcionar una segunda opinión, los sistemas expertos incrementan la confianza en que un especialista ha tomado la decisión correcta o al dar un voto de calidad en caso de desacuerdos entre varios especialista.
- **Explicación:** El sistema experto puede explicar clara y detalladamente el razonamiento que conduce a una conclusión, lo que aumenta la confianza en que se tomó una decisión correcta.
- **Respuesta rápida:** Tal vez sea necesaria una respuesta rápida o en tiempo real para ciertas aplicaciones.
- **Respuestas sólidas, completas y sin emociones en todo momento:** Esto puede ser muy importante en tiempo real y en situaciones de emergencia, cuando un especialista quizás no funcionaría a toda su capacidad debido a la fatiga o la presión.
- **Tutoría inteligente:** El sistema experto puede actuar como un tutor inteligente, dejando que el estudiante ejecute programas de ejemplo y explicando el razonamiento del sistema.

Por otro lado los sistemas expertos presentan varias desventajas en cuanto a los seres humanos según Dones (2005), las cuales son:

- **Sentido común:** Para un ordenador no hay nada obvio.
- **Lenguaje natural:** Todavía nos encontramos muy lejos de tener un sistema que pueda formular preguntas flexibles y mantener una conversación informal con un usuario.
- **Experiencia sensorial:** Los sistemas expertos en la actualidad solo se limitan a recibir información.

- **Perspectiva global:** Un experto humano es capaz de detectar inmediatamente cuáles son las cuestiones principales y cuáles son las secundarias, separando datos relevantes de los detalles insignificantes.
- **Flexibilidad:** Un humano es sumamente flexible a la hora de aceptar datos para la resolución de un problema.

2.3.5 METODOLOGÍA DE BUCHANAN

La metodología utilizada es la de Buchanan que tiene como pilar básico la adquisición de conocimiento de distintas fuentes como ser libros, expertos, otros. Las etapas que contempla esta metodología son seis como se puede observar en la figura 2.4: identificación, conceptualización, formalización, implementación, revisión del prototipo y testeo.

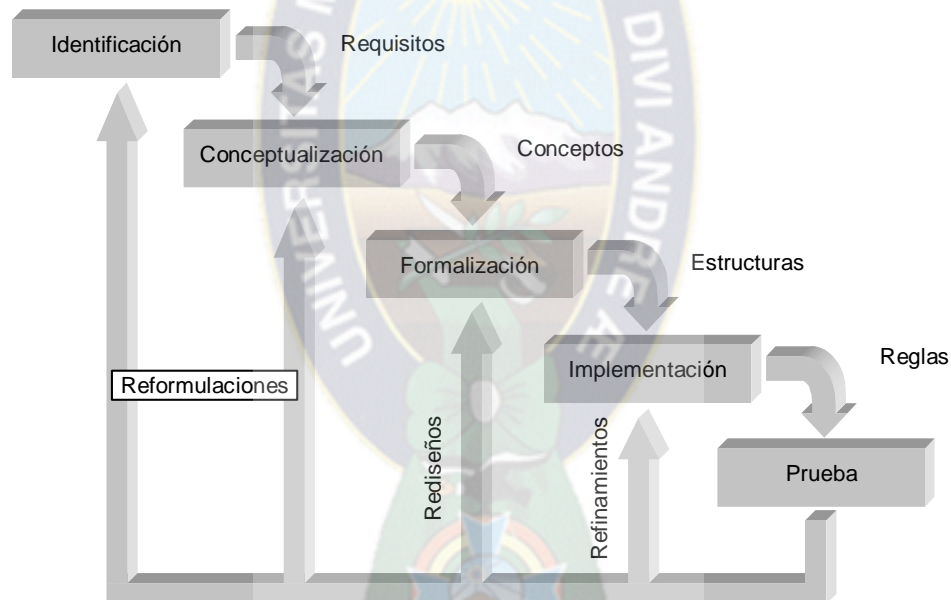


Figura 2.4: Etapas de la Metodología Buchanan
Fuente: (Moret, 2005)

La característica más importante de esta metodología es la constante relación entre el ingeniero de conocimiento y el experto humano del área (Martínez, 2004), se destacan 6 etapas o fases fundamentales.

2.3.5.1 IDENTIFICACIÓN

Es familiarizarse con el problema y el dominio, abarca desde la lectura de libros o artículos, las entrevistas o charlas con personas familiarizadas con el tema y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar con la construcción del sistema, como también la definición de cuáles son las funciones o tareas más idóneas para ser realizadas por el sistema experto. Estas tareas son importantes para determinar que lenguaje y que sistema se usara. El ingeniero de conocimiento debe sentirse razonablemente cómodo respecto del dominio del problema como para conversar inteligentemente al con el experto.

Se identifican también los objetivos y metas que deben ser realizadas por el sistema experto. Estos objetivos son importantes para determinar que lenguaje y que sistema se usara. El ingeniero de conocimiento debe tener un dominio amplio del problema como para conversar inteligentemente con el experto.

2.3.5.2 CONCEPTUALIZACIÓN

Es delimitar el sistema, por medio de entrevistas con el experto con el objetivo de identificar y caracterizar el problema informalmente. Se analizaran los conceptos infundidos por el experto, los mismos serán tomados en cuenta con sumo interés puesto que es él quien conoce en detalle los fundamentos articulares del tema a investigar.

2.3.5.3 FORMALIZACIÓN

Es obtener la estructura de inferencia del sistema experto, con el problema adecuadamente definido, se empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requieren para realizar cada una de las tareas que va resolver el sistema. Esto es importante para la tarea de definición del sistema experto y para mantener una adecuada documentación del mismo, ya que es útil para la tarea de diseño, construcción y para posteriores modificaciones del sistema.

En resumen en la etapa de formalización se identifican los conceptos relevantes e importantes además el resultado de formalizar el diagrama de información conceptual y los elementos subproblemas es una especificación parcial para construir un prototipo de la base de conocimiento.

2.3.5.4 IMPLEMENTACIÓN

Es definir el prototipo del sistema experto, esta tarea implica definir que arquitectura una mejor organización del conocimiento. Es necesario elegir la organización, lenguaje y medio ambiente de programación adecuados para la aplicación particular.

Se definen los conceptos primitivos con la forma de representación elegida, este es el primer paso para la implementación del prototipo, a medida que se desarrolla el prototipo se deberá realizar y procurar lo siguiente:

- Que el formalismo usado es el apropiado para reflejar los conceptos y el proceso de inferencia del experto.
- Que las características particulares de construcción del lenguaje capturen exactamente los aspectos estructurales más importantes de los conceptos usados por el experto.
- Que la estructura del control del lenguaje al activar las reglas refleje la estrategia usada por el experto.
- Que las reglas reflejen las asociaciones y métodos que son usados por el experto y son modelos aceptables de dichos métodos.

Se puede presentar las reglas definidas y en ocasiones los resultados obtenidos al usar las reglas para que el experto manifieste su opinión sobre la representación y soluciones.

2.3.5.5 TESTEO

Es optimizar el prototipo del sistema experto, se observa el comportamiento del prototipo el funcionamiento de la base de conocimiento y la estructura de las inferencias, verificándose el que el sistema experto posea eficiencia.

2.3.5.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO

Se refina el sistema prototipo, depurando la base de conocimientos, refinando reglas, rediseñando la estructura del conocimiento, o reformulando conceptos básicos con el objetivo de capturar información adicional que haya proporcionado el experto. También se consultan en esta etapa otros expertos para corroborar, controlar, ampliar y refinar el prototipo.

En la planeación debe considerarse las siguientes interrogantes:

- ¿Es necesario y realizable un sistema experto?
- ¿Quiénes son los encargados a realizarlo?
- ¿Qué expertos humanos participaran en el proceso de adquisiciones de conocimiento?
- ¿Qué presupuesto estimado se necesita?
- ¿Qué tiempo y medios se necesitan?

2.4 LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial que se funda en el concepto "Todo es cuestión de grado", lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación si quisiéramos hacer cambiar con esta información el funcionamiento o el estado de un sistema específico. Es entonces posible con la lógica borrosa gobernar un sistema por medio de reglas de 'sentido común' las cuales se refieren a cantidades indefinidas (Olmo, 2008).

Las reglas involucradas en un sistema borroso, pueden ser aprendidas con sistemas adaptativos que aprenden al 'observar' como operan las personas los dispositivos reales, o estas reglas pueden también ser formuladas por un experto humano. En general la lógica borrosa se aplica tanto a sistemas de control como para modelar cualquier sistema continuo de ingeniería, física, biología o economía.

El concepto de conjunto difuso fue introducido por primera vez por Zadeh el año 1965 y dice "la lógica difusa trata de copiar la forma en que los humanos toman decisiones" no siendo decisiones que solamente expresan verdad o falsedad en la respuesta.

La creciente disciplina de la lógica difusa provee por sí misma un medio para acoplar estas tareas. En cierto nivel, la lógica difusa puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas en lenguaje natural a un lenguaje matemático formal. Mientras la motivación original fue ayudar a manejar aspectos imprecisos del mundo real, la práctica temprana de la lógica difusa permitió el desarrollo de aplicaciones prácticas. Aparecieron numerosas publicaciones que presentaban los fundamentos básicos con aplicaciones potenciales. Esta frase marcó una fuerte necesidad de distinguir la lógica difusa de la teoría de probabilidad. Tal como la entendemos ahora, la teoría de conjuntos difusos y la teoría de probabilidad tienen diferentes tipos de incertidumbre.

En 1994, la teoría de la lógica difusa se encontraba en la cumbre, pero esta idea no es nueva, para muchos, estuvo bajo el nombre de lógica difusa durante 25 años, pero sus orígenes se remontan hasta 2,500 años. Aún Aristóteles consideraba que existían ciertos grados de veracidad y falsedad. Platón había considerado ya grados de pertenencia.

En el siglo XVIII el filósofo y obispo anglicano Irlandés, George Berkeley y David Hume describieron que el núcleo de un concepto atrae conceptos similares. Hume en particular, creía en la lógica del sentido común, el razonamiento basado en el conocimiento que la gente adquiere en forma ordinaria mediante vivencias en el mundo. En Alemania, Immanuel Kant, consideraba que solo los matemáticos podían proveer definiciones claras, y muchos principios contradictorios no tenían solución. Por ejemplo la materia podía ser dividida infinitamente y al mismo tiempo no podía ser dividida infinitamente. Particularmente la escuela americana de la filosofía llamada pragmatismo fundada a principios de siglo por Charles Sanders Peirce, cuyas ideas se fundamentaron en estos conceptos, fue el primero en considerar "vaguedades", más que falso o verdadero, como forma de acercamiento al mundo y a la forma en que la gente funciona (Olmo, 2008).

La idea de que la lógica produce contradicciones fue popularizada por el filósofo y matemático británico Bertrand Russell, a principios del siglo XX. Estudio las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad es un grado. El filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein estudió las formas en las que una palabra puede ser empleada para muchas cosas que tienen algo en común. La primera lógica de vaguedades fue desarrollada en 1920 por el filósofo Jan Lukasiewicz, visualizó los conjuntos con un posible grado de pertenencia con valores de 0 y 1, después los extendió a un número infinito de valores entre 0 y 1. En los años sesentas, Lofti Zadeh inventó la lógica difusa, que combina los conceptos de la lógica y de los conjuntos de Lukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia.

En inteligencia artificial: Método de razonamiento de maquina similar al pensamiento humano, que puede procesar información incompleta o incierta, característico de muchos sistemas expertos. La Lógica Fuzzy o Difusa, es una lógica basada en la teoría de conjuntos que posibilita imitar el comportamiento de la lógica humana. La facilidad que esto constituye alumbrara los próximos años espectaculares mejoras técnicas en los sistemas de control de nuestra sociedad (Dubois y Prade, 1980).

El término "difuso" procede de la palabra inglesa "fuzz" que sirve para denominar la pelusa que recubre el cuerpo de los polluelos al poco de salir del huevo. Este término inglés significa "confuso, borroso, indefinido o desenfocado". Este término se traduce por "flou" en francés y "aimai" en japonés. Aunque la teoría de conjuntos difusos presente cierta complejidad, el concepto básico es fácilmente comprensible.

2.4.1 CONJUNTOS DIFUSOS

Los conjuntos difusos pueden ser considerados como una generalización de los conjuntos clásicos, la teoría clásica de conjuntos solo contempla la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un conjunto, sin embargo la teoría de conjuntos difusos contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1 (valores intermedios, o bien estableciendo una escala de 0 a 100).

Este grado de pertenencia se define mediante la función característica asociada al conjunto difuso: para cada valor que pueda tomar un elemento o variable de entrada x la función característica $\mu_A(x)$ proporciona el grado de pertenencia de este valor de x al conjunto difuso A .

Formalmente un conjunto difuso en el universo de discurso (son todos los valores que pueden ser tomados por un atributo) U se caracteriza por una función de pertenencia o característica $\mu_A(x)$ que toma valores en el intervalo $[0, 1]$, y puede representarse con un conjunto de pares ordenados de un elemento x y su valor de pertenencia al conjunto:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in U\}$$

Donde $\mu_A(x)$ es la función de pertenencia de la variable x , y U es el universo de discurso. Cuando más cerca este la pertenencia del conjunto A al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable x al conjunto A , esto se puede ver en la figura 2.5.

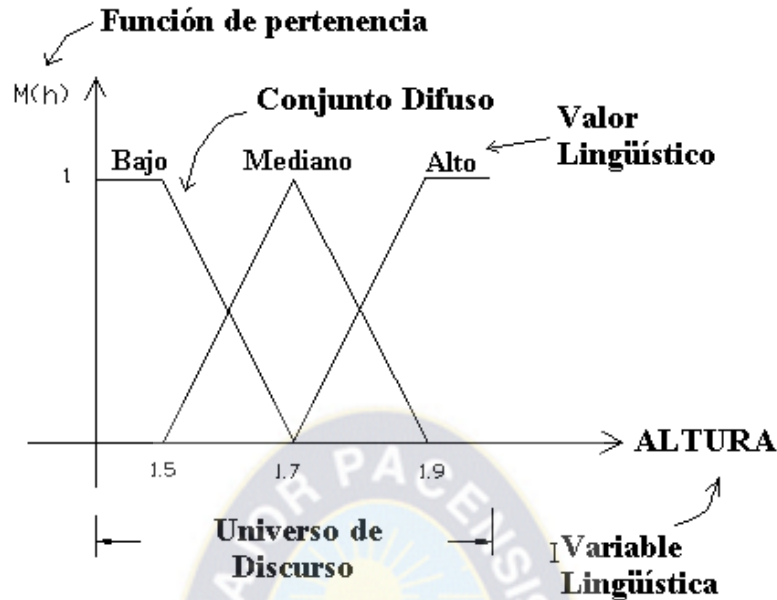


Figura 2.5: Ejemplo de Conjunto Difuso
Fuente: (Olmo, 2008)

2.4.2 FUNCIÓN DE PERTENENCIA

Las funciones de pertenencia nos permiten representar gráficamente un conjunto difuso. En el eje “x” se representa el universo de discurso, mientras que en el eje “y” se sitúan los grados de pertenencia en el universo [0, 1]. Para definir un conjunto difuso, se puede utilizar cualquier función, sin embargo, hay ciertas funciones que son más frecuentes usadas debido a su simplicidad matemática, entre ellos podemos mencionar las funciones triangular (figura 2.6), trapezoidal (figura 2.7), parabólicas y gaussiana.

