

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



TESIS DE GRADO

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA
ENFERMEDAD DEL ZIKA BASADO EN LÓGICA DIFUSA”**

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

POSTULANTE: KELVY ALEX GONZALES CASSAS

TUTOR METODOLÓGICO: M.SC. ALDO RAMIRO VALDEZ ALVARADO

ASESOR: M.SC. CARLOS MULLISACA CHOQUE

LA PAZ - BOLIVIA

2016



**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.

Dedicatoria

A Dios por darme el regalo de existir, por darme una familia hermosa y unida, por ser mi guía constante.

A ti papá Alejandro Luis Gonzales Condarco porque siempre me diste y me das el apoyo que necesito, gracias por decirme: "hijo tu eres el mejor" gracias por el tiempo dedicado a enseñarme tantas cosas que me servirán en la vida, y distribuir tu tiempo para tu trabajo y familia, gracias papito.

A ti mamá Luisa Rina Casas Segundino porque me enseñaste a ser un hombre de bien, gracias por ser una madre maravillosa, por tu apoyo y paciencia por preocuparte por nuestra familia, tienes una fuerza incomparable mamita.

A ti Ledy Mabel Gonzales Casas por demostrarme que podemos ser mejores personas cada día y por darme ese cariño que te caracteriza.

A ti Beberly Gonzales Casas por escucharme y apoyarme en todo momento.

A ti querida sobrina Ryhanna Camila Dueñas Gonzales porque con tus travesuras me animas cada día, espero que todo esto sirva de ejemplo en tu camino.

Para ustedes

Kelvy Alex Gonzales Casas

Agradecimientos

A mi Tutor M.Sc. Aldo Ramiro Valdez Alvarado gracias por su tiempo, apoyo y paciencia para el desarrollo de la presente tesis.

A mi Asesor M.Sc. Carlos Mullisaca Choque gracias por cordialidad, por el apoyo, tiempo y comprensión en todos los momentos que pude encontrarlo en mi camino.

A los docentes de la Carrera de Informática gracias por sus enseñanzas.

A Don Fernando por la amabilidad y alegría con la que siempre me atendió en la biblioteca.

A mi enamorada, quien me acompaña en todo momento, gracias por todo lo que haces por mi te amo mucho Fabiola.

A mis compañeros, gracias por todo el tiempo que compartimos juntos en aulas y otras actividades como los campeonatos de fútbol, paseos, viajes, los consejos, por todos esos buenos momentos que siempre recordaré.

Gracias por todo

RESUMEN

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en diferentes contextos (industrial, biológico, informático) está demostrado que es una herramienta muy útil. Los sistemas expertos son un área de la informática que se derivan de la (IA), en el campo de la medicina, se están implementando para ayudar al médico en el dialogo clínico. Por otro lado, la enfermedad del Zika es una enfermedad que es transmitida por la picadura del mosquito del genero *Aedes aegypti* o por contacto sexual con una persona que ya se encuentre infectada actualmente se investiga otros modos de transmisión como las transfusiones de sangre, esta enfermedad es una de las causantes de que bebes nazcan con microcefalia.

En el presente trabajo de tesis, ofrece una visión detallada de la construcción de un sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, el mismo que servirá de apoyo a los profesionales en el área de salud y personas que padecen esta enfermedad permitiendo realizar el diagnóstico de la enfermedad.

En el primer capítulo se encuentran los aspectos generales de la investigación poniendo énfasis en los objetivos a lograr, en el segundo capítulo se expone la base teórica necesaria de la presente tesis, en el tercer capítulo se describe la metodología utilizada, la representación del conocimiento y experiencia del experto humano mediante la ingeniería del conocimiento, en el capítulo cuarto se realiza la comprobación de la hipótesis se realizan los casos de prueba que permiten verificar los resultados obtenidos comparados con resultados proporcionados por el médico infectólogo, finalmente se presentan las conclusiones donde se cumplen cada uno de los objetivos de esta forma se recomienda que existen muchos problemas que investigar dentro de las enfermedades infecciosas. 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

The application of artificial intelligence (AI) in different contexts (industrial, biological, computer) is shown to be a very useful tool. Expert systems are an area of computer science that are derived from the (IA) in the field of medicine, are being implemented to assist the physician in the clinical dialogue. On the other hand, the disease Zika is a disease that is transmitted by the bite of a mosquito of the genus *Aedes aegypti* or sexual contact with a person who is already infected other modes of transmission such as blood transfusions is currently investigating this disease it is one of the causes that babies born with microcephaly.

In this thesis, it provides a detailed view of the construction of an expert system for diagnosing disease Zika, the same that will support professionals in the health area, and people with this disease allowing to make the disease diagnosis.

In the first chapter are the general aspects of research emphasizing the objectives to be achieved, in the second chapter the necessary theoretical basis of this thesis is exposed, in the third chapter the methodology described, knowledge representation and experience human expert by knowledge engineering, in the fourth chapter the hypothesis testing is performed test cases that allow verify the results compared with results provided by the infectious disease doctor at the Hospital de Clinicas are performed, finally presented conclusions where each of the objectives are met in this way is recommended that there are many problems to investigate in infectious diseases. With the results of the tests concluded that the diagnoses obtained have a degree of reliability of 90% compared to actual results.

ÍNDICE

1. MARCO INTRODUCTORIO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3.1 PROBLEMA CENTRAL.....	6
1.3.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS.....	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.5 HIPÓTESIS.....	7
1.5.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	7
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.6.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	8
1.6.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	8
1.6.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	9
1.7 ALCANCES Y LÍMITES	9
1.7.1 ALCANCE TEMPORAL.....	9
1.7.2 ALCANCE ESPACIAL.....	9
1.7.3 LÍMITES.....	9
1.8 APORTES.....	9
1.9 METODOLOGÍA.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	11
2.3 SISTEMA EXPERTO	12
2.3.1 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	13
2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	15

2.3.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO	16
2.3.4 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN SISTEMA CLÁSICO	17
2.3.5 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO	18
2.3.5.1 BASE DE CONOCIMIENTO	19
2.3.5.2 BASE DE HECHOS	19
2.3.5.3 MEMORIA DE TRABAJO	19
2.3.5.4 MOTOR DE INFERENCIA	19
2.3.5.5 TRAZADOR DE CONSULTAS	20
2.3.5.6 TRAZADOR DE EXPLICACIONES	20
2.3.5.7 EXPERTO HUMANO	20
2.3.5.8 ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO	21
2.3.5.9 INGENIERO DEL CONOCIMIENTO	21
2.3.5.10 INTERFAZ DEL USUARIO	21
2.3.5.11 USUARIO	21
2.4 METODOLOGÍA BUCHANAN	21
2.4.1 IDENTIFICACIÓN	22
2.4.2 CONCEPTUALIZACIÓN	23
2.4.3 FORMALIZACIÓN	23
2.4.4 IMPLEMENTACIÓN	24
2.4.5 TESTEO.....	25
2.4.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO	25
2.5 LÓGICA DIFUSA.....	26
2.5.1 FUNCIONAMIENTO DE LA LÓGICA DIFUSA	27
2.5.2 CONJUNTOS DIFUSOS	27
2.5.3 FUNCIONES DE PERTENENCIA	28
2.5.4 VARIABLES LINGÜÍSTICAS	29
2.6 ETAPAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DIFUSO	30
2.6.1 FUSIFICACIÓN.....	30
2.6.2 MECANISMO DE INFERENCIA	30

2.6.2.1 REGLAS DIFUSAS.....	30
2.6.2.2 MECANISMO DE INFERENCIA.....	31
2.6.3 MÉTODOS DE RAZONAMIENTO DIFUSO.....	31
2.6.3.1 MÉTODO MAMDANI.....	32
2.6.3.2 METODO TAKAGI-SUGENO.....	32
2.6.4 DEFUSIFICACIÓN.....	32
2.7 VIRUS DEL ZIKA.....	34
2.7.1 SÍNTOMAS	35
2.7.2 COMPLICACIONES DE LA ENFERMEDAD	36
2.7.3 TRANSMISIÓN.....	37
2.7.4 DIAGNÓSTICO.....	37
2.7.5 TRATAMIENTO	38
3. MARCO APLICATIVO.....	39
3.1 INTRODUCCIÓN.....	39
3.2 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO	40
3.2.1 IDENTIFICACIÓN	40
3.2.2 CONCEPTUALIZACIÓN	42
3.2.3 FORMALIZACIÓN	44
3.2.3.1 BASE DE CONOCIMIENTO	45
a) Componentes de la base de conocimiento	45
b) Variables de la base del conocimiento.	45
c) Proceso de fusificación de las variables lingüísticas	47
d) Base de hechos.....	50
e) Base de reglas	51
f) Mecanismo de inferencia.....	55
g) Defusificación.....	55
3.2.4 IMPLEMENTACIÓN.....	57
3.2.5 TESTEO.....	58
3.2.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO	68

4. PRUEBA DE HIPÓTESIS	69
4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS	69
4.1.1 CONTRASTE DE RACHAS DE WALD-WOLFOWITZ	69
4.1.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 CONCLUSIONES.....	76
5.1.1 ESTADO DE LOS OBJETIVOS.....	76
5.1.2 ESTADO DE LA HIPÓTESIS	77
5.2 RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79
GLOSARIO	81
ANEXO	
DOCUMENTACIÓN	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Arquitectura general de un Sistema Experto	18
Figura 2.2: Etapas de la metodología Buchanan	22
Figura 2.3: Ejemplo de Conjunto Difuso	28
Figura 2.4: Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular.....	29
Figura 2.5: Función de pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal.....	29
Figura 2.6: Método promedio máximo	33
Figura 2.7: Mosquito Aedes aegypti	34
Figura 2.8: Bebe con microcefalia.....	36
Figura 2.9: Parálisis de los músculos a causa del síndrome de Guillain-Barré	37
Figura 3.1: Participantes que intervienen en el desarrollo del SEDZI	41
Figura 3.2: Estructura del sistema experto SEDZI.....	42
Figura 3.3: Componentes de la Base del Conocimiento SEDZI	45
Figura 3.4: Conjunto difuso de erupciones en la piel.....	47
Figura 3.5: Conjunto difuso para del dolor de articulaciones	48
Figura 3.6: Conjunto difuso del dolor abdominal	49
Figura 3.7: Entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor	58
Figura 3.8: Pantalla de bienvenida al sistema experto SEDZI	59
Figura 3.9: Pantalla para el inicio de consulta	60
Figura 3.10: Lugar de clima cálido.....	61
Figura 3.11: Fiebre leve.....	61
Figura 3.12: Conjuntivitis	62
Figura 3.13: Dolor de cabeza	62
Figura 3.14: Debilidad	63
Figura 3.15: Dolor muscular	63
Figura 3.16: Hinchazón en las piernas	64
Figura 3.17: Vómitos.....	64
Figura 3.18: Diarrea	65

Figura 3.19: Falta de apetito.....	65
Figura 3.20: Erupciones en la piel	66
Figura 3.21: Dolor en articulaciones.....	66
Figura 3.22: Dolor abdominal	67
Figura 3.23: Diagnóstico de la enfermedad del Zika	67
Figura 3.24: Información de la enfermedad del Zika	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Primeros Sistemas Expertos.....	14
Tabla 2.2: Comparación Sistema Experto Vs Sistema Clásico.....	17
Tabla 3.1: Síntomas de la persona infectada	44
Tabla 3.2: Descripción de variables de posibles causas y síntomas de la enfermedad del Zika.....	46
Tabla 3.3: Función de pertenencia de la variable erupciones en la piel.....	48
Tabla 3.4: Función de pertenencia de la variable dolor de articulaciones.....	49
Tabla 3.5: Función de pertenencia de la variable dolor abdominal	50
Tabla 4.1: Comparación de diagnóstico del médico y el sistema experto.....	72
Tabla 4.2: Calculo de región de aceptación de la hipótesis	75

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1 INTRODUCCIÓN

La investigación científica ha buscado desde sus inicios el desarrollo de nuevas técnicas para resolver problemas de gran gravedad social. Uno de los sectores que predomina la investigación es en el área de salud. Personas o grupos de trabajo dedican su actividad de creación de nuevas técnicas de tratamiento, vacuna, fármaco o procesos de tratamiento que puedan prevenir, curar o detener el progreso de ciertas enfermedades.