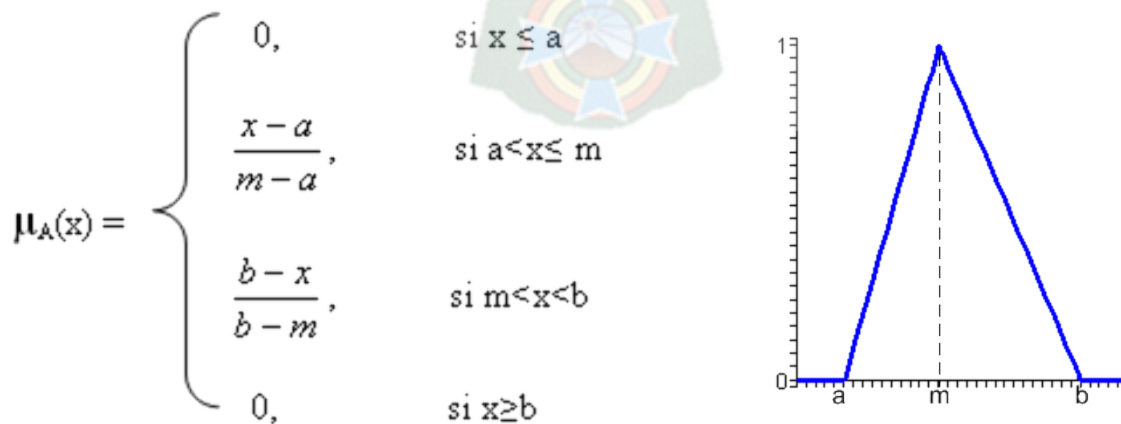


Figura 2.6: Función triangular
Fuente: (Olmo, 2008)

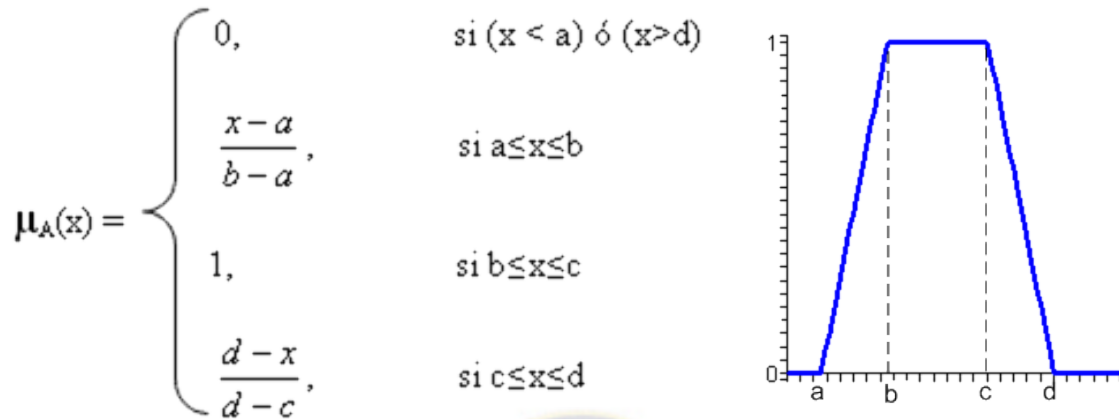


Figura 2.7: Función Trapezoidal
Fuente: (Olmo, 2008)

2.4.3 VARIABLES LINGÜÍSTICAS

Una variable lingüística, como su nombre lo sugiere, es una variable cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o sintético. Por ejemplo, la velocidad de un coche, "Velocidad" es una variable lingüística si sus valores son "alta", "no alta", "baja", "no baja", "muy baja", y así sucesivamente.



Figura 2.8: Valores lingüísticos de la variable difusa "Velocidad"
Fuente: (Morillas, 2006)

Cada valor de una variable lingüística representa un conjunto difuso en un universo determinado como lo muestra la figura 2.9.

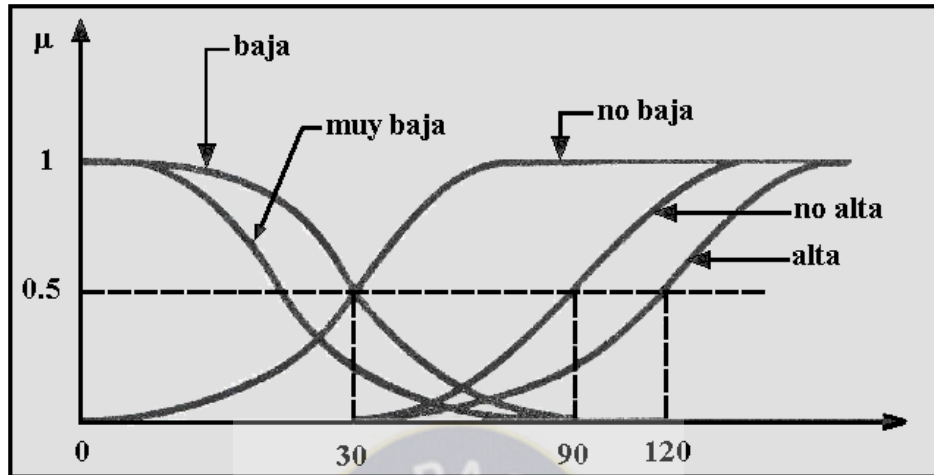


Figura 2.9: Conjunto difuso de la variable difusa “Velocidad”

Fuente: (Morillas, 2006)

2.4.4 REGLAS DIFUSAS

Una regla es definida como un modo de representación estratégica o técnica, la cual es apropiada cuando el conocimiento con el que deseamos trabajar proviene de la experiencia o de la intuición, y por tanto carece de una demostración física o matemática.

El formato de las reglas está compuesto por proposiciones similares a la sentencia de condición IF en un lenguaje de programación cualquiera IF-THEN (SI-ENTONCES), quedando por tanto:

IF <antecedente o condición> THEN <consecuente o conclusión>

El antecedente y consecuente son proposiciones difusas, las cuales están regidas por las operaciones en lógica difusa que se pueden realizar, que son:

Partiendo de dos proposiciones con dos grados de verdad τ_A y τ_B , deducimos que:

- AND difuso:
$$\tau_{A \wedge B}(v) = \sup_{w, z \in [0, 1] | v = wz} \{ \tau_A(w) \wedge \tau_B(z) \}$$
- OR difuso:
$$\tau_{A \vee B}(v) = \sup_{w, z \in [0, 1] | v = wz} \{ \tau_A(w) \vee \tau_B(z) \}$$
- NOT difuso:
$$\tau_{\neg A}(v) = \sup_{u \in [0, 1] | v = 1 - u} \tau_A(u) = \tau_A(1 - v)$$
- Implicación difusa:
$$\tau_{A \rightarrow B}(v) = \sup_{w, z \in [0, 1] | v = w \rightarrow z} \{ \tau_A(w) \wedge \tau_B(z) \}$$

Un ejemplo básico de cómo se podría formar una proposición de este estilo, sería el siguiente:

- SI el frío es elevado ENTONCES abrigar mucho

Las proposiciones se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Proposiciones CUALIFICADAS: Introducen un atributo para cualificar la proposición que forma una regla. El atributo corresponde al grado que determina la regla.
 - Grado de Suceso: Probable, poco probable...
- Proposiciones CUANTIFICADAS: Indican cantidades difusas en las reglas.
 - SI muchos alumnos suspenden ENTONCES la explicación fue bastante mala

Respecto a esta clasificación, podremos decir que las proposiciones que no poseen cuantificadores ni cualificadores son proposiciones categóricas, mientras que las proposiciones no categóricas no tienen por qué ser verdad siempre.

Las reglas pueden tener variantes, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Con excepciones: Son el tipo: SI la temperatura es alta ENTONCES tendré calor EXCEPTO que tenga aire acondicionado.
- Graduales: Cuantos más partidos ganemos, más fácil será ganar la liga.
- Reglas conflictivas: Son reglas que dentro de un mismo sistema tienen información contradictoria, lo cual puede acarrear muchos problemas, tales como malos resultados o generar problemas.
 - Este tipo de reglas son aquellas que para un mismo antecedente, tienen consecuentes distintos, por ejemplo:
 - R1: SI tengo hambre ENTONCES como.
 - R2: SI tengo hambre ENTONCES no como.
 - Otro ejemplo de reglas contradictorias son aquellas que estando encadenadas en ambos sentidos, niegan un consecuente:
 - R1: SI he metido un gol ENTONCES estoy feliz.
 - R2: SI estoy feliz ENTONCES no he metido un gol.

2.4.5 INFERENCIA DIFUSA

Un operador de implicación difusa o función de implicación expresa la relación que existe entre el antecedente y el consecuente de una regla. Una regla del tipo “si x es A entonces y es B” puede interpretarse como la relación difusa dada por:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \phi[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

Donde ϕ es una función de implicación difusa.

Se han propuesto numerosas funciones de implicación difusas. La mayoría de ellas surgen como extensión de las implicaciones utilizadas en la lógica proposicional o en la lógica multivaluada (LMV) y de la elección de diferentes opciones para realizar las operaciones de intersección, unión y complemento de conjuntos.

2.4.5.1 METODO DE MAMDANI

El método Mamdani llamado también “difuso puro”, sus reglas difusas son del tipo:

Si x_1 es A_1 y x_2 es A_2 y.....y x_n es A_n entonces x es B

Se utiliza reglas difusas para obtener la respuesta del sistema difuso ante una determinada entrada.

Este método directo de razonamiento difuso es el más usado en aplicaciones, dado que tiene una estructura muy simple de operaciones “mín-max”. A continuación se describe los diferentes pasos del método:

1) Evaluación del antecedente en cada regla.

Dadas las entradas (valores numéricos) se obtienen los distintos valores de pertenencia para cada una de ellas. A esto se le llama “borrosificación de la entrada”. Si el antecedente de la regla tiene más de un término, a continuación se aplica algún operador (t-norma o t-conorma) obteniendo un único valor de pertenencia.

2) Obtener la conclusión en cada regla.

A partir del consecuente de cada regla (un conjunto borroso) y del valor del antecedente obtenido en el paso 1, aplicamos un operador borroso de implicación obteniendo así un nuevo conjunto borroso.

Dos de los operadores de implicación más usados son el mínimo, que trunca la función de pertenencia del consecuente, y el producto, que la escala.

3) Agregar la conclusión de cada regla.

Las salidas obtenidas para cada regla en el paso 2 (obtener conclusión), se combinan en un único conjunto borroso utilizando un operador de agregación borrosa.

Algunos de los operadores de agregación más utilizados son el máximo, la suma o el or probabilístico.

4) Desborrosificación (defuzzify).

Cuando intentamos obtener una solución a un problema de decisión, lo que queremos obtener como salida es un número y no un conjunto borroso.

2.5 SINUSITIS

Se denomina sinusitis a la inflamación de la mucosa de los senos paranasales y la nariz. (OHNS, 2007). Los senos paranasales como se muestra en la figura 2.10, tapizados por mucosa que se comunican con las fosas nasales a través del ostium (boca u orificio) de cada seno (Ramírez, 1998). La sinusitis se caracteriza por la presencia de dolor facial, secreción nasal, oral de moco verde, amarillo, obstrucción nasal, así como fiebre, tos, decaimiento corporal general, hiposmia o anosmia, dolor dental maxilar y plenitud otica (OHNS, 2007). La sinusitis constituye una afección frecuente en los países desarrollados: alcanza cerca de un 50% de los habitantes del norte de Europa y más de 31 millones de pacientes/año en EE.UU., lo que da idea del elevado consumo de recursos sanitarios (Ramírez, 1998).

También se conoce a este cuadro patológico como la inflamación no específica, aguda o crónica, de las estructuras que constituyen las cavidades neumáticas vecinas a las fosas nasales (Thompson et al., 1984).

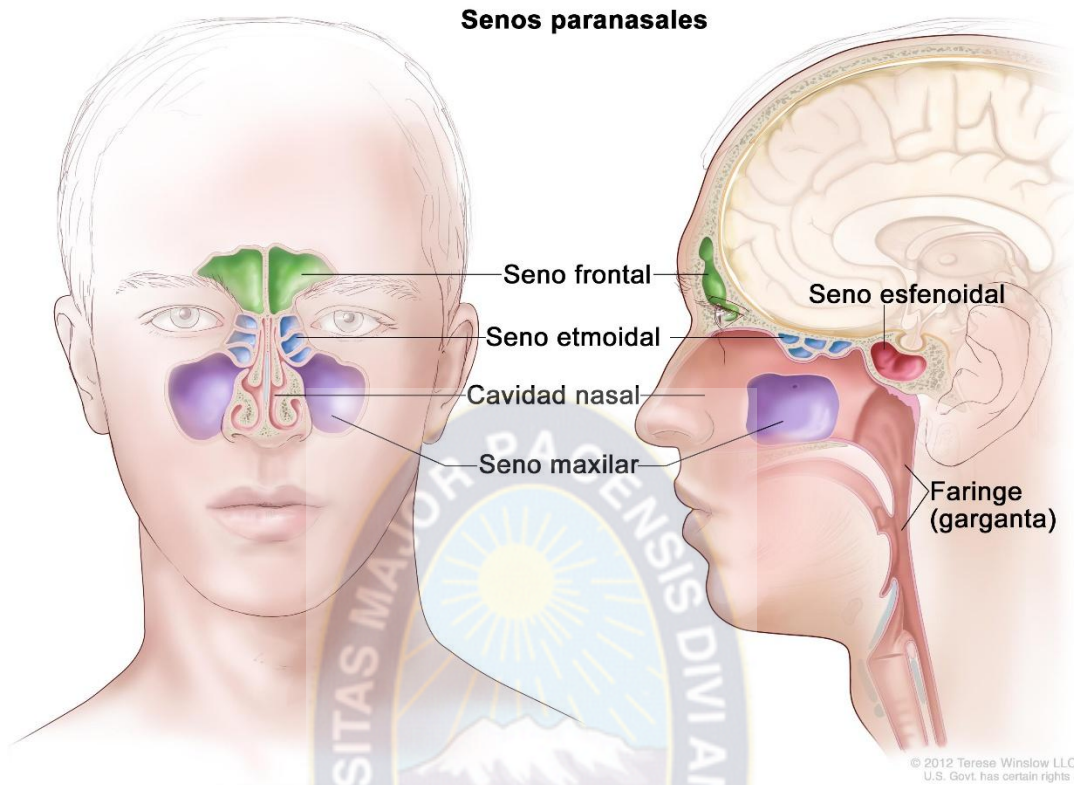


Figura 2.10: Ubicación de los senos paranasales
Fuente: (Suarez et al., 2009)

Al igual que otras infecciones respiratorias de adquisición comunitaria, la sinusitis ha alcanzado durante estos últimos 10 o 15 años una indiscutible notoriedad, es una enfermedad frecuente que afecta a personas de toda edad sin discriminación, por lo tanto tiene un impacto considerable sobre la salud pública general y los recursos económicos destinados a mantenerla (SEORL, 2003).

Thompson, Bertelli, Zubizarreta y Robbio (1984) consideran 4 vías por las cuales llega la infección a la cavidad sinusal:

1. **Nasal:** mediante la inhalación por la nariz ingresan partículas infectadas por virus, hongos o bacterias.
2. **Odontológica:** las infecciones que se presentan en esta área pueden producir una sinusitis maxilar.
3. **Orbitaria:** las afecciones graves de los ojos pueden propagarse creando una infección sinusal.

4. **Hematógena:** es una enfermedad infecciosa general la cual puede agravarse y afectar la mucosa de los senos paranasales creando una sinusitis específica o pansinusitis.