Las personas dedicadas en el área de la salud, requieren estudios especializados en alguna área en específico, además cuando existe una amplia diversidad de enfermedades y trastornos, los síntomas pueden ser confusos cuando se busca determinar rápidamente un diagnóstico oportuno, esto puede influir en la sobrevivencia o la muerte del paciente.

Entre las enfermedades más comunes de este tiempo se tiene el Zika, la cual se conoce desde la década de 1950 como proveniente de la región ecuatorial que Abarca de África a Asia. Su nombre proviene del bosque Zika donde se aisló por primera vez este virus en 1947.

El virus del Zika es transmitido por mosquitos con actividad diurna y ha sido aislado a partir de varias especies en el género Aedes entre otros, los estudios muestran que los síntomas aparecen entre dos y siete días después de haber contraído la enfermedad, los huéspedes vertebrados del virus son principalmente monos y seres humanos.

Los síntomas más comunes de la infección con el virus incluyen dolores de cabeza leves, eflorescencia o erupciones en la piel, fiebre, malestar general, conjuntivitis y dolores articulares.

Los sistemas expertos contribuyen ampliamente a la toma de decisiones ya que tienen plasmado en sus programas el conocimiento y la experiencia que tiene un experto en el área, da la impresión de que piensan y razonan como el experto en el área. Además, no solo realiza las funciones tradicionales de manejar grandes cantidades de datos que a la vez

manipula esos datos de forma tal que el resultado sea inteligible y tenga significado para responder a preguntas incluso no completamente especificadas.

Se pretende implementar un sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, que coadyuve a dar un diagnóstico oportuno y confiable.

1.2 ANTECEDENTES

Los sistemas expertos se han constituido como una de las herramientas importantes en la actual sociedad de información. Los sistemas expertos proporcionan respuestas sobre un área problemática muy específica al hacer inferencias semejantes a las humanas sobre los conocimientos obtenidos en una base de conocimientos especializados.

En 1967 se construye DENDRAL, que se considera como el primer sistema experto. Se utilizaba para identificar estructuras químicas moleculares a partir de su análisis espectrográfico. (Depto. Computación Universidad Los Andes, 2003)

En 1972 se desarrolló MYCIN para consulta y diagnóstico de infecciones de la sangre. Este sistema introdujo nuevas características: utilización de conocimiento impreciso para razonar y posibilidad de explicar el proceso de razonamiento. Lo más importante es que funcionaba de manera correcta, dando conclusiones análogas a las que un ser humano daría tras largos años de experiencia. Así surgió EMYCIN (MYCIN Esencial) con el que se construyó SACON, utilizado para estructuras de ingeniería, PUFF para estudiar la función pulmonar y GUIDON para elegir tratamientos terapéuticos.

En 1979 aparece XCON, primer programa que sale del laboratorio Su usuario fue la Digital Equipment Corporation (DEC).

El cometido de XCON sería configurar todos los ordenadores que saliesen de la DEC El proyecto presentó resultados positivos y se empezó a trabajar en el proyecto más en serio en diciembre de 1978.

En abril de 1979 el equipo de investigación que lo había diseñado pensó que ya estaba preparado para salir, y fue entonces, cuando se hizo una prueba real, esperando resolver positivamente un 95% de las configuraciones, este porcentaje tan alto se quedó en un 20% al ser contrastado con la realidad; XCON volvió al laboratorio, donde fue revisado y a finales de ese mismo año funcionó con resultados positivos en la DEC.

En 1980 se instauró totalmente en DEC. Y en 1984, el XCON había crecido hasta multiplicarse por diez. El XCON supuso un ahorro de cuarenta millones de dólares al año para la DEC.

Entre 1980 a 1985 se produce la revolución de los Sistemas Expertos, se crearon diversos sistemas expertos como el DELTA, de General Electric Company, para la reparación de locomotoras diésel y eléctricas. "Aldo en Disco" para la reparación de calderas hidrostáticas giratorias usadas para la eliminación de bacterias.

Se crearon multitud de empresas dedicadas a los sistemas expertos como Teknowledge Inc., Carnegie Group, Symbolics, Lisp Machines Inc., Thinking Machines Corporation, Cognitive Systems Inc. formando una inversión total de 300 millones de dólares. Los productos más importantes que creaban estas nuevas compañías eran las "máquinas Lisp", que se trataba de unos ordenadores que ejecutaban programas LISP con la misma rapidez que en un ordenador central, y el otro producto fueron las "herramientas de desarrollo de sistemas expertos".

En 1987 XCON empieza a no ser rentable. Los técnicos de DEC tuvieron que actualizar XCOM rápidamente llegándose a gastar más de dos millones de dólares al año para mantenimiento y algo parecido ocurrió con el DELTA. También en 1987 aparecieron los microordenadores Apple y compatibles IBM con una potencia parecida a los LISP. El software se transfirió a máquinas convencionales utilizando el lenguaje "C" lo que acabó con el LISP.

A continuación, se muestran algunos sistemas expertos desarrollados en el mundo.

En 1995 se desarrolla el “Sistema experto para diagnóstico en medicina veterinaria” realizado por Gabriela Edith Lambert en la Universidad Nacional de La Plata Argentina, el sistema experto contiene los conocimientos de un experto en el área de la medicina veterinaria, para diagnosticar la enfermedad de mascotas y sugerir un tratamiento.

En 1998 se desarrolla el “Sistema experto para diagnóstico y tratamiento de enfermedades respiratorias” realizado por Manuel Estuardo Ochoa Loyola en la Escuela Politécnica Nacional Quito Ecuador, que permite incorporar no sólo los síntomas, sino también resultados de exámenes de laboratorio, lo cual ayuda a precisar mejor el diagnóstico de las enfermedades respiratorias.

En 2005 se desarrolla el “Sistema experto para el diagnóstico de trastornos depresivos” realizado por Martín Dones Luengo en la Universidad Pontificia Comilla España, proporciona una herramienta que permita diagnosticar, con una cierta antelación a lo normal, cualquier tipo de trastorno depresivo.

En 2008 se desarrolla el “Sistema experto para el diagnóstico fitosanitario del espárrago usando redes bayesianas” realizado por Pedro Shiguihara Juárez y Jorge Valverde Rebaza en la Universidad Nacional de Trujillo Perú, donde se propone un sistema experto basado en el modelo probabilístico de Redes Bayesianas para el diagnóstico de las plagas y enfermedades del espárrago.

En 2013 se desarrolla el “Sistema experto para el análisis y detección de enfermedades” realizado por Jorge Luis Cardoza Díaz en el Instituto Superior Minero Metalúrgico Cuba, el sistema experto diagnostica enfermedades a partir de un conjunto de síntomas, lo que permite sugerir un tratamiento personalizado para cada paciente.

En 2015 se desarrolla el “Sistema experto de diagnóstico de enfermedades tropicales más comunes y de notificación obligatoria” realizado por Dayanna Estefania Aguirre Iñiguez y Luis Adrián Pinto Proaño en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Ecuador, el sistema experto facilita no solo al médico si no a su vez al paciente a detectar a tiempo sus síntomas y tomar las medidas necesarias para que estas enfermedades tropicales más

comunes puedan ser paleadas de manera efectiva y que haya menos personas que puedan padecerlas,

A partir de 1990 y con el desarrollo de la informática, se produce un amplio desarrollo en el campo de la Inteligencia Artificial y los sistemas expertos, pudiéndose afirmar que estos se han convertido en una herramienta habitual en la actualidad.

A continuación, se muestran los siguientes trabajos afines:

- Investigación “Sistema experto para el diagnóstico de fiebre por dengue” realizada por Syaeful Karim, Henny Suryaningsih y Alexandre Lause el año 2007 Bina Nusantara University, en esta investigación se diseña un prototipo de sistema experto para el diagnóstico de fiebre del dengue basada en la indicación de la enfermedad, teoría y conocimiento experto. El resultado del sistema incluye todos los aspectos de la fiebre del dengue.
- Proyecto de grado “Sistema experto para el diagnóstico del dengue” realizada por Mireya Enriquez Linares el año 2012 en la Universidad Mayor De San Simón, en el proyecto de grado se investiga la utilización de sistemas expertos para el diagnóstico del dengue, que coadyuve a dar un diagnóstico oportuno y confiable, contribuyendo a acelerar así el tratamiento de personas infectadas.
- Tesis de Grado “Sistema experto para el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas en menores de cinco años” realizada por Miguel Angel Chavez Patiño el año 2012 en la Universidad Mayor De San Andrés, la tesis sirve de apoyo a los profesionales médicos en el área de medicina y permite a personas particulares realizar un diagnóstico de una posible enfermedad que pudiera estar afectándoles en base a los síntomas que presenten.
- Tesis de Grado “Sistema experto para el diagnóstico del Cáncer de Riñón” realizada por Cristhiam Fernando Galvez Claros el año 2012 en la Universidad Mayor De San Andrés, utiliza Lógica Difusa para representar el conocimiento del especialista

logrando el diagnóstico y tratamiento de forma que ayude al paciente a mejorar la situación o evolución en que se encuentra su cáncer.

- Tesis de Grado “Sistema experto para el diagnóstico de dengue” realizada por Bruce Erick Chino Aruquipa el año 2012 en la Universidad Mayor De San Andrés, la tesis presenta un sistema experto el cual permite diagnosticar el dengue. El diagnóstico se logra a partir de una serie de preguntas que se realizan al paciente; con base en las respuestas brindadas se logra determinar la enfermedad que presenta el paciente.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 PROBLEMA CENTRAL

El principal problema que se pretende resolver con el desarrollo del presente trabajo es el siguiente:

¿De qué manera se puede ayudar al médico infectólogo a diagnosticar la enfermedad del Zika?

1.3.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS

Para el desarrollo de la presente tesis se obtuvieron diversos problemas, los cuales se detallan a continuación:

- No se cuenta con una base de conocimiento digitalizada de la enfermedad del Zika, esto hace que el especialista demore en el diagnóstico de la enfermedad.
- Organización poco eficiente para la toma e interpretación de síntomas de la enfermedad del Zika, aumenta el riesgo del avance de la enfermedad.
- Falta de tiempo del médico infectólogo para atender a todos los pacientes en espera, lo que causa inquietud en el paciente por falta de algún diagnóstico que se le pueda proporcionar.
- Confusión en cuanto a la especificación de la enfermedad del Zika, el diagnóstico final es poco confiable ya que podría ser confundida con otras enfermedades como ser la chikungunya o el dengue.

- No se cuenta con un sistema experto que ayude al médico infectólogo para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, especialmente en lugares alejados de zonas urbanas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, que sea útil para el médico infectólogo al momento de emitir el diagnóstico.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el conocimiento del experto humano empleando entrevistas con el experto médico infectólogo.
- Diseñar la base de conocimientos y reflejar la experiencia del médico infectólogo en el diagnóstico de la enfermedad del Zika usando lógica difusa.
- Reducir la demora de espera de los pacientes hacia el médico infectólogo.
- Obtener diagnósticos precisos para cada uno de los pacientes evaluados.
- Diseñar y programar el prototipo del sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika aplicando la metodología Buchanan.