Figura 2.11: Vías de infección: a) nasal; b) odontogénea; c) orbitaria; d) hemática.
Fuente: (Thompson et al., 1984)

Diariamente acuden a consultas médicas muchos niños con resfríos reiterados, agotamiento físico y mental. En muchos de estos casos el catarro es producido por una sinusitis ignorada y por falta de estudio adecuado, gran cantidad de niños quedan sin diagnóstico y permanecen crónicamente enfermos.

También contribuye a incrementar este número de sinusitis inadvertidas la dificultad hasta detectarlas hasta los 2 o 3 años, a causa del pequeño tamaño de las cavidades de los senos paranasales.

La posibilidad de enfermedad existe desde el momento en que se desarrolla la cavidad: las sinusitis maxilares y las etmoidales anteriores, desde el nacimiento; las frontales, después de los 8 años; las etmoidales posteriores y las esfenoidales, hasta pasados los 12 años (Thompson et al., 1984).

2.5.1 PATOGENIA

La sinusitis se origina en la mayor parte de los casos como consecuencia de la obstrucción del ostium y es rara la afección única de un seno paranasal, siendo más frecuente la afección múltiple, denominada pansinusitis (Ramírez, 1998). Si no se trata correctamente pueden existir complicaciones con infecciones de oído (Goodhill et al., 1986).

Aunque en su comienzo el cuadro es viral en la mayoría de los casos, los gérmenes que proliferan con posterioridad son tanto aerobios como anaerobios. El más frecuente es *Streptococcus pneumoniae*, seguido por *Streptococcus pyogenes* A, B y C, *Haemophilus influenzae*, *Staphylococcus aureus* en adultos, mientras que en los niños predominan *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* y *Neisseria catharralis*. Ocasionalmente pueden aparecer infecciones por hongos o bacteriodes (Ramírez, 1998).

2.5.2 CLASIFICACIÓN DE LA SINUSITIS

La sinusitis se puede clasificar de varias maneras, en base a criterios de localización, tiempo y etiología. A continuación detallamos su clasificación.

2.5.2.1 POR SU DURACIÓN

- a) **Sinusitis aguda:** infección sinusal en la cual los síntomas persisten no más allá de 2 meses (8 semanas) (SEORL, 2003). Afecta a toda la población sin predominio de sexo o edad y se puede encontrar asociado a importantes factores de riesgo que influyen en su presentación recurrente (Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud [CENETEC]).
- b) **Sinusitis crónica:** infección sinusal en la cual los síntomas persisten más allá de 2 meses. En esta segunda la sintomatología puede pasar desapercibida o no presentarse durante algunos periodos, además de que puede afectar al hueso de la cavidad de los senos paranasales (Thompson et al., 1984).

2.5.2.2 POR SU LOCALIZACIÓN.

- a) **Sinusitis frontal:** afecta al seno maxilar (Suarez et al., 2009), por su forma de botella cuyo fondo está dirigido hacia arriba, las infecciones en este seno son en menor número que las maxilares o etmoidales (Thompson et al., 1984).

- b) **Sinusitis maxilar:** afecta al seno maxilar (Suarez et al., 2009), este es el único que puede estar enfermo aisladamente de los otros y es el que resulta afectado con más frecuencia (Thompson et al., 1984).
- c) **Sinusitis esfenoidal:** afecta al hueso esfenoide (Suarez et al., 2009), esta sinusitis es la menos frecuente y es más raro aunque sea la única cavidad infectada (Thompson et al., 1984).
- d) **Sinusitis etmoidal:** afecta al hueso etmoides (Suarez et al., 2009), por su cercanía con los senos frontales y esfenoidales y al estar estas cavidades estrechamente vinculadas la infección se puede propagar a dichos senos paranasales (Thompson et al., 1984).

2.5.2.3 POR SU ETIOLOGÍA.

- a) **Sinusitis viral:** cuando una persona esta resfriada también tiene los senos paranasales inflamados, en estos casos se trata de sinusitis víricas (Kids Health). Existe una amplia gama de virus, de los cuales podemos nombrar algunos: adenovirus, picornavirus, mixovirus, diplomavirus, etc (Ballenger, 1988).
- b) **Sinusitis bacteriana:** las bacterias proliferan en las cavidades de los senos paranasales, las personas afectadas por una sinusitis bacteriana se suelen encontrar peor que quienes padecen una sinusitis vírica. Por lo general, la sinusitis bacteriana se presenta con más dolor facial y más inflamación que las víricas, por lo cual se las trata generalmente con antibióticos (Kids Health).
- c) **Sinusitis fúngica:** causa por hongos los cuales están ampliamente distribuido en la naturaleza. Su modo de transmisión en muchos casos es la inhalación de esporas de hongos y por lo tanto la nariz es su puerta de entrada, también se han descrito casos de sinusitis fúngica a causa del material de los rellenos endodonticos los cuales son sustancias que utilizan estos hongos para su crecimiento (Guillen, et al., 2008).
- d) **Sinusitis alérgica:** son causados por una alergia y puede presentar los siguientes síntomas: inflamación de la nariz y de los senos paranasales. La sinusitis alérgica y vírica tiene síntomas en común y son más frecuentes que la bacteriana.

2.5.3 SINTOMATOLOGÍA

El diagnóstico de una sinusitis se establece si las personas tienen los siguientes síntomas: dolor en la región de la frente o la mandíbula superior, congestión nasal, rinitis purulenta o trastornos de olfato. En el examen físico aparecen los síntomas de dolor al flexionar rápidamente la cabeza o con la presión en ciertos puntos de los terminales nerviosos de la cara, como por ejemplo dolor al presionar con los dedos en la frente, entre los ojos o los pómulos (Suarez et al., 2009).

Thompson et al., (1984) establece que los síntomas de la sinusitis son los siguientes:

- 1) **Dolor.** Es un síntoma principal de la sinusitis, sobreviene con carácter periodo y se presenta en las áreas de las cavidades de los senos paranasales afectadas. Por ejemplo en el caso de una infección maxilar el dolor se localiza en la pared anterior del seno, por lo general estos dolores son intermitentes y raras veces continuas. Tienen carácter horario, ya que llegan a su mayor intensidad en las últimas horas de la tarde. En cambio, al despertar el paciente experimenta un alivio, pues la posición lateral de la cabeza, apoyada sobre la almohada favorece el alivio, sobre todo si cambia varias veces de postura durante el sueño.
- 2) **Cefaleas.** En algunos casos no se distinguen del dolor, el paciente experimenta una sensación de pesadez de la cabeza, donde también se puede experimentar fatiga física.
- 3) **Obstrucción nasal** es otro síntoma sumamente molesto y siempre presente. Se debe a la congestión e inflamación que son producidas por las secreciones constantes de la nariz.
- 4) **Trastornos del olfato.** La inflamación de la mucosa altera su sensibilidad sensorial y causa un aumento de volumen que reduce el paso del aire hacia la zona olfativa. La consecuencia es una disminución del sentido del olfato (hiposmia). En casos extremos, pero más raros, se llega a la anosmia y esta provoca un embotamiento del sentido del gusto.
- 5) **Fotofobia.** A veces acompañada de lagrimeo y dificultad para la lectura. Este síntoma se manifiesta con mayor fuerza cuando la infección invade regiones de los ojos y puede aparecer dolor en los movimientos del globo ocular.
- 6) **Tos, dolor faríngeo, acufeno y otalgias** son síntomas de los trastornos que la sinusitis determina en otros órganos.

En una sinusitis aguda, suelen aparecer tras el séptimo día de un resfriado que no ha mejorado o que incluso ha empeorado. En el caso de una sinusitis crónica, los síntomas son los mismos, aunque más leves (DMedicia, 2016).

2.5.4 EXPLORACIÓN

Tras una historia clínica en la que se valoran los factores que predisponen a la enfermedad, así como los síntomas que presenta el enfermo, se pasa a la exploración (Ramírez, 1998).

- a) **Evaluación externa:** se pueden encontrar inflamaciones o signos indirectos de otras afecciones como rinitis. La palpación facial orienta sobre la existencia de dolor en áreas donde los senos paranasales se encuentran próximos, lo que hace sospechar una sinusitis.
- b) **Exploración instrumental:** es determinante a la hora de asentar el diagnóstico. Se dispone de evaluaciones indirectas como la diafanoscopia, o directas como la endoscopia. La ecografía se practica de forma minoritaria. No solamente se deben explorar las fosas nasales, sino también la rinofaringe y la laringe. A continuación detallamos las evaluaciones antes mencionadas:
 - **Endoscopia:** es el sistema que más información aporta al experto médico. Existen dos tipos de endoscopia en el momento actual, los flexibles y los rígidos, estos últimos pueden explorar zonas ocultas. La endoscopia permite evaluar la inflamación de la mucosa y la presencia de secreciones, así como los factores anatómicos que pueden influir en la patología.
 - **Diafanoscopia:** actualmente no se utiliza, aunque se trata de un método clásico no invasivo y barato que informa de la opacidad de los senos paranasales.
 - **Ecografía:** proporciona información de contenidos sólidos o líquidos. Es un sistema no invasivo utilizado en el norte de Europa con relativa frecuencia.
 - **Exploraciones complementarias:** fundamentalmente son los estudios radiológicos, que incluyen la radiología simple y la tomografía computarizada. La imagen de resonancia nuclear magnética se utiliza actualmente en algunas ocasiones. Otras exploraciones complementarias son los estudios de laboratorio, fundamentalmente el cultivo de secreciones y el hemograma.

2.5.5 DIAGNÓSTICO

Con los datos previos, se puede establecer el diagnóstico de sinusitis, específica de seno paranasal o generalizada o pansinusitis (Ramírez, 1998).

Es la conclusión o determinación de cierto resultado, que se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permite juzgar mejor que es lo que está pasando.

El diagnóstico parte de la medicina que tiene por objeto identificar una enfermedad fundándose en los síntomas de esta (Mascaro, 1974).

2.5.6 TRATAMIENTO

El tratamiento debe dirigirse a la recuperación de la fisiología nasosinusal normal, por lo que tiene dos fases en su planteamiento: en primer lugar, el tratamiento inmediato de la infección, habitualmente con antibióticos más otros fármacos coadyuvantes y ocasionalmente mediante cirugía; en segundo lugar, el restablecimiento de las condiciones óptimas nasosinusales para evitar nuevos cuadros de sinusitis (Ramírez, 1998).

DMedicina, 2016 sostiene que aunque en la mayoría de los casos la sinusitis aguda desaparezca al cabo del tiempo, en algunas ocasiones es necesario el tratamiento con antibióticos, que tiene una duración aproximada de 14 días. En el caso de la sinusitis crónica, la enfermedad debe tratarse entre tres y cuatro semanas y, en el caso de estar provocada por la presencia de un hongo, será necesario un tratamiento específico para infecciones micóticas.

También es posible que sea necesario el uso de aerosoles nasales con corticosteroides y antihistamínicos para reducir la hinchazón en caso de que haya pólipos nasales, mientras que el uso de inyecciones para alergias puede prevenir que la enfermedad reaparezca una vez curada.

Si los síntomas no desaparecen después de tres meses de tratamiento o se sufren más de tres episodios de sinusitis aguda al año puede ser necesaria una intervención quirúrgica con el objetivo de ensanchar las aberturas y drenar los senos paranasales. La mayoría de infecciones de nariz provocadas por hongos necesita cirugía.

El autocuidado también puede ayudar a reducir la congestión sinusal. Ante un caso de sinusitis, se pueden tener en cuenta las siguientes recomendaciones para tratar y reducir los síntomas de esta patología:

- Beber mucho líquido para diluir las secreciones.
- Inhalar vapor, de dos a cuatro veces al día.
- Utilizar un humidificador para reducir la sequedad ambiental.
- Aplicar paños calientes y húmedos en la cara varias veces al día.
- Usar descongestionantes nasales.

2.5.6.1 TRATAMIENTO MÉDICO

- **Antibioticoterapia:** en las sinusitis bacterianas es aconsejable mantener durante 7 días. El antibiótico es más eficaz en la mayoría de los casos es la amoxicilina/clavulanico. Pueden usarse el cefaclor o los macrolidos en casos de alergia a penicilinas, así como las quinolonas.
- **Vasoconstrictores tópicos:** pueden ser muy útiles para ayudar a despejar el ostium del seno afectado y facilitar la resolución espontanea del cuadro. En casos de predisposición a sinusitis y posible cambio de presión súbito (viaje en avión), es aconsejable su utilización profiláctica para evitar un sinus excaquo.
- **Esteroides tópicos antihistamínicos y analgésicos:** estos constituyen una buena terapia coadyuvante.

2.5.6.2 TRATAMIENTO QUIRÚRGICO

En caso de que sea necesaria una intervención quirúrgica, existen dos planteamientos actuales: cirugía endoscópica y cirugía abierta.

- **Cirugía endoscópica nasosinusal:** es el planteamiento quirúrgico más en boga en el momento actual; mediante esta técnica, además de eliminar las alteraciones que han originado la sinusitis, se intenta restablecer la fisiología normal e intentando que la mucosa enferma se restablezca de forma espontánea.

- **Cirugía abierta:** actualmente está reservada a la cirugía oncológica, complicaciones infecciosas graves o lugares de acceso difícil en determinadas circunstancias. Son más agresivas que las técnicas funcionales, sin mejorar resultados.
- **Punción sinusal:** otra técnica diagnóstica y terapéutica útil, utilizada. Aporta información sobre el tipo de contenido del seno, permite cultivar los exudados y, mediante lavados, ayuda a restablecer la fisiología y a curar el cuadro.



CAPÍTULO 3

MARCO APLICATIVO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo y construcción de un sistema experto se requiere de una metodología a seguir para lograr los resultados deseados, en este caso se utiliza la metodología de Buchanan, además se realizara la aplicación de conjuntos difusos para representar algunos conocimientos inciertos.

Siguiendo las etapas de la metodología Buchanan, en la etapa de identificación se realiza el reconocimiento del problema, los encargados y participantes que intervienen en el desarrollo del sistema experto, los medios que se usan y los requerimientos necesarios para su construcción. Así también se realiza la arquitectura propuesta del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis.

Seguidamente en la etapa de conceptualización se realiza la adquisición del conocimiento aplicando técnicas como entrevistas, consultas, lectura de libros, revistas y artículos médicos actuales referentes a la enfermedad de la sinusitis, obteniendo las conclusiones y definiciones más relevantes que serán aplicados en la elaboración del sistema. El conocimiento adquirido sobre la patología de la sinusitis para el presente trabajo fue provisto por la Caja Nacional de Salud, Hospital Otorrino-Oftalmológico de la ciudad de La Paz, las entrevistas y consultas se realizaron al Dr. Carlos Frade Vargas, Especialista Cirujano Otorrinolaringólogo, Docente de Postgrado, Docente Adscrito de Pregrado.

Posteriormente en la etapa de formalización se tiene la descripción formal del conocimiento, es decir se realizan las distintas actividades como el diseño de la base de conocimiento que está compuesto por una base de hechos y reglas, para dicha construcción es necesario identificar las variables de entrada, aplicando la teoría de conjuntos difusos para una mejor interpretación de

los síntomas y signos que se identifican para diagnosticar la enfermedad, se define los conjuntos difusos y las respectivas funciones de pertenencia para aquellas variables lingüísticas que tienen un comportamiento ambiguo y el diseño del motor de inferencia se desarrolla en base a las reglas planteadas.

En la etapa de implementación el sistema experto es construido con la ayuda de la herramienta de programación SWI-Prolog, programando la base de hechos y la base de reglas para que el motor de inferencia pueda inferir en base a estos y dar un diagnóstico final y su respectivo tratamiento.

En la etapa de testeo, se realizan las respectivas pruebas al sistema experto planteando diferentes casos que serán analizados.

Finalmente en la etapa de revisión del prototipo se hace la mejora y el pulido del sistema experto, cabe mencionar que esta etapa se realiza en las cinco etapas anteriores de la metodología.

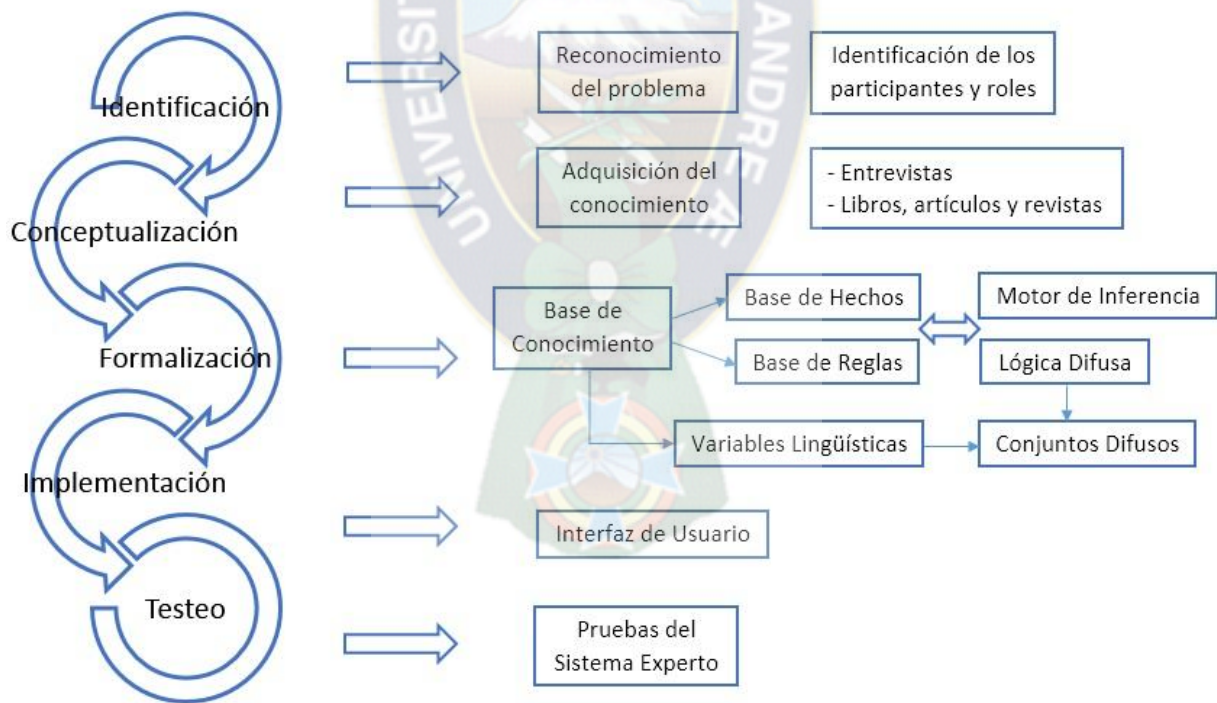


Figura 3.1: Proceso de desarrollo del sistema experto propuesto
Fuente: (Elaboración propia)

3.2 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

La metodología que se utiliza para el desarrollo del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis es la de Buchanan, que consiste en una serie de etapas o fases para su desarrollo y construcción.

3.2.1 IDENTIFICACIÓN

En esta etapa se identifican los participantes y roles, los recursos, fuentes de conocimiento, se establece la facilidad computacional y presupuesto y se identifican los objetivos. Como el sistema está enfocado al diagnóstico y tratamiento de la sinusitis, es necesario buscar fuentes de información para que el ingeniero del conocimiento se familiarice con el tema. Con la ayuda de estas fuentes se definió la forma en la que se va a estructurar este sistema experto.

Se identificó a los participantes que intervienen, sus roles y las relaciones que existen entre ellos como se muestra en la figura 3.2.

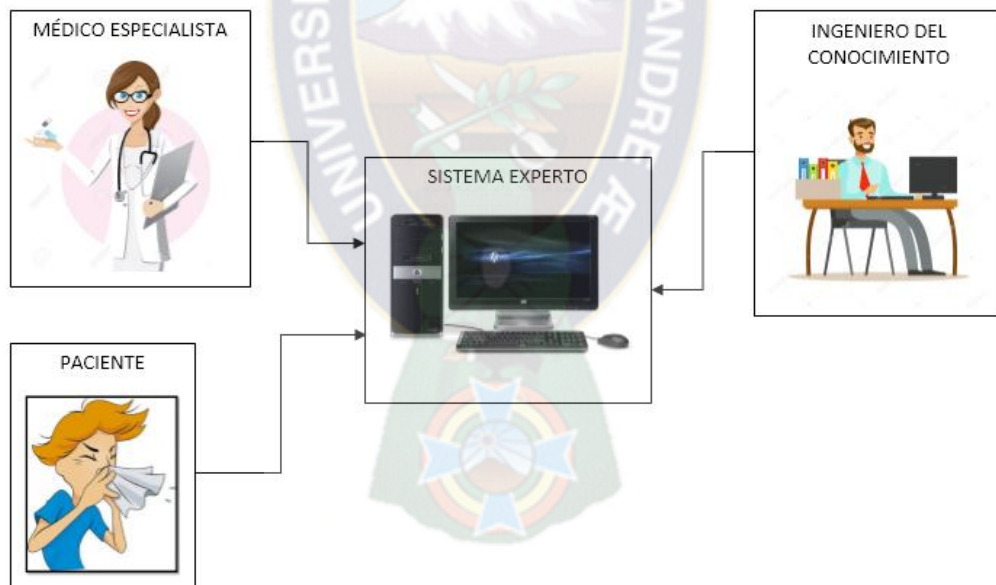


Figura 3.2: Participantes que intervienen en el desarrollo del sistema experto
Fuente: (Elaboración propia)

Un componente importante para el desarrollo del sistema experto es el experto humano, en este caso viene a ser el especialista otorrinolaringólogo, quien provee información necesaria conjuntamente con libros, artículos y revistas actuales referentes a la sinusitis, para la formación de la base de conocimiento, se debe hacer notar que el experto humano no solo aporta con su

conocimiento científico, sino que además aporta su experiencia profesional, es decir lo que aprendió en el trabajo cotidiano.

La estructura del sistema experto propuesto como se observa en la figura 3.3, están definidos bajo los siguientes criterios: las entradas son los síntomas que presenta el paciente con probabilidades de tener o no sinusitis; la base de conocimiento contiene el conocimiento convenientemente formalizado y estructurado, la representación del conocimiento permite describir los hechos que ocurren y las reglas de inferencia utilizadas en el proceso de diagnóstico, además las incertidumbres son representadas a través de la lógica difusa, para la elaboración de los conjuntos difusos de las preguntas que tienen varias respuestas posibles, también se presenta la lógica clásica que nos permite evaluar las preguntas hechas al paciente de cada síntoma, de los cuales la respuesta es sí o no, y estas últimas no necesitan función de pertenencia ya que utiliza la lógica clásica que es igual a verdad o falsedad, las salidas son el diagnóstico y tratamiento en función a los datos de entrada, la base de conocimiento y el motor de inferencia. Por último la interfaz de usuario es el mecanismo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto.

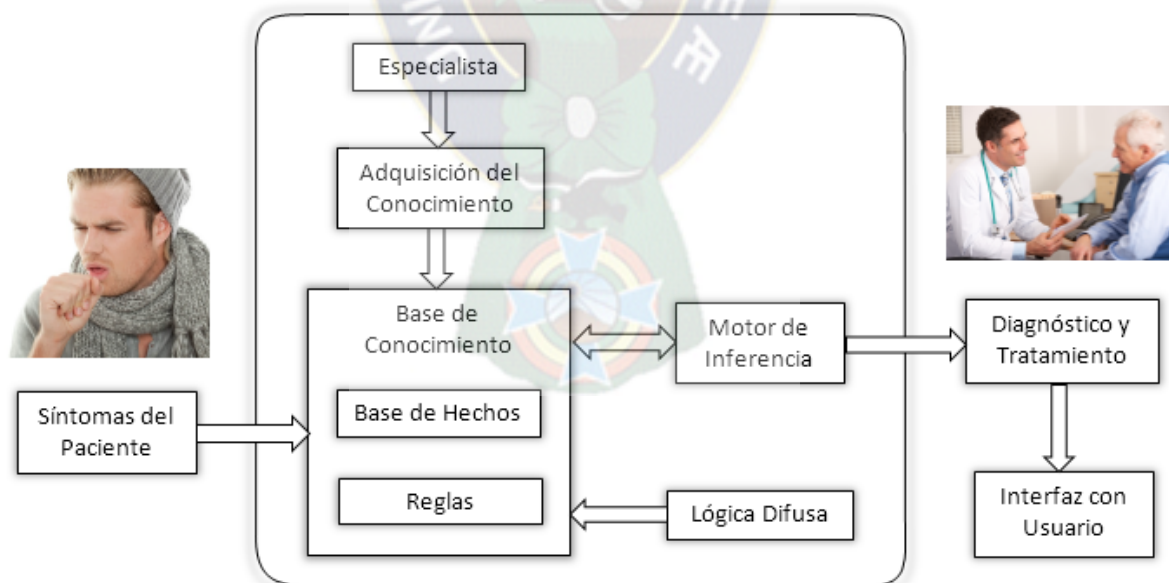


Figura 3.3: Estructura del sistema experto
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.2 CONCEPTULIZACIÓN

En esta segunda etapa de la Metodología Buchanan, se adquiere el conocimiento de especialista otorrinolaringología sobre la patología de la sinusitis, mediante el cual se determinaran los alcances y límites del sistema experto, igualmente esta etapa consiste en el entendimiento del dominio del problema y la terminología usada.

Se analizó los conceptos brindados por el especialista. Las definiciones y conclusiones más relevantes que se obtuvieron son:

La sinusitis es una infección respiratoria la cual consiste en la inflamación de los senos paranasales y se caracteriza por la presencia de rinoreya purulenta, obstrucción nasal, dolor facial, así como fiebre, tos, fatiga, hiposmia o anosmia, dolor dental maxilar y plenitud otica.

La sinusitis constituye una enfermedad de adquisición comunitaria y frecuente que afecta a personas de toda edad sin discriminación, por lo tanto tiene un impacto considerable sobre la salud pública general. Si la sinusitis no se trata correctamente y a su debido tiempo pueden existir complicaciones con infecciones de oído.

Existen diferentes tipos de sinusitis que depende de ciertos factores para clasificar esta infección como ser:

La localización de la infección depende del seno o senos afectados por la enfermedad como ser sinusitis frontal, maxilar, esfenoidal y etmoidal o una combinación de dos o más senos afectados simultáneamente por dicha enfermedad. En niños recién nacidos hasta aproximadamente 9 años de edad solo se encuentra desarrollado el seno etmoidal por tanto solo pueden presentarse casos de sinusitis etmoidal.

La duración o el tiempo que presenta la infección el paciente, obteniendo dos tipos de sinusitis: sinusitis aguda donde la infección es menor a 2 meses y sinusitis crónica donde los síntomas de la afección persiste por más de 2 meses.

La enfermedad de la sinusitis puede ser causada por virus, bacterias, hongos o alergias, donde con más frecuencia las infecciones son causados por bacterias, de las cuales predominan el grupo de Estreptococos.

El tratamiento a seguir consiste en la toma de antibióticos y analgésicos, estos pueden variar dependiendo si el paciente es alérgico o presenta resistencia algún tipo de medicamento en específico. Además de la ingesta de bastante líquido preferentemente agua, aproximadamente 2 litros y la vaporización de agua con sal durante 10 minutos para desinflamar los senos afectados y la secreción de moco.

3.2.3 FORMALIZACIÓN

Esta etapa tiene como objetivo expresar los conocimientos sobre el problema y su resolución en estructuras que puedan ser utilizadas por una computadora. Es necesario definir una técnica o sistema para formalizar el conocimiento.

Una de las técnicas de formalización son los sistemas de producción, que es la técnica de representación más utilizada para expresar los conocimientos formalmente de un dominio. La arquitectura de un sistema de producción está formada por los siguientes elementos: base de hechos, base de reglas o producciones, los cuales forman la base de conocimiento y un modelo de control.

3.2.3.1 BASE DE CONOCIMIENTO

Contiene todos los hechos y reglas del dominio de aplicación sobre el cual se trabaja, en esta parte nombraremos los síntomas de la enfermedad como también factores que deben ser tomados en cuenta para la base del conocimiento.

3.2.3.2 VARIABLES DE LA BASE DE CONOCIMIENTO

Dentro de todo el sistema experto hay que tomar en cuenta que las variables de entrada son todos los síntomas y signos, posibles causas, pruebas de laboratorio, criterios de clasificación, estas variables representan el conjunto de síntomas propio de la sinusitis, para luego ser procesadas mediante la inferencia para dar un resultado que en este caso viene a ser el diagnóstico de la enfermedad.

En la tabla 3.1 se muestra la descripción de las variables, las cuales vienen a ser los síntomas y signos característicos de la sinusitis.

Nro.	Variable Lingüística	Descripción	Valor Lingüístico
1	DF	Dolor a la palpación en la frente entre las cejas y sobre los ojos	Si, No
2	DP	Dolor a la palpación en los pómulos o huesos malares	Si, No
3	DPN	Dolor a la palpación a nivel de la raíz de la pirámide nasal y región adyacente	Si, No
4	RW	Radiografía de senos paranasales (Waters), presenta obstrucción en senos esfenoidales	Si, No
5	SNO	Secreción nasal, oral de moco verde, amarillo	Si, No
6	FF	Fatiga física	Si, No
7	ON	Obstrucción Nasal	Si, No
8	HI	Hiposmia	Si, No
9	AN	Anosmia	Si, No
10	TO	Tos	Si, No
11	FI	Fiebre	Nada (0 - 3), Poco (2 - 6), Mucho (5 - 10)
12	FO	Fotofobia	Nada (0 - 3), Poco (2 - 6), Mucho (5 - 10)
13	DG	Dolor en la garganta	Nada (0 - 3), Poco (2 - 6), Mucho (5 - 10)

Tabla 3.1: Descripción de variables de síntomas y signos característicos de la sinusitis
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.3.3 PROCESO DE FUSIFICACIÓN DE LAS VARIABLES LINGÜÍSTICAS

En el proceso de fusificación se asignan grados de pertenencia a variables de entrada que se consideran imprecisas, es decir necesitan un tratamiento con lógica difusa. En esto se encuentran los criterios de clasificación.

Cada variable representa un conjunto difuso que está relacionada a una escala de 0 a 10, y cada conjunto tiene a su vez tres subconjuntos difusos con una escala diferente para cada subconjunto, las escalas de estos subconjuntos se encuentran dentro del rango de la escala del conjunto difuso, los subconjuntos son:

- Nada con un rango de 0 - 3
- Poco con un rango de 2 - 6
- Mucho con un rango de 5 - 10

A continuación se definen los conjuntos difusos y sus funciones de pertenencia para cada una de las variables lingüísticas difusas.

- a) **Fiebre.-** Aumento de la temperatura del cuerpo por encima de la normal, que va acompañado por un aumento del ritmo cardíaco y respiratorio, y manifiesta la reacción del organismo frente a alguna enfermedad.

El conjunto difuso y su función de pertenencia se pueden ver en la figura 3.4 y la tabla 3.2 respectivamente.