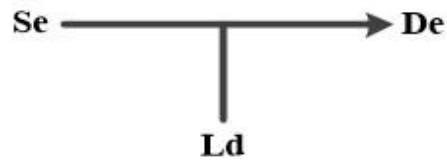
1.5 HIPÓTESIS

La hipótesis se plantea de la siguiente manera:

Hi. El sistema experto aplicando lógica difusa permite diagnosticar la enfermedad del Zika a pacientes con una confiabilidad del 90%.

1.5.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En base a la hipótesis planteada anteriormente se puede identificar una variable independiente Se, una variable dependiente De y una variable interviniente Ld con la siguiente relación:



Donde:

Se: Sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika.

De: El diagnóstico de la enfermedad del Zika con una confiabilidad del 90%

Ld: Lógica Difusa.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Con la implementación del sistema experto, el médico infectólogo podrá obtener el apoyo en su diagnóstico de manera más confiable, oportuna y precisa, reduciendo el tiempo de las consultas médicas por cada paciente. La reducción del tiempo implica obtener el diagnóstico de una manera eficiente optimizando e incrementado así las ganancias en términos monetarios del experto médico.

Por otra parte, el uso del sistema experto en lugares alejados será de mayor beneficio para los pacientes ya que se ahorrará en los gastos que pueda generarse en cuanto a los traslados a centros de salud próximos para realizar el diagnóstico.

1.6.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El presente trabajo ayudara de gran manera a la sociedad en especial a los médicos infectólogos y médicos generales, será una herramienta importante de consulta de esta manera podran obtener diagnóstico oportunos en los pacientes.

Ayudara tambien a pacientes en lugares alejados de zonas urbanas (ciudades) donde el traslado a un centro de salud es complicado.

1.6.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

En el area de la medicina el sistema contribuira a una nueva forma de disposicion, donde los usuarios sean o no especialistas, tendran un instrumento de consulta para obtener un diagnostico preciso, el modelo del sistema sera una guia para la construccion de sistemas informaticos de diagnostico de enfermedades, ademas de contener un respaldo teorico que servira para futuras investigaciones en el area de sistemas expertos del area de medicina.

1.7 ALCANCES Y LÍMITES

Del área de la Informática se aplicará conocimientos relacionados a los sistemas expertos, que son programas capaces de resolver problemas en un área determinada del conocimiento y que requieren del conocimiento de un experto humano, pudiendo mejorar su productividad, ahorrar tiempo y dinero.

1.7.1 ALCANCE TEMPORAL

En el prototipo del sistema experto se utilizarán historiales de pacientes de los años 2014 a 2016.

1.7.2 ALCANCE ESPACIAL

El presente trabajo se realizará en el Hospital de Clínicas de la ciudad de La Paz

1.7.3 LÍMITES

En el presente trabajo se debe mencionar las limitaciones que tendrá nuestro sistema experto puesto que su principal función será la de brindar un diagnóstico oportuno a pacientes que puedan haberse contagiado con la enfermedad del Zika.

1.8 APORTES

El presente trabajo tiene como principal aporte practico, desarrollar e implementar un sistema experto que ayude a determinar el diagnóstico de la enfermedad del Zika, que de alguna manera brinde apoyo tanto al médico infectólogo como también al paciente,

demostrando que los sistemas expertos aplicados a la medicina son funcionales y confiables al momento de emitir diagnóstico.

Así también, el presente trabajo tiene como aporte teórico incentivar al desarrollo e implementación de nuevos sistemas expertos aplicables en el área de medicina, como en otras áreas, sistemas expertos que sean construidos en beneficio de la humanidad.

1.9 METODOLOGÍA

Los métodos, técnicas y herramientas son utilizadas para alcanzar las metas y objetivos propuestos, Para el desarrollo del presente trabajo se utilizarán:

- Se utilizará el método científico, que servirá de guía para la organización del proceso de investigación aplicando diferentes principios y conceptos que clasifican la teoría práctica, tiene los siguientes pasos: Observación, identificación del problema, hipótesis, experimentación, resultados.
- Para el diseño del sistema experto se utilizará la metodología de Buchanan que tiene como pilar básico la adquisición de conocimiento de distintas fuentes como ser libros, expertos y otros. (MARTINES, 1994). Esta metodología procede a través de una serie de etapas para producir un sistema experto, las cuales son 6 etapas fundamentales que son: Identificación, conceptualización, formalización, implementación, testeo y revisión del prototipo.
- La técnica utilizada en el trabajo es la aplicación de la lógica difusa en la adquisición e interpretación del conocimiento en el diseño del sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika.
- Por último, la herramienta en la cual será programada e implementada el prototipo del sistema experto será en el lenguaje de programación PROLOG en el entorno de desarrollo SWI-Prolog utilizando el editor SWI-Prolog Editor.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se menciona la definición, estructura y funcionamiento de los sistemas expertos, así también una descripción de los sistemas expertos desarrollados, las ventajas, desventajas y las limitaciones que presenta un sistema experto.

Se menciona las distintas etapas o fases que presenta la metodología Buchanan, como ser: Identificación, Conceptualización, Formalización, Implementación, testeo y revisión del prototipo.

Se hace una descripción general de la lógica difusa o borrosa, los conjuntos difusos, la función de pertenencia las variables lingüísticas, la inferencia difusa, las reglas difusas y la implementación difusa.

Se realiza también una explicación de la enfermedad causada por el virus del Zika que factores podrían ser la causa de su origen, los síntomas que presenta, complicaciones de la enfermedad y diagnóstico.

2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial representa un gran volumen de conocimientos y técnicas que han sido desarrolladas por varios investigadores desde finales de la década de 1950, durante este periodo han aparecido numerosas definiciones de la Inteligencia Artificial. Pero ninguna ha sido aceptada de manera general. Algunas de las definiciones de Inteligencia Artificial son:

- La Inteligencia Artificial 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 Inteligencia Artificial busca 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 Martínez, 2004)

Puede decirse que la Inteligencia Artificial es una de las Áreas más fascinantes y con más retos de las ciencias de la computación, en su área de la ciencia cognoscitiva, nació como un estudio filosófico y agnóstico de la inteligencia humana, mezclada con la inquietud del hombre de imitar la naturaleza circundante, hasta inclusive querer imitarse a sí mismo. Sencillamente la Inteligencia Artificial busca el imitar la inteligencia humana obviamente no lo ha logrado todavía o al menos no completamente. (Vasquez, 2010)

El término inteligencia cubre muchas habilidades conocidas, incluyendo la capacidad de solucionar problemas, de aprender y de entender lenguajes; la Inteligencia Artificial dirige todas estas habilidades. La mayoría de los esfuerzos en Inteligencia Artificial se han hecho en el área de solucionar los problemas, los conceptos y los métodos para construir los programas que razonan acerca de los problemas y que luego calculan una solución. Los programas de Inteligencia Artificial que logan la capacidad experta de solucionar problemas aplicando las tareas específicas del conocimiento se llaman Sistemas Basados en Conocimiento o Sistemas Expertos. (Pignani, 2011)

El campo de la inteligencia Artificial engloba y tiene muchas áreas de interés como ser: habla, robótica, visión, lenguaje natural, comprensión, sistema experto, y sistemas artificiales naturales (Giarratano, 1998).

2.3 SISTEMA EXPERTO

Los sistemas expertos son sistemas informáticos que forman parte de la Inteligencia Artificial, estos simulan el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia (Medicina, Economía, Psicología, Finanzas, Derecho y prácticamente todas las ramas del conocimiento). Estas características le permiten almacenar datos y conocimiento, sacar conclusiones lógicas, tomar decisiones, aprender de la experiencia y los datos

existentes, comunicarse con expertos humanos, explicar el porqué de las decisiones tomadas y realizar acciones como consecuencia de todo lo anterior.

Los sistemas expertos son la incorporación en un ordenador de un componente basado en el conocimiento que se obtiene a partir del conocimiento técnico de un experto de tal forma que el sistema pueda ofrecer asesoramiento inteligente en el proceso

Para esto debe tomar en cuenta que la principal característica del experto humano viene a ser el conocimiento o habilidades profundas en ese campo, por consiguiente, un sistema experto debe ser capaz de representar y procesar ese conocimiento profundo con el objetivo de utilizarlo para resolver problemas de manera similar como lo realizaría un especialista.

La estructura y conocimiento básico de un sistema experto consta de: una base del conocimiento que incluye hechos y reglas codificadas apropiadamente (este conocimiento se puede obtener por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en libros, revistas y con personas capacitadas), y una máquina de inferencias, cuyo cometido es el de activar las reglas para que se pueda obtener la solución del problema.

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 han sido objeto de amplias e intensivas investigaciones desde la década de 1950. Las investigaciones referidas comenzaron en las matemáticas para apoyar el razonamiento simbólico. mediante el uso de IPL, el primer lenguaje simbólico orientado al procesamiento de listas. Más tarde surgió LISP, reconocido como lenguaje artificial. (Rolston, 1995)

A través de la historia de los sistemas experto se ve claramente que el éxito de un sistema experto depende casi exclusivamente de la calidad de su base de conocimiento. En la tabla 2.1 se presenta de manera resumida los primeros sistemas expertos y sus aplicaciones.

Tabla 2.1: Primeros Sistemas Expertos

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

Fuente: (Rolston, 1995)

2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos poseen varias ventajas según (Ardila, 2012) son:

- **Permanencia.** A diferencia de un experto humano un sistema experto no envejece, por tanto, no sufre pérdida de facultades con el pasar de los años.
- **Mayor disponibilidad.** La experiencia está disponible para cualquier hardware de computo adecuado, es decir un sistema experto es la producción masiva de experiencia.
- **Duplicación:** Una vez programado un SE lo podemos duplicar infinidad de veces.
- **Rapidez:** Un sistema experto puede obtener información de una base de datos y realizar cálculos numéricos mucho más rápido que cualquier ser humano.
- **Bajo costo:** A pesar de que el costo inicial pueda ser elevado, gracias a la capacidad de duplicación el coste finalmente es bajo.
- **Entornos peligrosos:** Un sistema Experto puede trabajar en entornos peligrosos o dañinos para el ser humano.
- **Fiabilidad:** Los sistemas Expertos no se ven afectados por condiciones externas, un humano sí (cansancio, presión, etc.).
- **Consolidar.** Nos permite conformar una base de conocimiento
- **Respuesta rápida.** Muchas veces en sistema experto puede proporcionar respuestas mar rápidas que la de un especialista.
- **Apoyo Académico.** La Inteligencia Artificial siempre ha recibido un buen apoyo académico

Por otro lado, los sistemas expertos presentan grandes carencias frente a los seres humanos según (Ardila, 2012) estas desventajas son:

- **Sentido común.** Para un sistema experto no hay nada obvio.
- **Lenguaje natural.** Con un experto humano podemos mantener una conversación informal mientras que con un sistema experto no podemos.

- **Capacidad de aprendizaje.** Cualquier persona aprende con relativa facilidad de sus errores y de errores ajenos, que un sistema experto haga esto es muy complicado.
- **Perspectiva global.** Un experto humano es capaz de distinguir cuales son las cuestiones relevantes de un problema y separarlas de cuestiones secundarias.
- **Capacidad sensorial.** Un sistema experto carece de sentidos.
- **Flexibilidad.** Un humano es sumamente flexible a la hora de aceptar datos para la resolución de un problema.
- **Conocimiento no estructurado.** Un sistema experto no es capaz de manejar conocimiento poco estructurado.
- **Experiencia sensorial.** Los sistemas Expertos, en la actualidad, se limitan a recibir información.

2.3.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO

Un sistema experto según (Giarratano, 1998) suele diseñarse para que tenga las siguientes características.

- **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.
- **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.
- **Confiable.** El sistema experto debe ser confiable y no propenso a “caídas”.
- **Comprensible.** El sistema debe ser capaz de explicar los pasos de su razonamiento mientras se ejecutan, de tal modo que sea comprensible.
- **Flexibilidad.** Debido a la gran cantidad de conocimiento que un sistema experto puede tener, es importante contar con un mecanismo eficiente para añadir, modificar y eliminar conocimiento.

2.3.4 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN SISTEMA CLÁSICO

En la tabla 2.2 se muestra la comparación de un sistema experto y un sistema clásico.

Tabla 2.2: Comparación Sistema Experto Vs Sistema Clásico

Sistema Experto	Sistema Clásico
Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento	Conocimiento y procesamiento combinados en un programa
Puede contener errores	No contiene errores
Una parte del sistema experto consiste en el módulo de explicación	No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben
Los cambios en las reglas son fáciles	Los cambios son tediosos
El sistema puede funcionar con pocas reglas	El sistema sólo opera completo
La ejecución usa heurísticas y lógica	Se ejecuta paso a paso
Puede operar con información incompleta	Necesita información completa para operar
Representa y usa conocimiento	Representa y usa datos

Fuente: (De Avila, 2010)

2.3.5 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.

La Figura 2.1 muestra una arquitectura general de cualquier sistema experto con sus componentes típicos.



Figura 2.1: Arquitectura general de un Sistema Experto

Fuente: (Dones, 2005)

Un sistema experto como tal debe estar bien estructurado ya que su trabajo es muy difícil, a continuación, se dan mayores detalles de las partes o componentes principales de un sistema experto.

2.3.5.1 BASE DE CONOCIMIENTO

La Base de conocimiento puede definirse como la unión del conjunto de aserciones y el conjunto de reglas. La base de conocimiento contiene el conocimiento que el sistema experto maneja, es decir una formulación manipulable, del área del conocimiento sobre el cual el sistema es experto. Su construcción es un punto crucial en el desarrollo de sistemas expertos ya que un error en su diseño lleva directamente a su mal funcionamiento, su función es suministrar al motor de inferencia, información sobre la naturaleza del problema a manejar. (Sistemas Expertos, 2014)

2.3.5.2 BASE DE HECHOS

Está formada por distintos datos sobre el problema particular que el sistema experto está intentando resolver, su función es administrar información al motor de inferencia. (Giarratano, 1998)

2.3.5.3 MEMORIA DE TRABAJO

Es una base de datos temporal, en la cual el motor de inferencia deja información deducida a partir de: la base de conocimiento, la base de datos y la memoria de trabajo.

2.3.5.4 MOTOR DE INFERENCIA

Es el sistema de software que ubica los conocimientos e infiere nuevos, usando la base de conocimiento, trabaja de la siguiente manera: el motor de inferencia activa las reglas en función de la información contenida en la base de datos y de memoria de trabajo, la nueva información es puesta en la memoria de trabajo, también se encarga de proporcionar al trazador de aplicaciones, las reglas que motivaron una determinada consulta al usuario.

El paradigma del motor de inferencia es la estrategia de búsqueda que se emplea para producir el conocimiento demandado, varios paradigmas diferentes se emplean en un sistema experto, pero la mayoría de ellos se basan en dos conceptos fundamentales que son:

- Encadenamiento hacia atrás (o retro encadenamiento) que es un proceso de razonamiento descendente, que se inicia a partir de los objetivos deseados y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones pre-requisitos.
- Encadenamiento hacia adelante (o encadenamiento frontal) que es un procesamiento de razonamiento ascendente que se inicia con condiciones conocidas y trabaja hacia adelante para alcanzar los objetivos deseados.

2.3.5.5 TRAZADOR DE CONSULTAS

Organiza y presenta en una forma semántica y sintácticamente aceptable para el usuario, los requerimientos de información del sistema, las respuestas suministradas por el usuario serán asentadas en la Memoria de Trabajo.

2.3.5.6 TRAZADOR DE EXPLICACIONES

El trazador de explicaciones llamado también como modo de explicación, un sistema experto debe diseñarse para brindar la facultad de explicación que generalmente está ausente en los sistemas tradicionales, esta consiste en una identificación de los pasos en el razonamiento y de una justificación de cada uno de ellos. Interpreta requerimientos del usuario sobre el porqué de determinadas preguntas por parte del sistema, trazando la justificación de las mismas, es decir explica al usuario la estrategia de solución encontrada y el porqué de las decisiones tomadas. Esta traza se realiza utilizando información que le suministra el motor de inferencia.

2.3.5.7 EXPERTO HUMANO

La función que cumple es la de ordenar, estructurar y fundamentar su conocimiento, respecto de las preguntas formuladas por el ingeniero del conocimiento, que exige razones

explicando los porqués de las mismas y controla la coherencia del conocimiento en su conjunto, no permitiendo contradicciones en el mismo.

2.3.5.8 ADQUISICIÓN 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. Este módulo permite al ingeniero del conocimiento y/o experto la construcción de la base de conocimiento de una forma sencilla, mas como disponer de una herramienta de ayuda para actualizar la base de conocimiento cuando sea necesario.

2.3.5.9 INGENIERO DEL CONOCIMIENTO

Es la persona que obtiene los conocimientos del área del experto y la transporta a la base de conocimiento.

2.3.5.10 INTERFAZ DEL USUARIO

Es el mecanismo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto

2.3.5.11 USUARIO

El usuario aporta sus deseos e ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el sistema experto.

2.4 METODOLOGÍA BUCHANAN

Esta metodología tiene como pilar básico la adquisición de conocimiento de distintas fuentes, como ser libros, experto, otros. (García Martínez, 2004)

Las etapas que contempla esta metodología y que el ingeniero de conocimiento debe pasar para construir un sistema experto se muestra en la Figura 2.2:

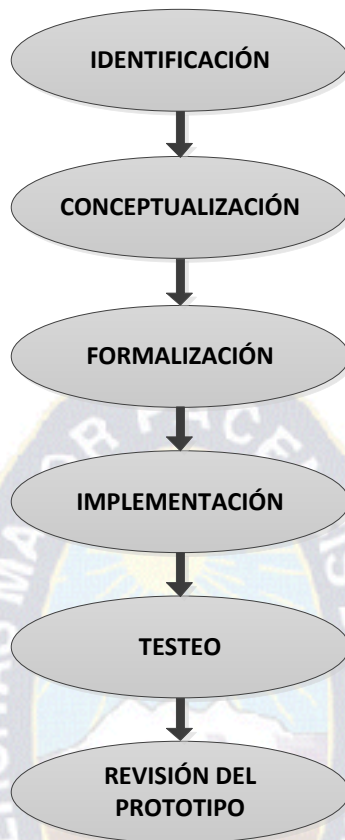


Figura 2.2: Etapas de la metodología Buchanan
Fuente: (Buchanan, 1984)

En la adquisición de conocimiento el ingeniero de conocimiento tiene que cumplir una serie de pasos para producir un sistema experto, la característica más importante de esta metodología es la constante relación entre el ingeniero de conocimiento y el experto humano del área.

2.4.1 IDENTIFICACIÓN

La identificación es familiarizarse con el problema y el dominio. Abarca desde la lectura de libros o artículos, las entrevistas o charlas con las personas familiarizadas con el tema en cuestión y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar en 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 con el experto, para resumir, se realiza lo siguiente:

- Se identifican los participantes y roles, los recursos, fuentes de conocimiento.
- Se establecen las facilidades computacionales y presupuestos.
- Se identifican los objetivos o metas.

2.4.2 CONCEPTUALIZACIÓN

La conceptualización es delimitar el sistema, significa que, por medio de entrevistas con el experto, con el objetivo de identificar y caracterizar el problema informalmente. El experto de campo y el ingeniero de conocimiento define el alcance del sistema experto, es decir, que problemas va a resolver concretamente el sistema experto.

Se analizarán los conceptos infundidos por el experto de campo, los mismos serán tomados en cuenta con sumo interés, pues el experto humano es quien conoce en detalle los fundamentos articulares del tema a investigar.

2.4.3 FORMALIZACIÓN

La formalización es obtener la estructura de inferencia del sistema experto. Con el problema adecuadamente definido el ingeniero de conocimiento empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requiere para realizar cada una de las tareas que va a 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.

El ingeniero de conocimiento debe prestar atención al experto de campo para encontrar la estructura básica que el experto utiliza para resolver el problema. Está formada por una serie de mecanismos organizativos que el experto de campo usa para manejarse en ese

dominio. Esta estructura básica de organización del conocimiento le permite al experto realizar ciertos tipos de inferencias.

El ingeniero de conocimiento además debe reconocer las estrategias básicas que usa el experto cuando desarrolla su tarea, que hechos establece primero, que tipos de preguntas realiza primero, si define supuestos inicialmente sin bases con información tentativa, como determina el experto que pregunta debe usar para refinar sus suposiciones y en que orden el experto prosigue con cada subtarea y si ese orden varía según el caso.

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 en una especificación parcial para construir un prototipo de la base de conocimiento.

2.4.4 IMPLEMENTACIÓN

La implementación es definir el prototipo del sistema experto. El ingeniero de conocimiento debe formalizar el conocimiento obtenido del experto. Esta tarea implica definir que arquitectura permitirá 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 hacia la implementación del prototipo. El ingeniero de conocimiento a medida que se desarrolla el prototipo deberá realizar 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 capturan 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 asociaciones y métodos que: son los usados por el experto y son modelos aceptables de dichos métodos

El ingeniero de conocimiento 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.

2.4.5 TESTEO

El 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 que el sistema experto posea eficiencia.

2.4.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO

Se refina el sistema experto, 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 preguntas:

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

Una vez realizada estas preguntas, se debe buscar a un experto con quien se trabajará y los requerimientos específicos de los usuarios finales. Con la ayuda de estos se debe definir la

forma en la que será construido el sistema y la forma en la que se realiza la tarea mediante conceptos sobre la problemática específica (diseños conceptuales). En cuanto a la adquisición del conocimiento se refiere a como se obtendrá el conocimiento del experto humano, representación del conocimiento se refiere a la formalización como tal de conocimiento adquirido, representando simbólicamente sus características y propiedades por último la programación simbólica se refiere a la implementación del sistema experto, en este caso la implementación del prototipo del sistema experto, se debe elegir la herramienta con la que se realizara la máquina de inferencia y un lenguaje de programación para el interfaz de usuario. (Dones, 2005)

2.5 LÓGICA DIFUSA

La Lógica Difusa fue concebido por Lofti A. Zadeh, profesor de la Universidad de California en Berkeley, quien inconforme con los conjuntos clásicos que solo permiten dos opciones, la pertenencia o no de un elemento a dicho conjunto, la presento como una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a unos conjuntos que en contraposición a los clásicos los denomino Conjuntos Difusos (fuzzy sets).

El concepto de conjunto difuso fue expuesto 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 lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basadas en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.

La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información definida y precisa. Es una lógica que permite valores

intermedios para poder definir evaluaciones entre si/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío, etc.

2.5.1 FUNCIONAMIENTO DE LA LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa se adapta al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo “hace mucho frío”, “no es muy alto” y otros. En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos, en las que se basa esta lógica.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidales, lineales y curvas.

Se basa en reglas heurísticas de la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos.

2.5.2 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 parcial 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.

Este grado de pertenencia se define mediante la función característica asociada al conjunto difuso, que es cada valor que pueda tomar un elemento o variable, es decir, la función característica o de pertenencia denotada por $\mu_A(x)$ 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 puede 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 en 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 2.3.