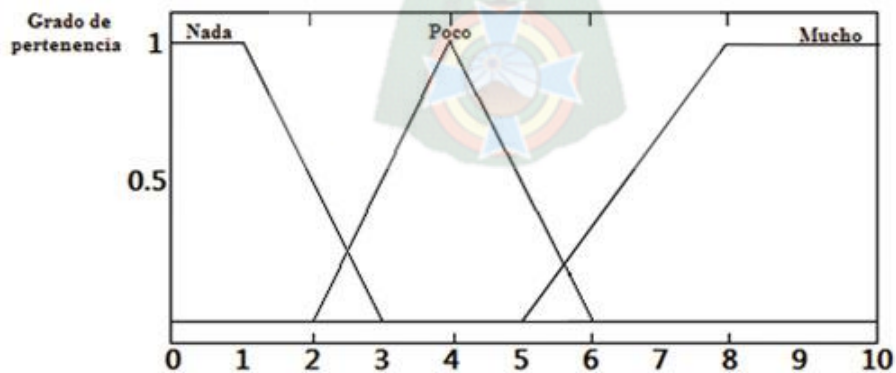


Figura 3.4: Conjunto difuso de fiebre
Fuente: (Elaboración propia)

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$
$Poco(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$
$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$

Tabla 3.2: Función de pertenencia de fiebre
Fuente: (Elaboración propia)

b) **Fotofobia.**- Intolerancia anormal a la luz por la molestia o dolor que produce.

El conjunto difuso y su función de pertenencia se pueden ver en la figura 3.4 y la tabla 3.2 respectivamente.

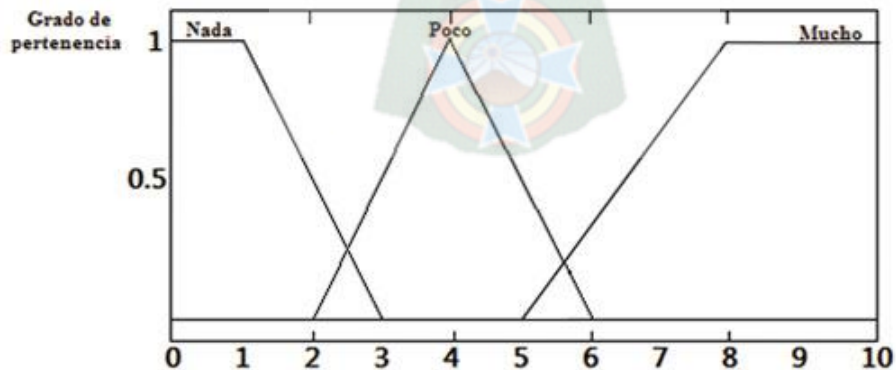


Figura 3.5: Conjunto difuso de fotofobia
Fuente: (Elaboración propia)

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$
$Poco(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$
$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$

Tabla 3.3: Función de pertenencia de fotofobia
Fuente: (Elaboración propia)

c) **Dolor de garganta.-** Molestias y dolor en el área de la laringe.

El conjunto difuso y su función de pertenencia se pueden ver en la figura 3.4 y la tabla 3.2 respectivamente.

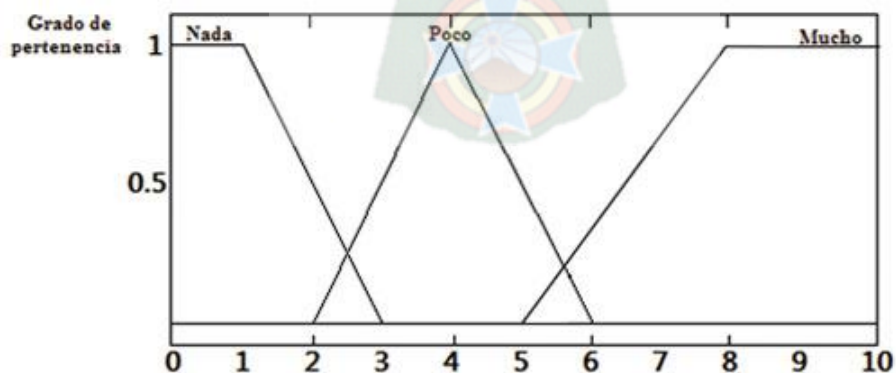


Figura 3.6: Conjunto difuso de dolor de garganta
Fuente: (Elaboración propia)

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$
$Poco(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$
$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$

Tabla 3.4: Función de pertenencia de dolor de garganta
Fuente: (Elaboración propia)

Estas funciones nos permiten saber a qué rango pertenece cada variable por lo cual podemos realizar de manera más eficiente el proceso de diagnóstico.

3.2.3.4 BASE DE HECHOS

En la base de hechos se almacenan los datos propios correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del sistema experto. Contiene la información que permanece invariable y que recibe el nombre de hecho, además está constituida por los síntomas y signos particulares de la enfermedad.

Los hechos representan la estructura dinámica del conocimiento ya que su número puede verse incrementado a medida que se van relacionando las reglas.

Podemos decir que constituye la memoria de trabajo del sistema experto. En principio se dispone únicamente con los datos que introduce el usuario, de acuerdo al análisis de algunos casos clínicos particulares se puede identificar los siguientes hechos:

Hecho 1: El paciente presenta dolor a la palpación en la frente entre las cejas y sobre los ojos

Hecho 2: El paciente presenta dolor a la palpación en los pómulos o huesos malares

Hecho 3: El paciente presenta dolor a la palpación a nivel de la raíz de la pirámide nasal y región adyacente

Hecho 4: El paciente presenta obstrucción en senos esfenoidales, según radiografía de senos paranasales (Waters)

Hecho 5: El paciente presenta secreción nasal, oral de moco verde, amarillo, sanguinolento

Hecho 6: El paciente presenta fatiga física

Hecho 7: El paciente presenta obstrucción nasal

Hecho 8: El paciente presenta hiposmia

Hecho 9: El paciente presenta anosmia

Hecho 10: El paciente presenta tos

Hecho 11: El paciente presenta fiebre

Hecho 12: El paciente presenta fotofobia

Hecho 13: El paciente presenta dolor en la garganta

3.2.3.5 BASE DE REGLAS

La base de reglas es la manera que tiene el sistema de guardar el conocimiento lingüístico que le permiten resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo IF-THEN. Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y la conclusión, su forma de representación es la siguiente:

Si <premisa> **Entonces** <conclusión>

En este caso las premisas son los síntomas y signos que presenta el paciente y las conclusiones hacen referencia al diagnóstico sobre la sinusitis.

Mediante el motor de inferencia se puede obtener conclusiones y en nuestro caso la lógica difusa nos permite describir de mejor manera el rango de probabilidad que se le debe asignar a la base de conocimiento para solucionar problemas. A continuación se muestra el formato de las reglas de producción que pueden ser modificadas o adicionadas según la experiencia del especialista.

Si	Síntomas y signos	And	Variables de clasificación para el diagnóstico	Entonces	Diagnóstico y tratamiento recomendado
-----------	-------------------	------------	--	-----------------	---------------------------------------

Tabla 3.5: Formato para el desarrollo de las reglas de producción

Fuente: (Elaboración propia)

Desarrollo de reglas referentes a los síntomas y signos secundarios.

- R1. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R2. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R3. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R4. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R5. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R6. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R7. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R8. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R9. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R10. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R11. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R12. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".

- R13. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R14. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R15. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R16. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R17. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R18. **Si** ON="Si" and HI="Si" and AN="No" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R19. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R20. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R21. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Nada" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R22. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R23. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R24. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Poco" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R25. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R26. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R27. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Nada" and FI="Mucho" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".

- R28. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R29. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R30. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Nada" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R31. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R32. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R33. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Poco" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R34. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Nada" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R35. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="No" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Poco" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".
- R36. **Si** ON="Si" and HI="No" and AN="Si" and TO="Si" and FO="Poco" and FI="Mucho" and DG="Mucho" **entonces** "Existen factores de inicio de enfermedad".

Reglas referentes a los síntomas y signos primarios.

- R37. **Si** DF="Si" and DP="No" and DPN="No" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal".
- R38. **Si** DF="No" and DP="Si" and DPN="No" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Maxilar".
- R39. **Si** DF="No" and DP="No" and DPN="Si" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Etmoidal".

- R40. **Si** DF="No" and DP="No" and DPN="No" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Esfenoidal".
- R41. **Si** DF="Si" and DP="Si" and DPN="No" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Maxilar".
- R42. **Si** DF="Si" and DP="No" and DPN="Si" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Etmoidal".
- R43. **Si** DF="Si" and DP="No" and DPN="No" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Esfenoidal".
- R44. **Si** DF="No" and DP="Si" and DPN="Si" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal".
- R45. **Si** DF="No" and DP="Si" and DPN="No" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal".
- R46. **Si** DF="No" and DP="No" and DPN="Si" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal".
- R47. **Si** DF="Si" and DP="Si" and DPN="Si" and RW="No" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal".
- R48. **Si** DF="Si" and DP="Si" and DPN="No" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal".
- R49. **Si** DF="Si" and DP="No" and DPN="Si" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal".

- R50. **Si** DF="No" and DP="Si" and DPN="Si" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Maxilar, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal".
- R51. **Si** DF="Si" and DP="Si" and DPN="Si" and RW="Si" and SNO="Si" and FF="Si" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal".
- R52. **Si** DF="No" and DP="No" and DPN="No" and RW="No" and SNO="No" and FF="No" and SS="Existen factores de inicio de enfermedad" **entonces** "Paciente sano".

3.2.3.6 MOTOR DE INFERENCIA

El motor de inferencia consiste en la selección de los operadores matemáticos que debe emplear para los distintos cálculos internos y establecer el conjunto de inferencia. Cada una de las variables de entrada (síntomas y signos) y la salida (resultado del diagnóstico y tratamiento) tiene una interpretación dentro del sistema de lógica difusa en la forma de variables lingüísticas, en este caso están representadas junto con las variables para representar los criterios de clasificación para determinar el diagnóstico y tratamiento.

Una variable lingüística tiene entre otras cosas, una colección de atributos que pueden adquirir las variables y cada uno de estos representado por un conjunto difuso.

De este proceso se extrae las conclusiones de la base de conocimientos, según el método de solución de problema que emite el procedimiento del especialista para solucionar problemas, la conclusión a la que se llega se produce mediante la aplicación de las reglas anteriormente definidas mediante los hechos planteados en la base de conocimientos.

Para ejemplificar a través de reglas de inferencia, se formalizara el conocimiento de la lógica proposicional y de esta forma mostrar cómo se puede inferir en conocimiento y se mostrara algunas de sus reglas.

- P1. El paciente presenta síntomas y tiene 30 años de edad entonces puede presentar la patología de sinusitis.
- P2. El paciente presenta síntomas.
- P3. El paciente tiene 30 años de edad.

P4. Si el paciente tiene sinusitis fronto-maxilar entonces dolor a la palpación en la frente entre las cejas y sobre los ojos y presenta dolor a la palpación en los pómulos o huesos malares y tiene 30 años de edad.

P5. El paciente presenta dolor a la palpación en los pómulos o huesos malares entonces puede presentar la patología de sinusitis.

p: sinusitis

q: presenta síntomas

r: 30 años de edad

s: dolor a la palpación en la frente entre las cejas y sobre los ojos

t: dolor a la palpación en los pómulos o huesos malares

P1: $q \wedge r \rightarrow p$

P2: q

P3: r

P4: $p \rightarrow (s \wedge t \wedge r)$

P5: $s \rightarrow p$

P6: $\sim (q \wedge r) \vee p$

Condicional de disyunción P1

P7: $\sim q \vee \sim r \vee q$

Ley de Morgan P6

P8: $\sim q \vee (\sim r \vee p)$

Asociatividad P7

P9: $q \rightarrow (\sim r \vee p)$

Condicional de disyunción P8

P10: $(\sim r \vee p)$

MPP P2, P9

P11: $r \rightarrow p$

Condicional de disyunción P10

P12: p

MPP P3, P11

3.2.4 IMPLEMENTACIÓN

Para realizar la demostración del modelo del sistema experto se ha elaborado un prototipo, que fue desarrollado en el entorno de desarrollo SWI-Prolog con el editor SWI-Prolog-Editor el cual nos ayudara en la elaboración del modelo planteado, este prototipo permitirá dar un diagnóstico de cada persona en base a la información proporcionada por las personas que lo utilicen, para

que funcione adecuadamente se espera que las personas al ingresar las respuestas sea lo más sincera posible, porque caso contrario el prototipo puede dar un diagnóstico erróneo.

En la figura 3.7 se muestra el entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor, el cual se utilizó para la elaboración del sistema experto.

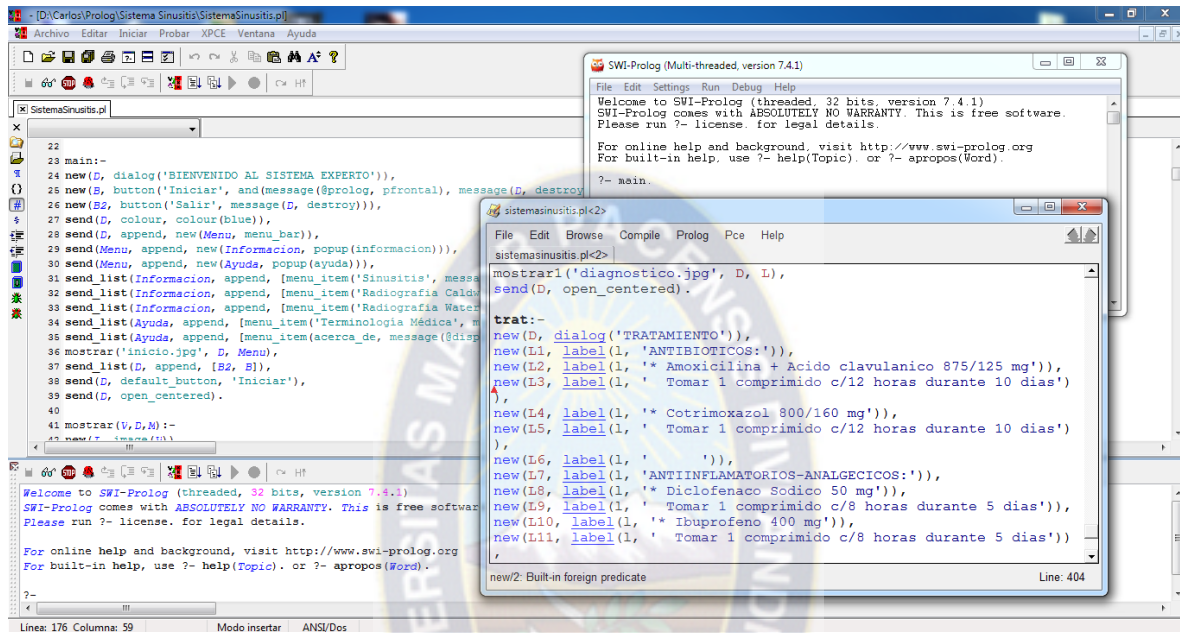


Figura 3.7: Entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.5 TESTEO

Una vez construido y programado el sistema experto se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento, a continuación, se muestran capturas de las pantallas de ejecución del sistema experto, demostrando como se introducen los datos de entrada, la secuencia de preguntas para determinar el diagnóstico de la sinusitis y por último se muestra el resultado del diagnóstico final de si un paciente presenta o no sinusitis.

Se usa un ejemplo para realizar la respectiva prueba del sistema experto de diagnóstico y tratamiento de la sinusitis.

Se toma como demostración el caso de un hombre de 31 años de edad, que presenta síntomas y signos por una 1 semana, se inicia ingresando al sistema experto que se muestra en la figura 3.8.