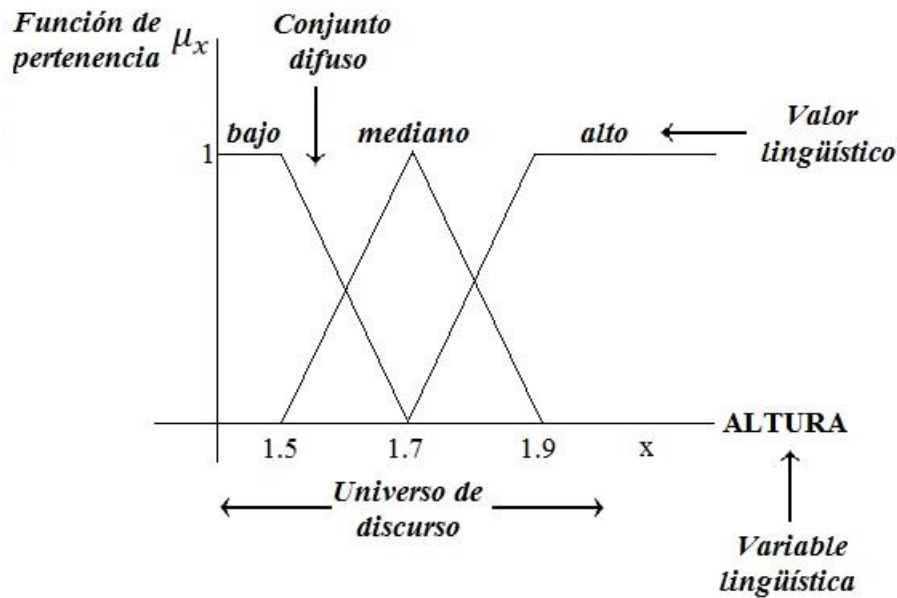


Figura 2.3: Ejemplo de Conjunto Difuso
Fuente: (Pallares, 2011)

2.5.3 FUNCIONES DE PERTENENCIA

Las funciones de pertenencia nos permiten representar gráficamente un conjunto difuso. En el eje “x” (abscisas) se representa el universo en discurso, mientras que en el eje “y” (ordenadas) se sitúan los grados de pertenencia en el intervalo $[0,1]$.

Aun cuando cualquier función puede ser válida para definir un conjunto difuso, existen ciertas funciones que son más utilizadas por su simplicidad matemática, entre estas se encuentran las funciones de tipo triangular, trapezoidal, parabólicas y gaussiana.

La función tipo triangular se puede observar en la Figura 2.4.

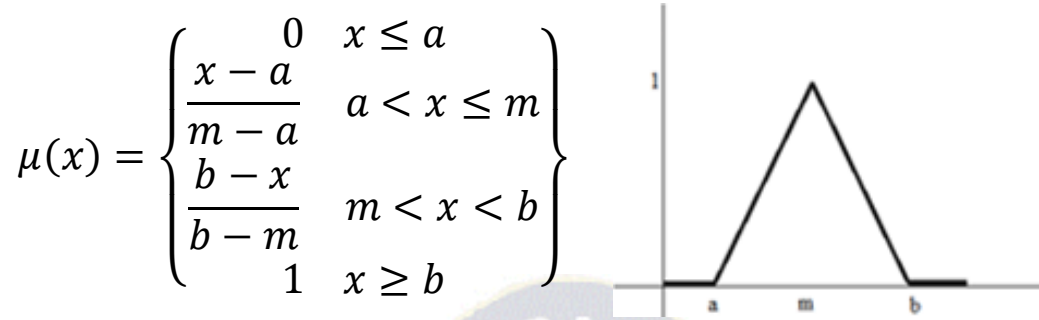


Figura 2.4: Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular

Fuente: (Pallares, 2011)

La función tipo trapezoidal se puede observar en la Figura 2.5.

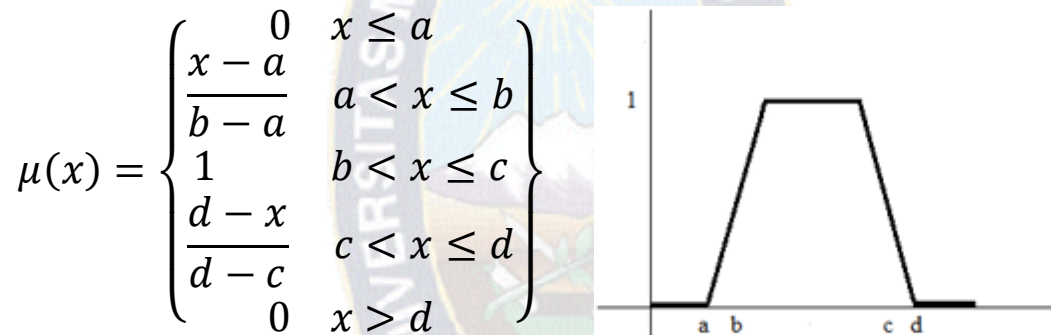


Figura 2.5: Función de pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal

Fuente: (Pallares, 2011)

En general, es preferible usar funciones simples, debido a que simplifican muchos cálculos y no pierden exactitud, debido a que precisamente se está definiendo un concepto difuso.

2.5.4 VARIABLES LINGÜÍSTICAS

En la vida cotidiana se utilizan palabras para describir variables, por ejemplo, cuando se dice “hoy hace calor” es equivalente a decir la temperatura actual es alta, se utiliza la palabra alta, para describir la temperatura actual, es decir, la variable temperatura actual toma la palabra alta como su valor.

Cuando una variable toma números como sus valores, se tiene un marco de trabajo bien formulado matemáticamente, pero cuando una variable toma palabras como sus valores no

se tiene un marco de trabajo formal matemáticamente, de aquí que el concepto de variable lingüística se introduce, si una variable puede tomar palabras en lenguaje natural como sus valores, esta es llamada variable lingüística.

2.6 ETAPAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DIFUSO

Los usos de los sistemas difusos han sido aplicados en una gran variedad de áreas de tales como el control automático, el procesamiento digital de señales las comunicaciones, los sistemas expertos de diagnóstico médico, todo esto motivado por Zadeh y validado por Mamdani, las etapas para el funcionamiento de un sistema difuso son:

2.6.1 FUSIFICACIÓN

La fusificación tiene como objetivo convertir valores crisp o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos. (Passino, 1998)

2.6.2 MECANISMO DE INFERENCIA

Los sistemas difusos son sistemas basados en conocimiento de un experto humano, la parte esencial de un sistema difuso es la interfaz de inferencia, la cual consta de dos módulos que interactúan entre sí: la base de reglas difusas y el mecanismo de inferencia:

2.6.2.1 REGLAS DIFUSAS

Una regla difusa base es un conjunto de reglas SI – ENTONCES que pueden ser expresadas de la siguiente forma:

Regla^m: Si u_1 es A_1^m y u_2 es A_2^m y, ..., u_p es A_p^m

Entonces v es B^m

Con $m = 1, 2, 3, \dots, M$

Donde $A_i^m B^m$ son conjuntos difusos, $u_i \in U$ y $v \in V$.

Existen dos caminos para obtener el conjunto de reglas correspondiente a un conjunto de datos numéricos: dejar que los datos establezcan los conjuntos difusos que aparecen en los antecedentes para luego asociar los datos a esos conjuntos.

Para llegar a obtener el conjunto completo de reglas que modelan un problema se puede partir de considerar todas las combinaciones de reglas P_t , que es posible establecer teóricamente, entre el número de antecedente p y el número de conjuntos difusos de entrada A_p considerados para cada antecedente. Así, para cada consecuente, el número teórico de reglas posibles será:

$$P_t = \prod_n A_n \text{ para } n = 1 \dots p;$$

Sin embargo, entre estas P_t reglas teóricamente posibles para cada consecuente, habrá algunas que no tengan sentido físico y otras que no se ajusten a las características del problema a resolver. Se deberá pues seleccionar, entre todas las reglas posibles, el conjunto de reglas más adecuadas al problema que se considera. (Almeida, 2007)

2.6.2.2 MECANISMO DE INFERENCIA.

El mecanismo de inferencia difusa emplea la información almacenada en la base de reglas difusas para determinar la función de pertenencia de los antecedentes, el grado de activación de las funciones de pertenencia del dominio de entrada, y las reglas generadas en la base de conocimiento.

2.6.3 MÉTODOS DE RAZONAMIENTO DIFUSO

Los métodos de razonamiento difuso se pueden clasificar en:

a) Métodos directos:

- Método directo de Mamdani.
- Modelado difuso de Takagi y Sugeno.
- Método simplificado.

b) Métodos indirectos:

La lógica clásica el razonamiento se basaba en el modus ponens y en el modus tollens, en la lógica difusa el razonamiento se basa en el modus ponens generalizado o modus ponens difuso los cuales se describen a continuación:

2.6.3.1 MÉTODO 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. Las cuales son dos formas de realizar el proceso:

- Inferencia basada en reglas individuales: Se aplica la entrada a la primera regla, a la segunda y así sucesivamente. Y las salidas de las reglas se unen para obtener una única salida.
- Inferencia basada en la composición: Se calcula la relación difusa que representa el significado de toda la base de reglas para así aplicar la entrada a esa relación difusa.

Para evaluar el grado de verdad de las reglas es el min- máx., donde se toman los valores mínimos de verdad de los antecedentes y el valor máximo en los consecuentes.

2.6.3.2 METODO TAKAGI-SUGENO

Donde las reglas son del tipo:

Si x_1 es A_1 y x_2 es A_2 y,, y x_n es A_n entonces $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Normalmente $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n$ entonces el antecedente se procesa igual que el de las reglas tipo Mamdani, para una entrada específica.

2.6.4 DEFUSIFICACIÓN

Después de la inferencia, tendremos una conclusión difusa, una variable lingüística cuyos valores han sido asignados por grados de pertenencia, sin embargo, usualmente

necesitamos un escalar que corresponda a estos grados de pertenencia, ha este proceso se le llama defusificación. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, método promedio máximo, método del promedio ponderado y método de membresía del medio del máximo. (Passino, 1998)

Método promedio máximo: Está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Método promedio máximo} = \frac{x_{max_1} + x_{max_2}}{2}$$

En la Figura 2.6 el máximo grado de membresía abarca desde el valor de $x = 43$ hasta $x = 55$. El promedio es 49, este es el valor de salida de la defusificación por el método del promedio máximo.

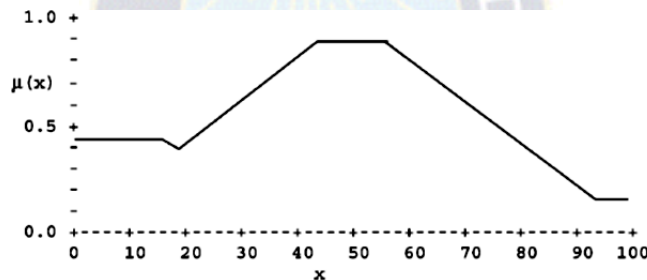


Figura 2.6: Método promedio máximo
Fuente: (Passino, 1998)

Método promedio ponderado: En la Figura 2.6 tenemos dos máximos de $x = 0$ a $x = 15$ con un grado de membresía de $\mu_1 = 0.42$ y el segundo de $x=43$ a $x= 55$ con un grado de membresía de $\mu_2 = 0.88$. Se toma el promedio de los dos máximos, cada uno con su grado de membresía y se suman los productos, y se divide esta suma con la suma de las membresías, para este caso el valor de salida de defusificación sería 35.6 y si tenemos n máximos locales la ecuación general es:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_{max_i} * \mu(x_{max_i}))}{\sum \mu(x_{max_i})}$$

Donde:

- n = número de máximos
- x_{max} = valor de x del máximo
- $\mu(x_{max})$ = es el valor de pertenencia del máximo

Método de centroide: en el cual es determinado el centro de gravedad el conjunto de salida, resultante de la unión de las contribuciones de todas las reglas válidas. El valor de salida es la abscisa del punto del centro de gravedad.

Método de Singleton; derivado del centro de masa, en el cual se obtiene las abscisas de los puntos del centro de gravedad para cada regla válida. El valor de salida es obtenido por la media ponderada, con la relación a los grados de pertenencia de estos valores.

2.7 VIRUS DEL ZIKA

El virus del Zika es un flavivirus transmitido por mosquitos *Aedes aegypti* Figura 2.7 que se identificó por vez primera en macacos (Uganda, 1947), a través de una red de monitoreo de la fiebre amarilla. Posteriormente, en 1952, se identificó en el ser humano en Uganda y la República Unida de Tanzania. Se han registrado brotes de enfermedad por este virus en África, las Américas, Asia y el Pacífico. (Organización mundial de la salud, 2016)

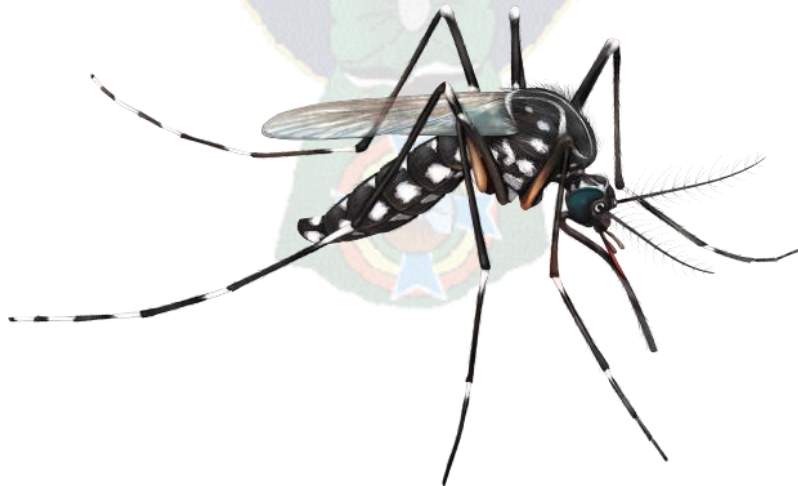


Figura 2.7: Mosquito *Aedes aegypti*

Fuente: (Centro Regional de Profesores del Sur "Clemente Estable", 2016)

Entre los años sesenta y los ochenta se detectaron infecciones humanas en África y Asia, generalmente acompañadas de enfermedad leve. El primer gran brote se registró en la Isla de Yap (Estados Federados de Micronesia) en 2007. En julio de 2015 Brasil notificó una asociación entre la infección por el virus de Zika y el síndrome de Guillain-Barré (Es un problema de salud grave que ocurre cuando el sistema de defensa del cuerpo ataca parte del sistema nervioso por error. Esto lleva a que se presente inflamación de nervios que ocasiona debilidad muscular o parálisis), y en octubre de 2015 una asociación con la microcefalia (malformación neonatal caracterizada por una cabeza de tamaño muy inferior a la de otros niños de la misma edad y sexo. Esto se debe al desarrollo anómalo del cerebro del feto en el útero o durante la infancia). (Ministerio de salud publica de guatemala, 2016)

2.7.1 SÍNTOMAS

“El médico infectólogo Laime indico que los síntomas de la enfermedad por el virus del Zika generalmente aparecen entre dos a siete días”, a continuación, se muestran los síntomas más comunes del Zika. Cabe mencionar, las personas pueden experimentar los síntomas de una forma diferente. Los síntomas pueden incluir:

- Fiebre leve - aumento temporal en la temperatura del cuerpo en respuesta a alguna enfermedad o padecimiento.
- Conjuntivitis sin presencia de pus – que incluye enrojecimiento de ojos.
- Erupciones en la piel – erupción plana, rosa y roja en la piel cubierta de pequeñas protuberancias, puede difundir a través de la cabeza, cuello, tronco, y extremidades, incluyendo palmas y las plantas de los pies.
- Dolor de cabeza
- Debilidad
- Dolor muscular y en las articulaciones
- Edema en los miembros inferiores (hinchazón de las piernas)
- Vómito
- Diarrea

- Dolor abdominal
- Falta de apetito

Los síntomas suelen durar entre dos a diez días. (Adrian Laime Chura, comunicación personal, 23 de julio de 2016)

2.7.2 COMPLICACIONES DE LA ENFERMEDAD

Tras un examen exhaustivo de los datos, se ha llegado a un consenso científico acerca de la relación causal entre el virus de Zika, la microcefalia Figura 2.8, que afecta a bebés recién nacidos y el síndrome de Guillain-Barré figura 2.9 que es un trastorno autoinmune que afecta al sistema nervioso y desemboca en la parálisis progresiva de los músculos del cuerpo. Prosiguen los intensos esfuerzos para investigar de forma rigurosa las relaciones entre este virus y otros trastornos neurológicos. (Organización mundial de la salud, 2016)



Figura 2.8: Bebe con microcefalia
Fuente: (Mundo Asistencial, 2015)

En la figura 2.9 se muestra parálisis de los músculos de la mano a causa del síndrome de Guillain-Barré.



Figura 2.9: Parálisis de los músculos a causa del síndrome de Guillain-Barré
(Arponen, 2015)

2.7.3 TRANSMISIÓN

El virus de Zika se transmite a las personas principalmente a través de la picadura de mosquitos infectados del género Aedes, y sobre todo de Aedes aegypti en las regiones tropicales. Los mosquitos Aedes suelen picar durante el día, sobre todo al amanecer y al anochecer, y son los mismos que transmiten el dengue y la fiebre chikungunya. (Ministerio de salud publica de guatemala, 2016)

Asimismo, es posible contagiarse con la enfermedad mediante el contacto sexual, y se están investigando otros modos de transmisión, como las transfusiones de sangre.

2.7.4 DIAGNÓSTICO

“El médico infectólogo Laime indico que la infección por el virus de Zika puede sospecharse a partir de los síntomas y los antecedentes recientes (por ejemplo, residencia o viaje a una zona donde haya transmisión activa del virus). Sin embargo, para confirmar si

tiene la enfermedad se requiere pruebas de laboratorio en muestras de sangre o de otros líquidos corporales, como la orina, la saliva o el semen”. (Adrian Laime Chura, comunicación personal, 23 de julio de 2016)

2.7.5 TRATAMIENTO

“El médico infectólogo Laime informo que la enfermedad por el virus de Zika no necesita tratamiento específico. Una vez que se ha contraído la enfermedad los pacientes deben estar en reposo, beber líquidos suficientes se pueden tratar los síntomas con analgésicos como paracetamol y acetaminofén medicinas para aliviar la fiebre, los dolores y el malestar general. En la actualidad no hay vacunas, pero se investiga para hallar una. (Adrian Laime Chura, comunicación personal, 23 de julio de 2016)



3. MARCO APLICATIVO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el diseño y construcción del sistema experto propuesto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, es necesario seguir una metodología de construcción, en el presente trabajo se utiliza la metodología Buchanan combinando sus distintas etapas con los elementos principales de un sistema experto con una arquitectura clásica, además se realiza la aplicación de conjuntos difusos para representar algunos conocimientos inciertos.

La construcción de un sistema experto no es una tarea sencilla, debido a que involucra mucha participación de distintas personas, cada una de las cuales aporta para que el sistema experto a desarrollar sea fácil de usar y mantener.

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, además se realiza la arquitectura propuesta del sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika.

Seguidamente en la etapa de conceptualización se realiza la adquisición del conocimiento aplicando técnicas como las entrevistas y consultas a libros, revistas y artículos referentes a la enfermedad del Zika para así obtener las conclusiones y definiciones más relevantes brindados por el experto.

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

pertenencia para aquellas variables lingüísticas que tienen un comportamiento ambiguo o borroso, el diseño del motor de inferencia se realiza 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.

En la penúltima etapa que es testeo, se realiza las respectivas pruebas al sistema experto. 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 durante las cinco etapas de la metodología.

3.2 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

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

3.2.1 IDENTIFICACIÓN

En esta etapa se identifica los participantes y roles; los recursos, fuentes de conocimiento, que establecen la facilidad computacional para el desarrollo del sistema experto.

Ya que el sistema está enfocado al diagnóstico de la enfermedad del Zika se realiza entrevistas con el experto humano, en este caso un especialista infectólogo y otras fuentes como ser libros, revistas, artículos para familiarizarse con el tema, una vez obtenida la información del experto médico y otras fuentes de información relacionados con el campo de la enfermedad del Zika, se define la forma en la que se va a estructurar el sistema experto SEDZI (Sistema Experto para el Diagnóstico de la Enfermedad del Zika)-

Se identifica a los participantes que intervienen, sus roles y las relaciones que existen entre ellos, que se puede observar en la Figura 3.1.

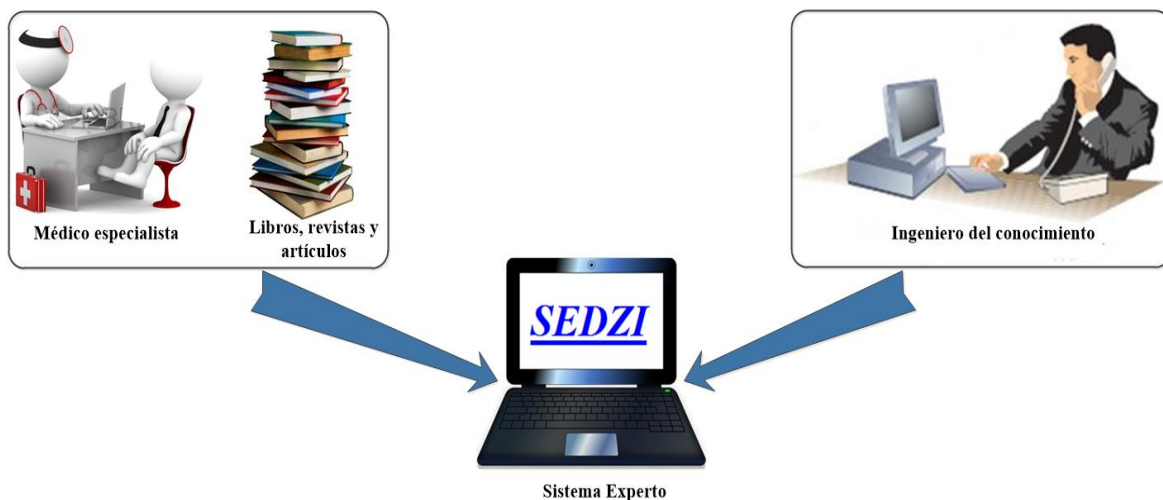


Figura 3.1: Participantes que intervienen en el desarrollo del SEDZI
Fuente: (Elaboración propia)

Para el desarrollo del sistema experto uno de los componentes importantes es el experto médico, que viene a ser el especialista infectólogo que brinda su conocimiento, como también lo será los libros, revistas y artículos referentes a la enfermedad del Zika, otro de los componentes importantes es el ingeniero de conocimiento quien se encarga de estructurar el conocimiento proporcionado por el experto humano, plantea las preguntas a responder por el experto, formaliza el conocimiento y debe implementarlas en la base de conocimientos. El sistema experto es el elemento final que se va construyendo en función del conocimiento adquirido del experto médico y el desarrollo del ingeniero de conocimiento.

El desarrollo de un sistema experto se basa en la construcción de la base de conocimiento (almacenamiento de conocimiento en forma de hechos y reglas.), el diseño del motor de inferencia (inferencia de nuevos conocimientos a partir de conocimientos existentes) y la aplicación de lógica difusa para tratar los datos que en este caso presentan incertidumbre.

En la figura 3.2 se muestra la estructura del sistema experto SEDZI.