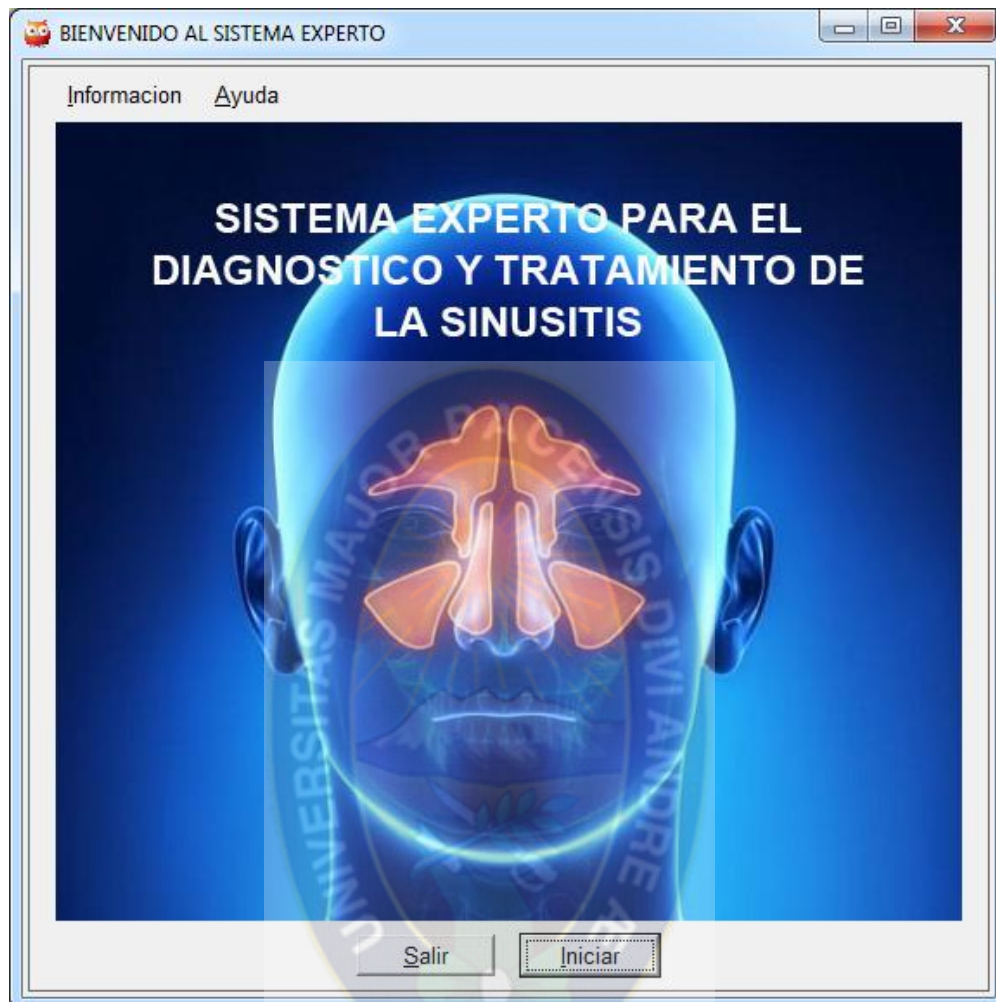


Figura 3.8: Pantalla de inicio del sistema experto
Fuente: (Elaboración propia)

En la pantalla principal del sistema experto figura 3.8, se observa la pestaña de Información donde se encuentra la definición de la patología, conjuntamente los síntomas y signos que la caracterizan ver figura 3.9, también podemos encontrar los exámenes radiológicos que coadyuvan al diagnóstico de la sinusitis ver figuras 3.10 y 3.11. En la pestaña de ayuda podemos encontrar terminología médica referente a la enfermedad para mejorar la comprensión de los síntomas y signos de la misma como se muestra en la figura 3.12, además de la información acerca del autor.

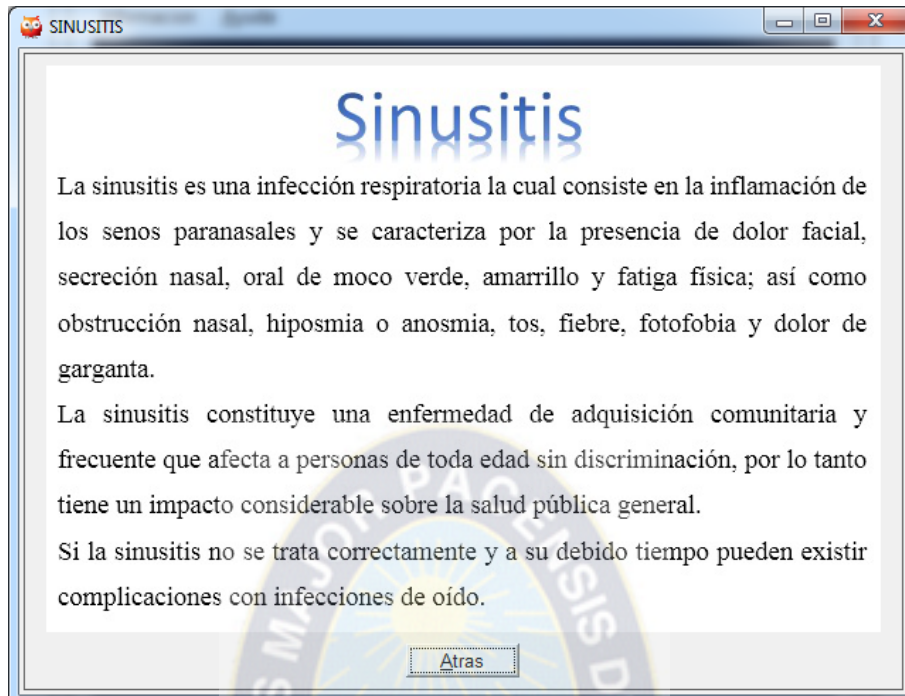


Figura 3.9: Pantalla de información sobre la sinusitis
Fuente: (Elaboración propia)

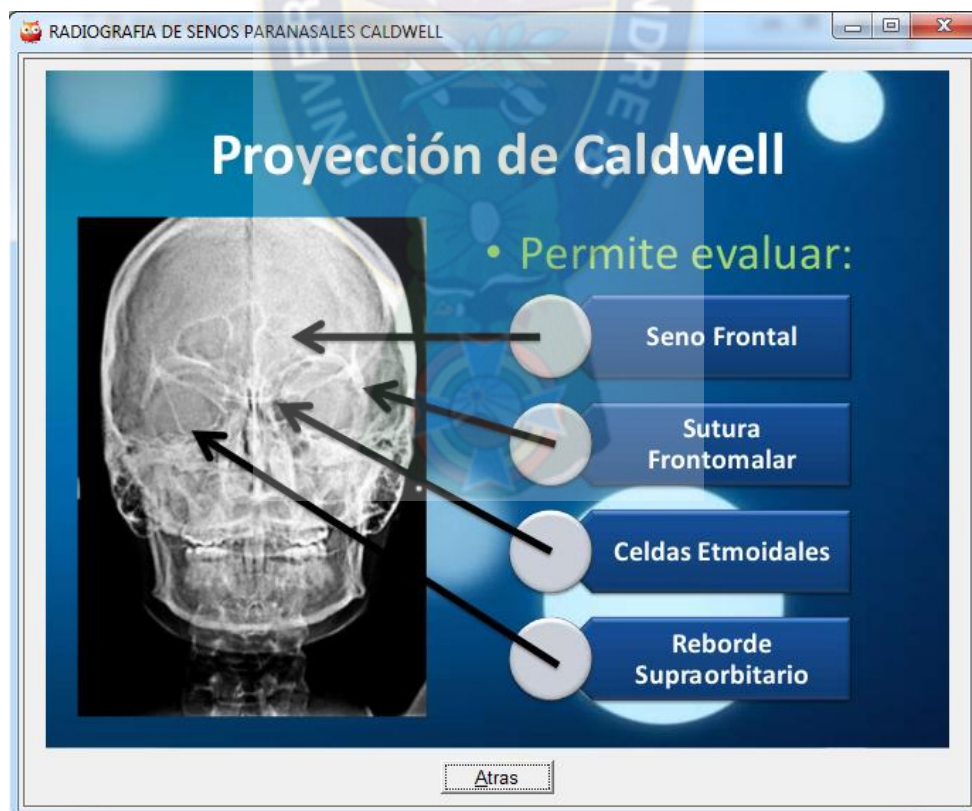


Figura 3.10: Pantalla de radiografía de Cadwell
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 3.11: Pantalla de radiografía de Waters
Fuente: (Elaboración propia)

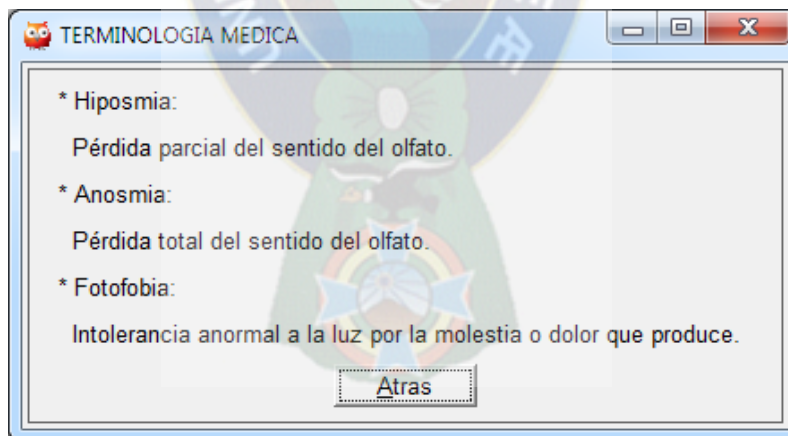


Figura 3.12: Pantalla de Terminología Medica
Fuente: (Elaboración propia)

En las siguientes pantallas el sistema experto realiza preguntas al paciente para evaluar y determinar el diagnóstico del mismo. Al iniciar la consulta aparece la pantalla con tres opciones figura 3.13 donde el paciente tiene que marcar la opción que corresponda a su edad.



Figura 3.13: Pantalla de edad del paciente
Fuente: (Elaboración propia)

A continuación se realizan las preguntas de los síntomas y signos característicos de la patología, como se observa en la figura 3.14.

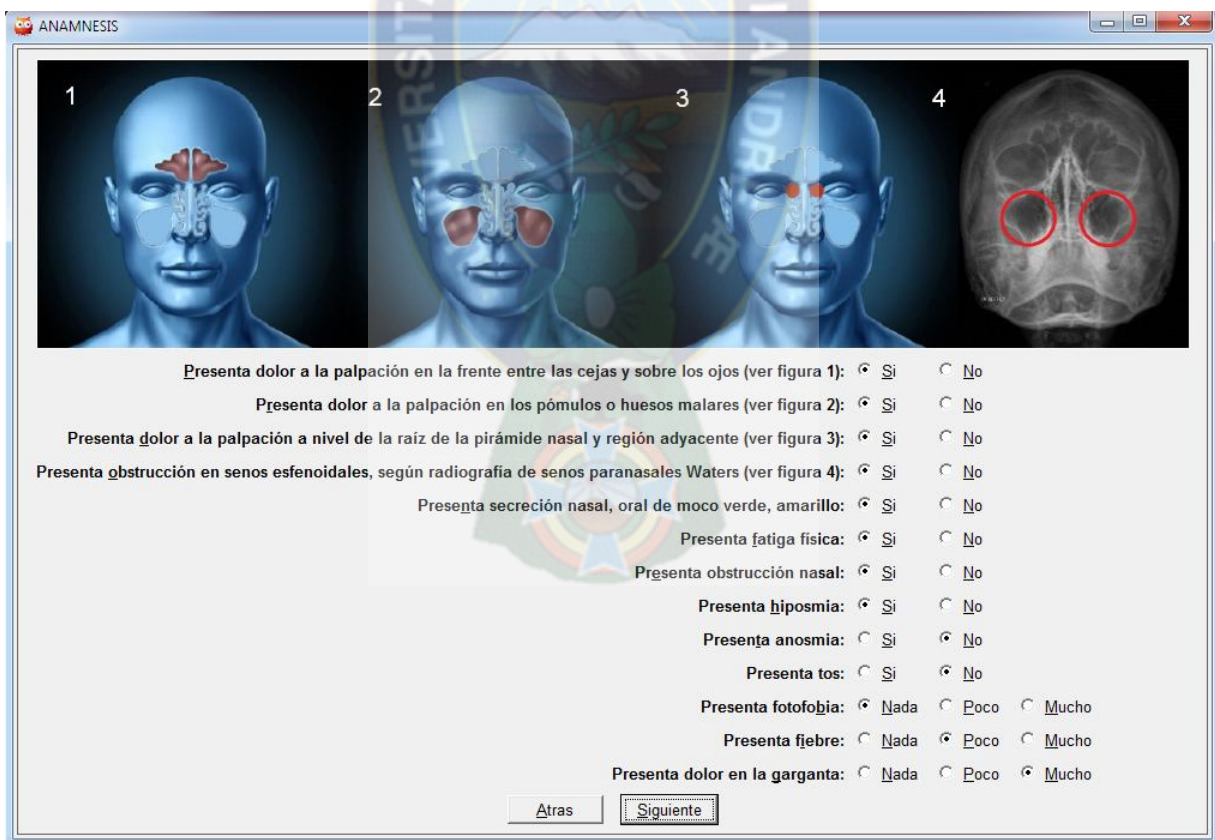


Figura 3.14: Pantalla de síntomas y signos
Fuente: (Elaboración propia)

Al finalizar la consulta se muestra el resultado del diagnóstico ver figura 3.15, en este caso el paciente presenta Sinusitis frontal y Sinusitis Maxilar.



Figura 3.15: Pantalla de diagnóstico
Fuente: (Elaboración propia)

Una vez que se obtuvo el diagnóstico, proseguimos a su respectivo tratamiento con la medicación que debe seguir el paciente, como se muestra la figura 3.16.

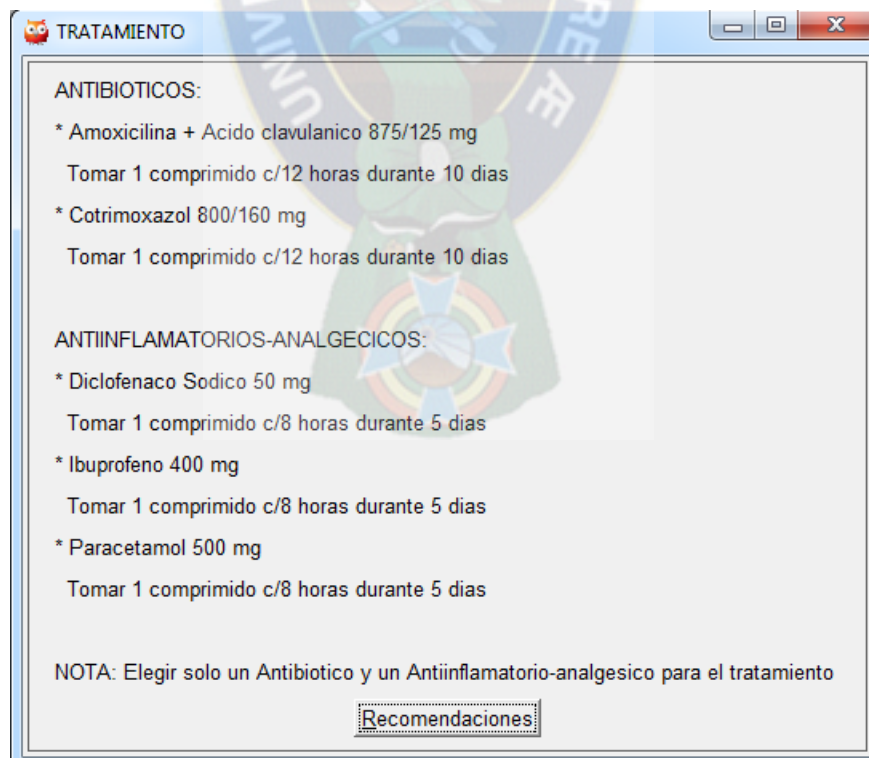


Figura 3.16: Tratamiento de la sinusitis
Fuente: (Elaboración propia)

A continuación del tratamiento, vienen las recomendaciones que coadyuvan a la recuperación más rápida del paciente como se observa en la figura 3.17.

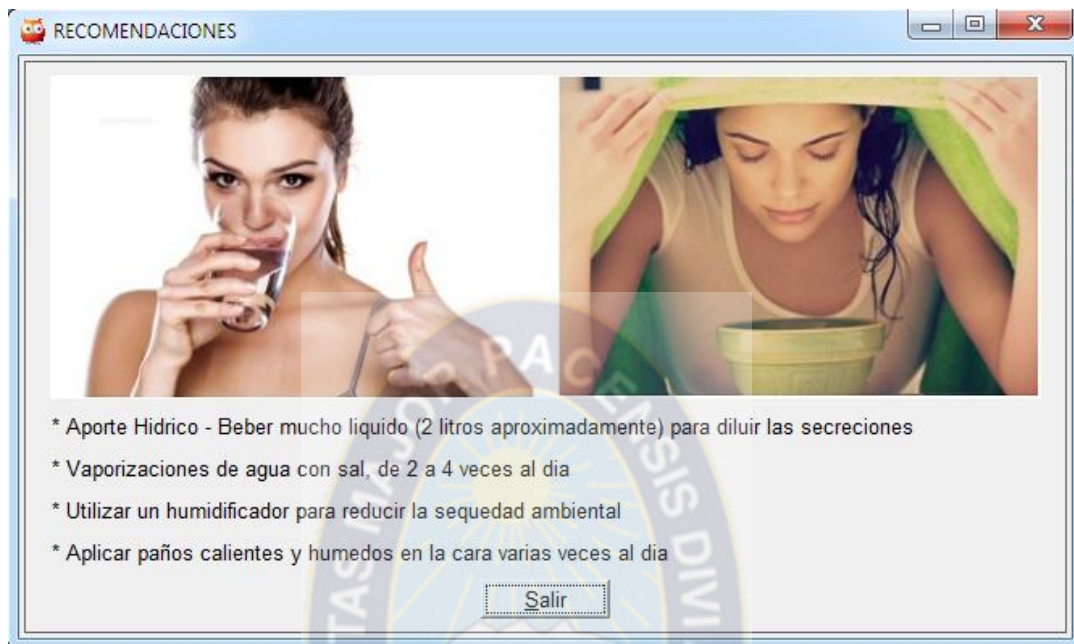


Figura 3.17: Pantalla de recomendaciones para la recuperación
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO

La etapa de revisión del prototipo se hizo durante todo el proceso de construcción del sistema experto, modificando y puliendo en cada etapa la estructura del sistema experto, para así obtener un resultado confiable y un diagnóstico eficiente.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS

En este capítulo se realizara la evaluación respectiva de la hipótesis planteada al inicio del presente trabajo que diagnostica si el paciente tiene o no sinusitis.

Recordando, la hipótesis planteada es:

Hi: El sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis es una herramienta capaz de apoyar el trabajo del especialista otorrinolaringólogo en el área de salud proporcionando un diagnóstico con una confiabilidad del 90%.

Donde con la operacionalización de variables se identificó las variables dependiente, independiente e interviniente, que son:

- **Variable independiente:** Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis.
- **Variable dependiente:** El diagnóstico de la sinusitis con una confiabilidad del 90%.
- **Variable interviniente:** Lógica difusa.

4.1.1 CONTRASTE 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 ejemplo, éxito (A) o fracaso (B), sexo femenino (F), sexo masculino (M) y otros.

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 de tipo B, siendo $n_1 + n_2 = n$ sea la variable aleatoria:

$R =$ número total de rachas en la muestra.

Para una muestra grande 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:

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

Esperanza: $E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$

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

Por consiguiente para muestras grandes se verifica:

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

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

$$Z_{\text{exp}} = \frac{R - \left(\frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1\right)}{\sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}}} + 1$$

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

La región de aceptación para la hipótesis nula será:

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

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

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

4.1.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis por medio de contraste de rachas de Wald – Wolfowitz se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula.

H₀: El sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis es una herramienta capaz de apoyar el trabajo del especialista otorrinolaringólogo en el área de salud proporcionando un diagnóstico con una confiabilidad del 10%.

Paso 2: Selección del nivel de confianza.

El nivel de confianza o significancia que se elige para el caso de 10% es de $\alpha = 0.9$ valor proporcionado por la Tabla Normal.

Paso 3: Identificación del estadístico de prueba.

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

Paso 4: Formulación de la regla de decisión.

Los recursos necesarios sobre la patología de la sinusitis para el presente trabajo fue provisto ampliamente por la Caja Nacional de Salud (CNS), Hospital Otorrino-Oftalmológico de tercer nivel, de la ciudad de La Paz, las entrevistas y consultas se realizaron al Dr. Carlos Frade Vargas, Especialista Cirujano Otorrinolaringólogo, Docente de Postgrado, Docente Adscrito de Pregrado.

Para la prueba se toman 20 casos de diagnóstico de la sinusitis, realizando la comparación del diagnóstico entre el médico especialista otorrinolaringólogo y el sistema experto. A continuación se muestran los resultados de la comparación en la tabla 4.1.

Nro.	Diagnóstico medico	Diagnóstico sistema experto	Aceptación por rachas
1	Presenta Sinusitis Maxilar	Presenta Sinusitis Maxilar	+
2	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Etmoidal	-
3	Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Etmoidal	-
4	Presenta Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Etmoidal	+
5	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Etmoidal	+
6	No presenta Sinusitis	No presenta Sinusitis	+
7	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal	-
8	Presenta Sinusitis Frontal	Presenta Sinusitis Frontal	+
9	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Maxilar	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Maxilar	+
10	Presenta Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	+
11	Presenta Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Etmoidal	+
12	No presenta Sinusitis	Presenta Sinusitis Etmoidal	-
13	Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal	-
14	Presenta Sinusitis Frontal	Presenta Sinusitis Frontal	+
15	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	-
16	Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal	Presenta Sinusitis Frontal, Sinusitis Maxilar y Sinusitis Etmoidal	+

17	No presenta Sinusitis	No presenta Sinusitis	+
18	Presenta Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Maxilar, Sinusitis Etmoidal y Sinusitis Etmoidal	-
19	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal	Presenta Sinusitis Maxilar y Sinusitis Esfenoidal	+
20	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Maxilar	Presenta Sinusitis Frontal y Sinusitis Maxilar	+

Tabla 4.1: Comparación del diagnóstico médico y el sistema experto
Fuente: (Elaboración propia)

Se tiene los siguientes resultados:

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

Donde:

- (+) Representa los casos en los que coincide el diagnóstico proporcionado por el especialista médico y el sistema experto.
- (-) Representa los casos en los que no coincide el diagnóstico proporcionado por el especialista médico y el sistema experto.

Siendo una racha construida por la sucesión de signos iguales se tiene que:

Total de Rachas expuestas	$R_{exp} = 11$
Número total de observaciones	$N = 20$
Numero de residuos positivos	$n_1 = 13$
Numero de residuos negativos	$n_2 = 7$

Reemplazando datos para calcular la Esperanza y Varianza se tiene:

$$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1+n_2} + 1 = \frac{2 \cdot 13 \cdot 7}{13+7} + 1 = \frac{182}{20} + 1 = 10.1$$

$$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1+n_2)^2(n_1+n_2-1)} = \frac{(2 \cdot 13 \cdot 7) \cdot [(2 \cdot 13 \cdot 7) - 13 - 7]}{(13+7)^2 \cdot (13+7-1)} = \frac{182 \cdot 162}{400 \cdot 19} = 3.88$$

Paso 5: Toma de decisión.

Para una muestra concreta del valor estadístico Z_{exp} reemplazando los datos se tiene:

$$Z_{\text{exp}} = \frac{R - E[R]}{\sqrt{\text{Var}[R]}} + 1 = \frac{11 - 10.1}{\sqrt{3.88}} + 1 = \frac{0.9}{1.97} + 1 = 1.46$$

Para calcular la región de aceptación de la hipótesis es necesario hallar el valor de $Z_{\alpha/2}$ que se obtiene de la tabla de $N(0, 1)$, de manera que cumpla:

Por

$P\left(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}\right) = P\left(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}\right) = \frac{\alpha}{2}$		lo
$P\left(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}\right) = \frac{\alpha}{2}$ $1 - P\left(Z_1 < Z_{\alpha/2}\right) = \frac{\alpha}{2}$ $P\left(Z_1 < Z_{\alpha/2}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$ $P\left(Z_1 < Z_{\alpha/2}\right) = 1 - \frac{0.9}{2}$ $P\left(Z_1 < Z_{\alpha/2}\right) = 1 - 0.45$ $P\left(Z_1 < Z_{\alpha/2}\right) = 0.55$ \Downarrow $Z_{\alpha/2} = 0.12$	$P\left(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}\right) = \frac{\alpha}{2}$ $P\left(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}\right) = \frac{0.9}{2}$ $P\left(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}\right) = 0.45$ \Downarrow $Z_{\alpha/2} = 0.12$	

tanto la región de aceptación para la hipótesis nula es:

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

$$-0.12 < Z_{\text{exp}} < 0.12$$

Se puede ver que el estadístico $Z_{\text{exp}} = 1.46$ no cae en la región de aceptación de la hipótesis nula, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación

Hi: El sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis es una herramienta capaz de apoyar el trabajo del especialista otorrinolaringólogo en el área de salud proporcionando un diagnóstico con una confiabilidad del 90%.

Lo que demuestra que la tesis es un trabajo válido, además muestra que los datos de la muestra son aleatorios.



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El sistema experto desarrollado mejora el diagnóstico y ayuda al tratamiento de la enfermedad de la sinusitis en la especialidad de otorrinolaringología realizando lo siguiente:

- Los sistemas expertos son de mucha utilidad en la vida real, apoyan en gran manera a los sistemas de soporte de decisión ya que permiten tomar decisiones basadas en la experiencia humana de algún especialista en determinada área.
- El periodo de realización de un sistema experto es largo, no por el desarrollo de la aplicación, sino por el proceso de adquisición de conocimientos, ya que es un conocimiento especializado, con el cual el ingeniero del conocimiento no se encuentra familiarizado
- El diagnóstico se realiza con rapidez y confiabilidad, siempre que los datos aportados por el paciente en la consulta con el médico especialista sean confiables y suficientes.

El primer objetivo específico menciona: Brindar mayor información sobre la enfermedad de sinusitis con su respectivo diagnóstico y tratamiento. Para este objetivo el sistema experto desarrollado provee información sobre la enfermedad de la sinusitis conjuntamente la información de exámenes radiológicos para ayudar al diagnóstico de la infección y su respectivo tratamiento.

El segundo objetivo específico: Apoyar al especialista otorrinolaringólogo a la hora de diagnosticar y tratar la sinusitis. El sistema experto es una herramienta que coadyuva al especialista al momento de emitir un diagnóstico confiable y su respectivo tratamiento.

El tercer objetivo específico: Prevenir las complicaciones de la sinusitis mediante el diagnóstico oportuno del sistema experto. Realizando la consulta al sistema experto se obtiene un diagnóstico inmediato seguido de su respectivo tratamiento permitiendo así al especialista otorrinolaringólogo tomar las medidas necesarias para tratar la enfermedad de la sinusitis y evitar complicaciones.

El cuarto objetivo específico: Diseñar una base de conocimientos, a través de la experiencia que el especialista otorrinolaringólogo posea en el área de sinusitis y preservar dicho conocimiento. Objetivo que está desarrollado en el capítulo 3 en el cual se diseña la base de conocimientos aplicando lógica difusa en variables que se consideran como imprecisas.

El quinto objetivo específico: Evaluar los resultados obtenidos por el sistema experto mediante la comparación con diagnósticos emitidos por el especialista otorrinolaringólogo. Se comprobó la precisión del resultado obtenido realizando pruebas de diagnóstico tanto con el sistema experto como con el especialista otorrinolaringólogo comparando resultados.

Por consiguiente, el objetivo general: Desarrollar un sistema experto, para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis, que sea útil para el otorrinolaringólogo al momento de emitir un diagnóstico y tratamiento adecuado. El cual se alcanzó mediante su modelado teórico y mediante la elaboración del prototipo.

Con la demostración de la prueba de hipótesis por medio del contraste de rachas de Wald-Wolfowitz podemos concluir que el valor estadístico obtenido cae fuera de la región de aceptación de la hipótesis nula, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación que nos permite afirmar que el sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la sinusitis, utilizando lógica difusa proporciona un diagnóstico con una confiabilidad del 90%.

5.2 RECOMENDACIONES

El sistema experto propuesto no realiza la interpretación de los exámenes de laboratorio, los cuales son importantes para el diagnóstico, tratamiento y control de la sinusitis, se recomienda incorporar un módulo específico para la interpretación de exámenes de laboratorio.

El sistema experto fue basado en lógica difusa para el tratamiento de algunos síntomas considerados inciertos, se recomienda aplicar otros modelos de inteligencia artificial como redes

bayesianas para el diseño de un árbol de decisión o usar redes neuronales para realizar una mejor representación del conocimiento.

Considerando que la sinusitis es una infección respiratoria frecuente que afecta a personas de toda edad sin discriminación y su complicación puede llevar a adquirir afecciones como ser la otitis, faringitis, amigdalitis y bronquitis. Se recomienda realizar un sistema experto uniendo los conocimientos de todas estas afecciones para así poder ayudar a definir de una manera más específica a diagnosticar una infección respiratoria u otica y así no cometer errores de confundir síntomas, diagnósticos o tratamientos.



BIBLIOGRAFÍA

- Ballenger, J. (1988). *Enfermedades de la Nariz, Garganta, Oído, Cabeza y Cuello*. Barcelona, España: Salvat.
- Barr, A y Feigenbaum, E. (1981). *The Handbook of Artificial Intelligence Volume I*. California, United States: Heuris Tech Press.
- Brown, R. y Cunningham, S. (1989). *Programando la Interface: Ejemplos Principales*. New York, United States: John Wiley and Sons.
- Castillo, E y Alvarez, E. (2001). *Expert Systems: Uncertainly and Learning. Computational Mechanics Publications and Elsevier Applied Science*. London, U.K.
- Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC). *Diagnóstico y tratamiento de la sinusitis aguda*. México D.F., México.
- Chávez, J. (2012). *Sistema experto para el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas en menores de 5 años*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Clínica Subiza. Centro de Asma y Alergia. *Algunas preguntas y respuestas sobre la sinusitis*. Recuperado de: <http://www.clinicasubiza.com/en-gb/referencias/preguntasypreguntas/lasinusitis.aspx>
- DMedicina. (2016). *Sinusitis*. Recuperado de: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/respiratorias/sinusitis.html>
- Dubois, D y Prade, H. (1980). *Fuzzy sets and Systems: Theory and applications*. New York United States: Academic Press.
- Durkin, J. (2004). *Sistemas Expertos: Diseño y Desarrollo*. New York, United States: Maxwell Macmillan.
- Enriquez, A. (2012). *Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años basado en lógica difusa*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Escobar. (2007). *Sistema basado en conocimiento para el diagnóstico de desnutrición en niños menores de 5 años*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Garzon, W. (2011). *Sistema Experto para el Diagnóstico de Enfermedades*. Mayaguez, Puerto Rico.
- Giarratano, J y Riley, G. (2001). *Sistemas Expertos*. México D.F., México: International Thomson.
- Goodhill, V. y otros. (1986). *El Oído Enfermedades, Sordera y Vértigo*. Santiago de Chile: Salvat.