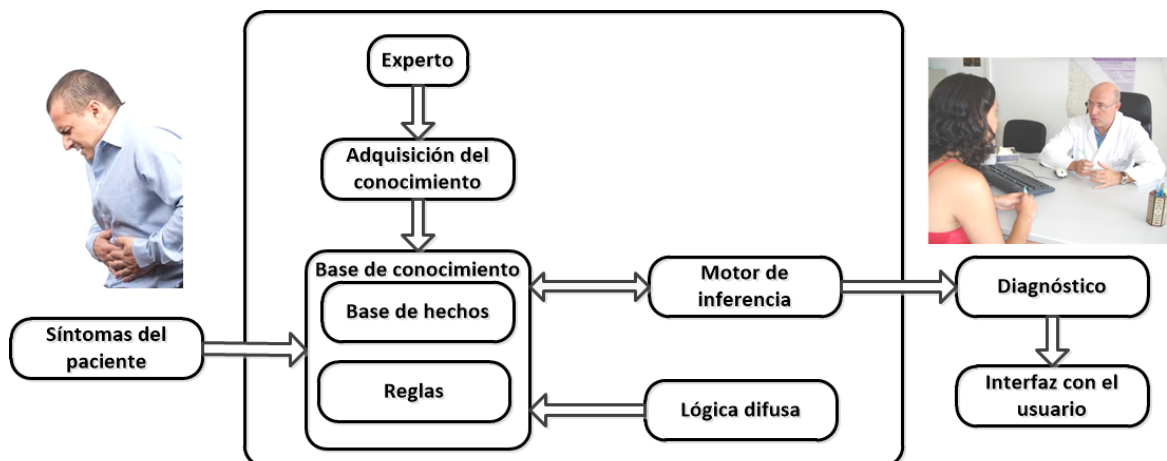


Figura 3.2: Estructura del sistema experto SEDZI

Fuente: (Elaboración propia)

Donde la entrada son los síntomas que presenta el paciente con probabilidad de tener o no la enfermedad del Zika, el conocimiento del médico infectólogo está contenido en la base de conocimiento que debe estar formalizado y estructurado, la representación del conocimiento nos 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, la elaboración de conjuntos difusos para las preguntas que tienen varias respuestas posibles, la lógica clásica se presenta y permite la evaluación de las preguntas hechas al paciente de los síntomas donde la respuesta es si o no ya que no necesitan función de potencia ya que la lógica clásica solo acepta valores de verdad o falsedad. Las salidas son el diagnóstico que es resultado de los datos de entrada, la base de conocimiento y el motor de inferencia. Por último, la interfaz con el usuario permite la comunicación entre el sistema experto y el usuario.

3.2.2 CONCEPTUALIZACIÓN

En esta etapa de acuerdo a la metodología Buchanan se realiza la adquisición del conocimiento, esta tarea es la más complicada para el desarrollo del sistema experto ya que se establece el conocimiento que maneja el experto, como se utiliza, donde los emplea y cuando lo usa.

En esta etapa se analizó los conceptos brindados por el experto humano (medico infectólogo), las conclusiones y observaciones más relevantes son:

- La enfermedad del Zika se transmite a las personas a través de la picadura de mosquitos infectados del género Aedes, y sobre todo de Aedes aegypti en las regiones tropicales. Este mosquito es el mismo que transmite el dengue y la fiebre chikungunya.
- La enfermedad del Zika también puede contagiarse por contacto sexual.
- El virus provoca fiebre leve, erupciones en la piel que tiende a comenzar en el rostro y luego se extiende por todo el cuerpo, conjuntivitis sin presencia de pus, dolor de cabeza, debilidad, dolor muscular y en las articulaciones, conjuntivitis, edema en los miembros inferiores (hinchazón de las piernas).
- También suele presentarse vómitos, diarrea, dolor abdominal y falta de apetito.
- La enfermedad del Zika no se transmite por contacto indirecto (abrazar, hablar estrechar manos) pero se investiga se investiga si se puede transmitir por la saliva o por transfusiones de sangre.
- La mayoría de las personas infectadas no presenta malestares o síntomas en el momento del contagio ya que empiezan a aparecer al cabo de 2 a 7 días.
- Solamente una de cada cuatro personas infectadas por el virus Zika desarrolla la enfermedad Zika. Es decir, un 75-80% de los infectados no llegan a ser conscientes de la infección al no desarrollar síntomas.
- 20-25% de las personas no desarrolla la enfermedad por el virus del Zika.
- En varios lugares de nuestro país especialmente lugares alejados no se cuenta con la adecuada instalación médica.

Se llegó a determinar con el especialista en esta área que el sistema experto se limita a dar un diagnóstico. Para la determinación del diagnóstico se tomó en cuenta los siguientes síntomas de la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Síntomas de la persona infectada

N°	Síntoma
1	Fiebre leve
2	Conjuntivitis sin presencia de pus
3	Erupciones en la piel
4	Dolor de cabeza
5	Debilidad
6	Dolor muscular y en las articulaciones
7	Edema en los miembros inferiores (hinchazón de las piernas)
8	Vomito
9	Diarrea
10	Dolor abdominal
11	Falta de apetito

Fuente: (Elaboración propia)

Otros exámenes para confirmar el diagnóstico son:

- Prueba de laboratorio en muestra de sangre.
- Prueba de laboratorio de otros líquidos corporales, como la orina, la saliva o el semen.

3.2.3 FORMALIZACIÓN

Una vez realizada la conceptualización del conocimiento, el siguiente paso es expresar el mencionado conocimiento en una manera formal. Esta etapa tiene como objetivo expresar los conocimientos sobre el problema y su resolución en estructuras que puedan ser utilizadas por una computadora.

Los sistemas de producción son una de las técnicas de formalización, esta técnica es la más utilizada para expresar formalmente los conocimientos de un dominio. La arquitectura de un sistema de producción está formada por tres elementos que son: Base de Hechos, Base de Reglas o producciones las cuales forman la base de conocimiento y una estrategia de control.

3.2.3.1 BASE DE CONOCIMIENTO

La base de conocimiento, contiene todos los hechos y las reglas del dominio de aplicación que son importantes para la solución del problema, en esta parte tendremos de manera informal los relatos de síntomas de una persona con la enfermedad del Zika.

a) Componentes de la base de conocimiento

La base de conocimiento es una base de datos que posee una información, se refiere a afirmaciones de validez general, tales como reglas específicas sobre una materia o un tema determinado. Para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, el infectólogo, los síntomas, las enfermedades y las relaciones entre ellos, forman parte del conocimiento.

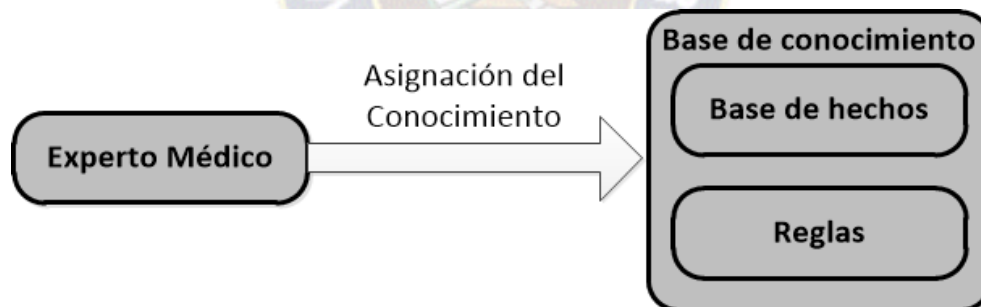


Figura 3.3: Componentes de la Base del Conocimiento SEDZI

Fuente: (Elaboración propia)

b) Variables de la base del conocimiento.

Las variables de entrada identificadas para el sistema experto son todos los síntomas, posibles causas, estas variables representan el conjunto de síntomas propio de la

enfermedad del Zika, para luego ser procesadas mediante la inferencia para dar un resultado que en este caso viene a ser el diagnóstico oportuno de la enfermedad del Zika.

En la tabla 3.2 se muestra la descripción de variables:

Tabla 3.2: Descripción de variables de posibles causas y síntomas de la enfermedad del Zika

N°	Variable	Descripción	Rango/Valor lingüístico
1	FL	Fiebre leve	SI, NO
2	CP	Conjuntivitis sin presencia de pus	SI, NO
3	EP	Erupciones en la piel	Nada (0 - 3)
			Poco (2 - 6)
			Mucho (5 - 10)
4	DC	Dolor de cabeza	SI, NO
5	DE	Debilidad	SI, NO
6	DM	Dolor muscular	SI, NO
7	DA	Dolor en las articulaciones	Nada (0 - 3)
			Poco (2 - 6)
			Mucho (5 - 10)
8	EI	Edema en los miembros inferiores (hinchazón de las piernas),	SI, NO
9	VO	Vomito	SI, NO
10	DI	Diarrea	SI, NO
11	DAL	Dolor abdominal	Nada (0 - 3)
			Poco (2 - 6)
			Mucho (5 - 10)
12	FA	Falta de apetito	SI, NO

13	CC	Vive o visito lugar de clima cálido	SI, NO
----	----	-------------------------------------	--------

Fuente: (Elaboración propia)

c) Proceso de fusificación de las variables lingüísticas

En las variables de entrada existen ciertas variables que se consideran como imprecisas, es decir necesitan un tratamiento especial con lógica difusa. En esto se encuentran los criterios de clasificación.

Cada variable representa un conjunto difuso con una escala de 0 – 10, y cada conjunto tiene tres subconjuntos difusos los cuales 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 funciones de pertenencia para cada una de las variables lingüísticas difusas.

i) Erupciones en la piel.- Erupciones que salen en la cabeza en el tronco o brazos.

El conjunto difuso se muestra en la figura 3.3.

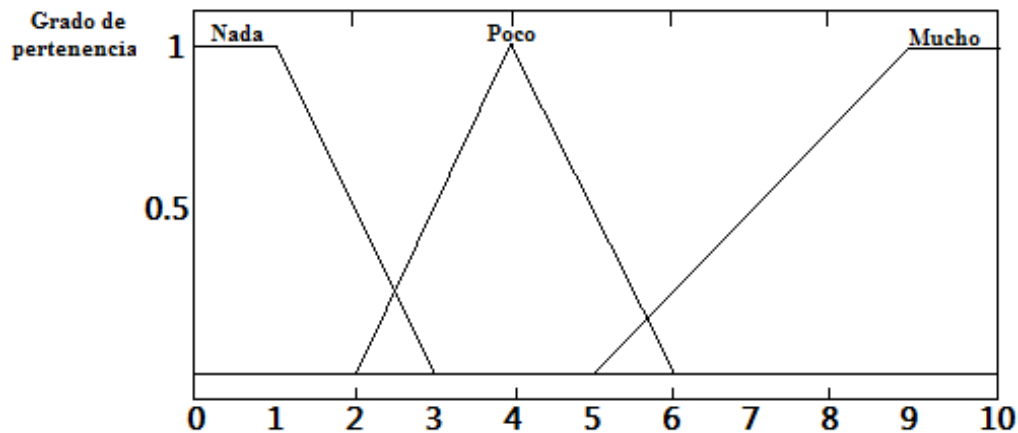


Figura 3.4: Conjunto difuso de erupciones en la piel

Fuente: (Elaboración propia)

La función de pertenencia se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Función de pertenencia de la variable erupciones en la piel

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

Fuente: (Elaboración propia)

ii) **Dolor en las articulaciones.** - Dolor constante en las articulaciones (tobillo, codo, rodillas).

El conjunto difuso del dolor de articulaciones se muestra en la figura 3.4.