- Guillen, V y otros. (2008). *Sinusitis fúngica crónica invasiva del seno maxilar por aspergillus*. Revista portuguesa de Otorrinolaringología e Cirugía Cérvico-Facial, 46(2).
- Gutiérrez, R. (2006). *Introducción al Método Científico*. Decimoctava edición. Mexico: Ed. Esfinge.
- Kids Health. *Sinusitis*. Recuperado de: <http://kidshealth.org/es/teens/sinusitis-esp.html>
- Lima. (2007). *Sistema experto para el diagnóstico de anemia y poliglobulia mediante hemograma*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Mamani, R. (2012). *Sistema basado en conocimiento para el diagnóstico de osteoporosis en mujeres de 35 a 45 años*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Mamani. (2004). *Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades neurológicas ciáticas*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Mancilla, G. & Mendoza, A. (2002, Junio). *Sinusitis*. Scielo. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-06752002000200014
- Martínez, R. (2004). *Ingeniería de Sistemas Expertos*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Librería.
- Mascaro, J. (1974). *Diccionario Medico*. Barcelona, España: Salvat.
- Medtronic. (2010). *Acerca de infecciones de senos (sinusitis)*. Recuperado de: <http://www.medtronic.es/su-salud/sinusitis/>
- Montes, M. (2003). *Sistemas Expertos*. Geocities. Recuperado de: http://www.geocities.ws/onelysalasp/sahwct/investigacion_en_internet/SE12.html
- Morillas, A. (2006). *Introducción al análisis de datos difusos*. Málaga, España: Edición electrónica.
- Olmo, A (2008). *Tutorial de Introducción de Lógica Borrosa*. Recuperado de: http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/index.html
- Otolaryngology Head and Neck Surgery (OHNS). (2007). *Sinusitis*. California, United States.
- Pérez, M. (2008 Marzo). *Sistemas expertos para la asistencia médica*. Entérate. Recuperado de: <http://www.enterate.unam.mx/artic/2008/marzo/art5.html>
- Ramírez, R. y otros. (1998). *Manual de Otorrinolaringología*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Riley, G. (1990). *Sistemas Expertos Principios y Programación*. Tercera Edición. México D.F., México: International Thomson.
- Rolston, D. (1995). *Principios de la Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Shneiderman, B. (1987). *Diseño de la Interface*. New York, United States: Reading.

Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cervico-Facial (SEORL). (2003). *Diagnóstico y tratamiento antimicrobiano de las Sinusitis*. Salamanca, España.

Stevens, L. (1984). *Artificial Intelligence. The Search for the Perfect Machine*. Hayden Book Company.

Suarez, C., Carcedo, L., Algarra, J., Medina, J., Ortega, P. y Trinidad, J. (2009). *Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*. Segunda Edición. Buenos Aires, Argentina: Panamericana.

Thompson, V., Bertelli, J., Zubizarreta, J. y Robbio, J. (1984). *Tratado de Otorrinolaringología*. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.

Velásquez, L. (2011). *Definición y Estructura de un Sistema Experto*. La Paz, Bolivia.



GLOSARIO

Hipótesis: Suposición hecha a partir de unos datos que sirve de base para iniciar una investigación o una argumentación.

Sistema experto: Sistema Informático que forman parte de la inteligencia artificial, estos simulan el proceso de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia.

Lenguaje: Es un traductor de comandos escritos con una sintaxis específica, un lenguaje en sistemas expertos también proporciona un mecanismo de inferencia que ejecute las instrucciones del lenguaje.

Herramienta: Es un lenguaje adicionalmente asociado con programas de utilerías para facilitar es desarrollo, la depuración y el uso de los programas de aplicación. En el ámbito de la informática son programas, aplicaciones o instrucciones usadas para efectuar otras tareas de modo más sencillo. En un sentido amplio del término, podemos decir que una herramienta es cualquier programa o instrucción que facilita una tarea.

Prototipo: Un prototipo es una representación de un sistema, aunque no es un sistema completo, posee las características del sistema final o parte de ellas

Lógica difusa: Es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión.

Conjunto difuso: Los conjuntos difusos considerados como una generalización de los conjuntos clásicos, contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1.

Función de pertenencia: Proporciona una medida de grado de similitud de un elemento del universo con el conjunto difuso, su forma depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema. La única condición que debe cumplir una función de pertenencia es que tome valores.

Variable lingüística: Variable que puede tomar palabras en lenguaje natural como sus valores.

Sinusitis: Es una infección respiratoria la cual consiste en la inflamación de los senos paranasales y se caracteriza por la presencia de rinorea purulenta, obstrucción nasal, dolor facial, así como fiebre, tos, fatiga, hiposmia o anosmia, dolor dental maxilar y plenitud otica.

Senos paranasales: En anatomía, los senos nasales o paranasales son un conjunto de cavidades aéreas que se encuentran en los huesos frontales, esfenoides, etmoides, maxilar superior y tabique nasal que comunican con las fosas nasales. Estas cavidades son estructuras que influyen en la respiración, la fonación, el calentamiento y la olfacción adecuados.

Ostium: Boca u orificio, especialmente de entrada de un conducto u órgano hueco.

Seno Frontal: Son dos cavidades separadas por el tabique interfrontal; cada seno, a su vez puede tener uno o más compartimentos.

Seno Maxilar: El seno Maxilar es el más grande de los senos paranasales. Tiene forma piramidal irregular con base hacia la fosa nasal y vértice hacia la apófisis cigomática o piramidal del maxilar.

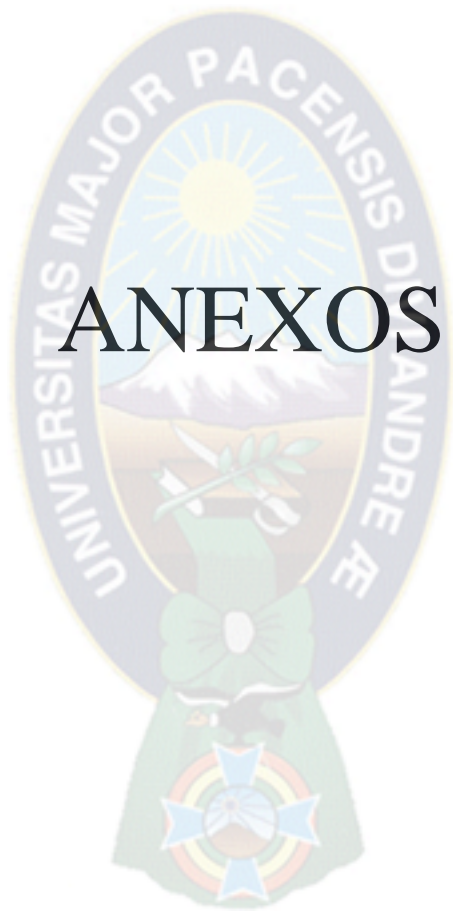
Seno Etmoidal: El laberinto o celdillas etmoidales, se encuentran a cada lado de la mitad y el tercio superior de la cavidad nasal y medial al hueso de la órbita. El hueso etmoidal consta de una lámina horizontal y otra vertical.

Seno Esfenoidal: Está situado en el cuerpo del esfenoides por lo que su tamaño y forma son variables.

Examen de laboratorio: Procedimiento médico en el que se analiza una muestra de sangre, orina u otra sustancia del cuerpo. Las pruebas de laboratorio pueden ayudar a determinar un diagnóstico, planificar el tratamiento, vigilar la enfermedad con el transcurso del tiempo.

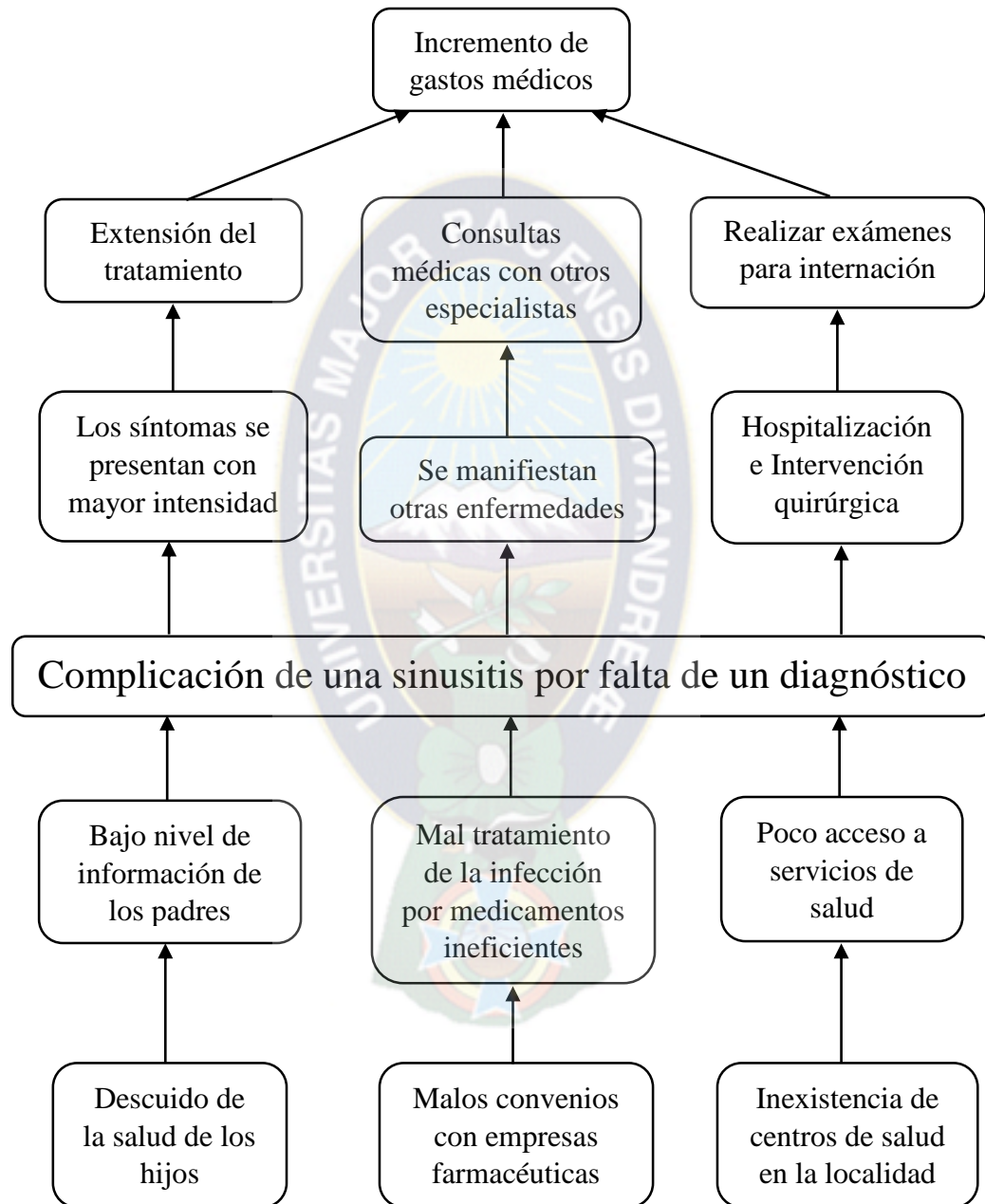
Diagnóstico: Parte de la medicina que tiene por objetivo identificar una enfermedad fundándose en los síntomas y signos de esta. Relativo a la diagnosis. Este término hace referencia a diagnosticar: recabar datos para analizarlos e interpretarlos lo que permite evaluar una cierta condición.

Tratamiento: Es un conjunto de medios (higiénicos, farmacológicos, quirúrgicos o físicos) que se utiliza para aliviar o curar una enfermedad o síntomas, es un tipo de juicio clínico.



ANEXOS

• ANEXO A – ÁRBOL DE PROBLEMAS



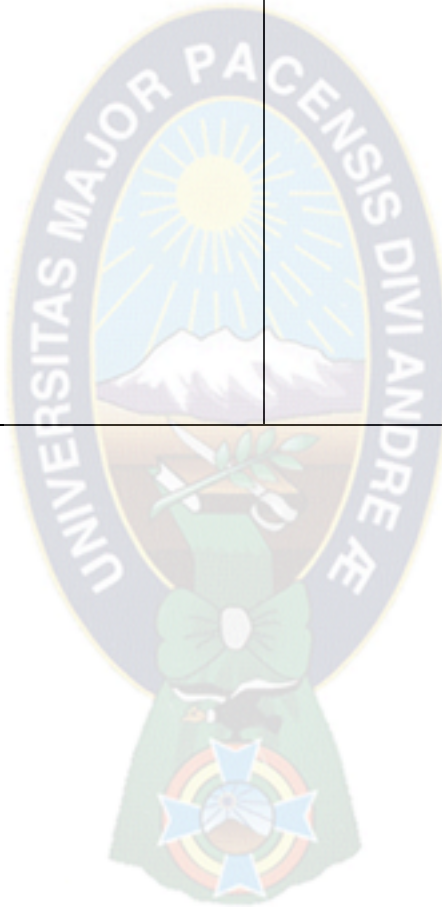
• ANEXO B – ÁRBOL DE OBJETIVOS



• ANEXO C – MARCO LÓGICO

OBJETIVOS	INDICADORES	VERIFICADORES	SUPUESTOS
<p>FIN</p> <p>Contribuir al área de informática y medicina mediante el diseño de un sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de sinusitis.</p>	<p>Reducción del tiempo en consulta al diagnosticar sinusitis a los pacientes, mediante el uso del sistema experto.</p>	<p>El diagnóstico del experto coincide con el del sistema experto.</p>	
<p>PROPOSITO</p> <p>Diagnóstico preciso de sinusitis en personas de cualquier edad, además de un tratamiento inicial para restablecer las funciones corporales afectadas por la sinusitis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de síntomas y signos que presentan los pacientes para diagnosticar sinusitis. • Diagnóstico del tipo de sinusitis mediante síntomas y tiempo que lleva el paciente enfermo. 	<p>Información presente en el sistema experto llenado por los pacientes, mediante un cuestionario de preguntas.</p>	<p>Se conocen los síntomas y signos que caracterizan la infección de los diversos tipos de sinusitis.</p>
<p>COMPONENTES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición del conocimiento del experto. 2. Desarrollo del sistema experto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de material bibliográfico teórico sobre sinusitis. • Desarrollo del código para el sistema experto, mediante lógica de predicados y proposiciones. 	<p>Documentación de entrevistas y material recabado con el experto.</p>	<p>Se dispone de la colaboración de un experto otorrinolaringólogo para la formalización del conocimiento.</p>

<p>ACTIVIDADES</p> <p>1.1.Preparación de entrevistas.</p> <p>1.2.Sesiones de adquisición del conocimiento con el experto.</p> <p>2.1. Formalización del conocimiento.</p> <p>2.2. Crear una base de conocimiento y hechos.</p> <p>2.3. Empleo de lógica de proposiciones y lógica de predicados.</p> <p>2.4. Diseño de la interfaz del usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Definición del dominio (diagnóstico y tratamiento de sinusitis.) • Se obtiene encadenamiento de reglas. 	<p>Entrevistas debidamente respondidas por el experto.</p> <p>Sistema experto presenta interfaz de usuario.</p>	
--	--	---	--



DOCUMENTACIÓN