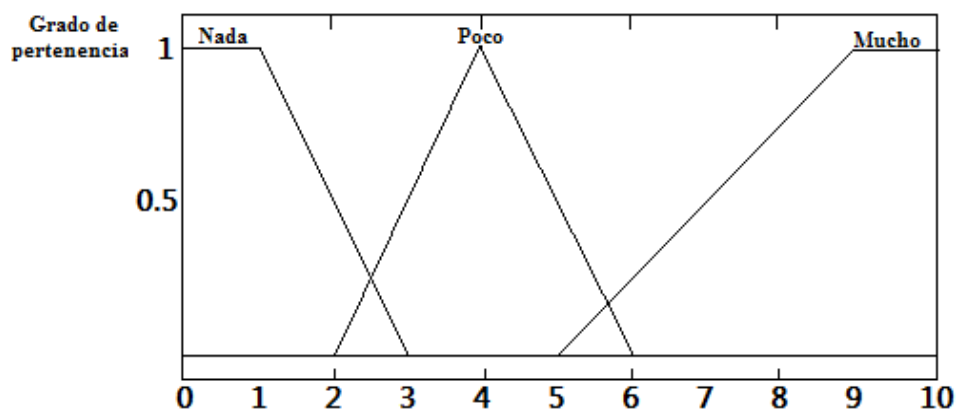


Figura 3.5: Conjunto difuso para del dolor de articulaciones

Fuente: (Elaboración propia)

La función de pertenencia se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.4: Función de pertenencia de la variable dolor de articulaciones

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

Fuente: (Elaboración propia)

iii) **Dolor abdominal.-** Dolor constante en la zona abdominal.

El conjunto difuso del dolor abdominal se muestra en la figura 3.4.

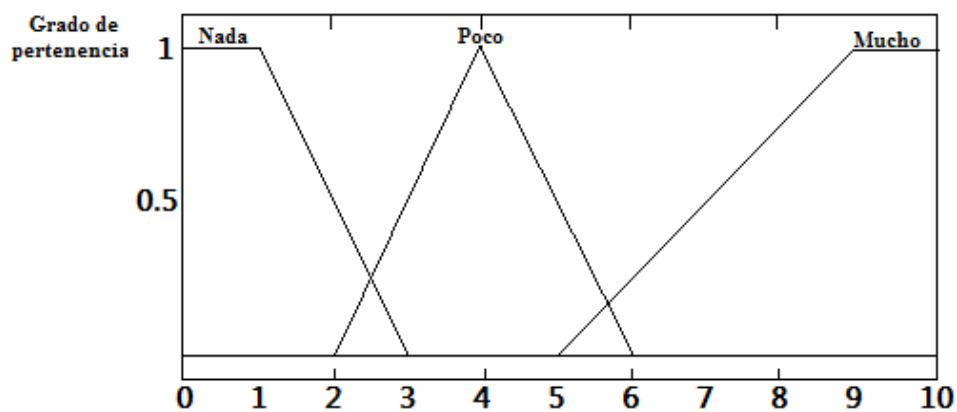


Figura 3.6: Conjunto difuso del dolor abdominal

Fuente: (Elaboración propia)

La función de pertenencia se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.5: Función de pertenencia de la variable dolor abdominal

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

Fuente: (Elaboración propia)

d) Base de hechos

En la base de hechos se almacenan los propios datos correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del sistema experto. La base de hechos dispone únicamente de los datos propios de la enfermedad.

La base de hechos está constituida por el conocimiento concreto, a la cual está constituido por los síntomas particulares que el paciente presenta. De acuerdo al análisis de algunos casos clínicos particulares se puede identificar los siguientes hechos:

Hecho 1: El paciente vive en un lugar de clima cálido.

Hecho 2: El paciente presenta fiebre leve.

Hecho 3: El paciente presenta conjuntivitis.

Hecho 4: El paciente presenta erupciones en la piel.

Hecho 5: El paciente presenta dolor de cabeza.

Hecho 6: El paciente presenta debilidad.

Hecho 7: El paciente presenta dolor muscular.

Hecho 8: El paciente presenta dolor en articulaciones.

Hecho 9: El paciente presenta edema en los miembros inferiores (hinchazón de las piernas).

Hecho 10: El paciente presenta vomito.

Hecho 11: El paciente presenta diarrea.

Hecho 12: El paciente presenta dolor abdominal

Hecho 13: El paciente presenta falta de apetito

e) Base de reglas

El método Mamdani utiliza reglas tipo si-entonces (if-else). Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y la conclusión.

Para poder incluir todo el conocimiento obtenido, en la base de conocimiento hacemos uso de las reglas. A partir de las reglas realizamos su encadenamiento relacionando dos o más premisas que infieran y puedan presentar las conclusiones, en nuestro caso las premisas son los síntomas que presenta el paciente y las conclusiones hacen referencia al diagnóstico sobre la hernia de disco lumbar.

La base de reglas es la forma más extendida de representar el conocimiento representa la forma de razonar, tiene la siguiente forma:

Si < condición > entonces < acción/conclusión >

Las reglas nos permitirán el representar el conocimiento del experto (infectólogo), constituido por los síntomas particulares que presenta cada paciente

Las reglas de producción son una de las formas de representar el conocimiento a continuación se presentan algunas reglas formadas por distintas variaciones del árbol de decisiones que se puede ver en la sección anexo, los árboles de decisión se usan porque son más precisos que el hombre para poder desarrollar un diagnóstico, en este caso un

diagnostico a la enfermedad del Zika. Ya que el experto humano puede dejar pasar sin querer un detalle, en cambio la maquina mediante un sistema experto con un árbol de decisión puede dar un resultado exacto.

i) REGLA 1

SI CC= “Si” AND FL= “Si” CP= “Si” AND EP= “Mucho” AND DC= “si” AND DE= “Si” AND DM= “Si” AND DA= “Mucho” AND EI= “Si” AND VO= “Si” AND DI= “Si” AND DAL= “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

ii) REGLA 2

SI CC= “Si” AND FL= “Si” AND CP= “Si” AND EP= “Poco” AND DC= “Si” AND DE= “Si” AND DM= “Si” AND DA= “Poco” AND EI= “Si” AND VO= “Si” AND DI= “No” AND DAL= “Poco” AND FA= “No” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

iii) REGLA 3

SI CC= “Si” AND FL= “Si” CP= “Si” AND EP= “Poco” AND DC= “Si” AND DE= “Si” AND DM= “Si” AND DA= “Poco” AND EI= “si” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Poco” AND FA= “No” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

iv) REGLA 4

SI CC= “Si” AND FL= “Si” CP= “Si” AND EP= “Mucho” AND DC= “Si” AND DE= “No” AND DM= “Si” AND DA= “Mucho” AND EI= “Si” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Mucho” AND FA= “No” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

v) REGLA 5

SI CC= “Si” AND FL= “Si” CP= “Si” AND EP= “Poco” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “Si” AND DA= “Mucho” AND EI= “Si” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

vi) REGLA 6

SI CC= “Si” AND FL= “Si” CP= “si” AND EP= “Mucho” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “Si” AND DA= “Mucho” AND EI= “No” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “Presenta la enfermedad del Zika”.

vii) REGLA 7

SI CC= “No” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “Si” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

viii) REGLA 8

SI CC= “Si” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

ix) REGLA 9

SI CC= “Si” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “No” AND DI= “No” AND DAL= “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

x) REGLA 10

SI CC= “Si” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “No” AND DAL= “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xi) REGLA 11

SI CC= “Si” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “Si” AND DAL= “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xii) REGLA 12

SI CC= “No” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “No” AND DAL = “Nada” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xiii) REGLA 13

SI CC= “No” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “No” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “Si” AND DAL = “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xiv) REGLA 14

SI CC= “Si” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “Si” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “Si” AND DAL = “Mucho” AND FA= “Si” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xv) REGLA 15

SI CC= “No” AND FL= “No” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “Si” AND DE= “No” AND DM= “Si” AND DA= “Mucho” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “No” AND DAL = “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

xvi) REGLA 16

SI CC= “No” AND FL= “Si” CP= “No” AND EP= “Nada” AND DC= “Si” AND DE= “No” AND DM= “No” AND DA= “Nada” AND EI= “No” AND VO= “Si” AND DI= “No” AND DAL = “Nada” AND FA= “No” **ENTONCES** “No presenta la enfermedad del Zika”.

f) Mecanismo de inferencia

El mecanismo de inferencia difusa (llamado también el motor de inferencia) emplea la información contenida en la base de conocimientos para llevar a cabo dicho proceso.

En un modelo difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas está dados por expresiones lingüísticas.

Tomando de esta forma los niveles de pertenencia provenientes de la defusificación y apoyando en la base de reglas generando la salida difusa

g) Defusificación

El resultado final del sistema difuso es la determinación de un valor de salidas real lo cual es usada cuando se desea convertir la salida en un valor puntual numérico.

Para realizar la defusificación del conjunto de salida temporal se usa el Método de Singleton en el cual consiste en calcular un promedio de los centrados de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos utilizados, para luego ser evaluado en la función de salida de enfermedad del Zika lo cual implica defusificar el dato difuso para tener un resultado real.

Para explicar más detalladamente la defusificación de los términos que presentan ambigüedad se toma el siguiente ejemplo:

Persona de 21 años presenta conjuntivitis, fiebre leve, dolor musculares y dolor en las articulaciones, recientemente visito un lugar de clima cálido.

Se toma los síntomas inciertos que son: erupciones en la piel, dolor en las articulaciones y dolor abdominal, donde estos síntomas son tratados con lógica difusa.

Tomando de esta forma los niveles de pertenencia provenientes de la defusificación y apoyando en la base de reglas generando la salida difusa

i) Erupciones en la piel

Se toma un valor de 5 para la ubicación de la variable erupciones en la piel que está dentro del rango de pertenencia del conjunto difuso.

$$\text{Mucho}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{si } x < 5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{mucho}}(8) = \frac{8-5}{8-5}$$

$$\mu_{\text{mucho}}(8) = \frac{3}{3} = 1$$

ii) Dolor de articulaciones

Se toma un valor de 5 para la ubicación de la variable dolor de articulaciones que está dentro del rango de pertenencia del conjunto difuso.

$$\text{Poco}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{si } 2 < x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{si } 4 < x < 6 \\ 0 & \text{si } x \geq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{poco}}(5) = \frac{6-5}{6-4}$$

$$\mu_{\text{poco}}(5) = \frac{1}{2} = 0.5$$

iii) Dolor abdominal

Se toma un valor de 4 para la ubicación de la variable dolor abdominal que está dentro del rango de pertenencia del conjunto difuso.

$$\text{Poco}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{si } 2 < x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{si } 4 < x < 6 \\ 0 & \text{si } x \geq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{poco}}(4) = \frac{4-2}{4-2}$$

$$\mu_{\text{poco}}(4) = 1$$

Para realizar la defusificación usamos el método de Singleton y se reemplaza los valores obtenidos:

$$x = \frac{\text{erupciones en la piel} * \mu_{\text{mucho}} + \text{dolor de articulaciones} * \mu_{\text{poco}} + \text{dolor abdominal} * \mu_{\text{poco}}}{\mu_{\text{mucho}} + \mu_{\text{poco}} + \mu_{\text{poco}}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$x = \frac{8(1) + 5(0.5) + 4(1)}{1 + 0.5 + 1}$$

$$x = \frac{8 + 2.5 + 4}{2.5}$$

$$x = \frac{14,5}{2.5}$$

$$x = 5.8 \cong 6$$

Por lo tanto, se concluye que tomando solo estos datos el valor de certeza de que el paciente tenga la enfermedad del Zika es de 60%.

3.2.4 IMPLEMENTACIÓN

Para realizar la demostración del modelo del sistema experto “S.E.D.Z.I” 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 utilizando, 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 ya que caso contrario el prototipo puede dar un diagnóstico erróneo.

En la figura 3.7 se muestra el entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor.

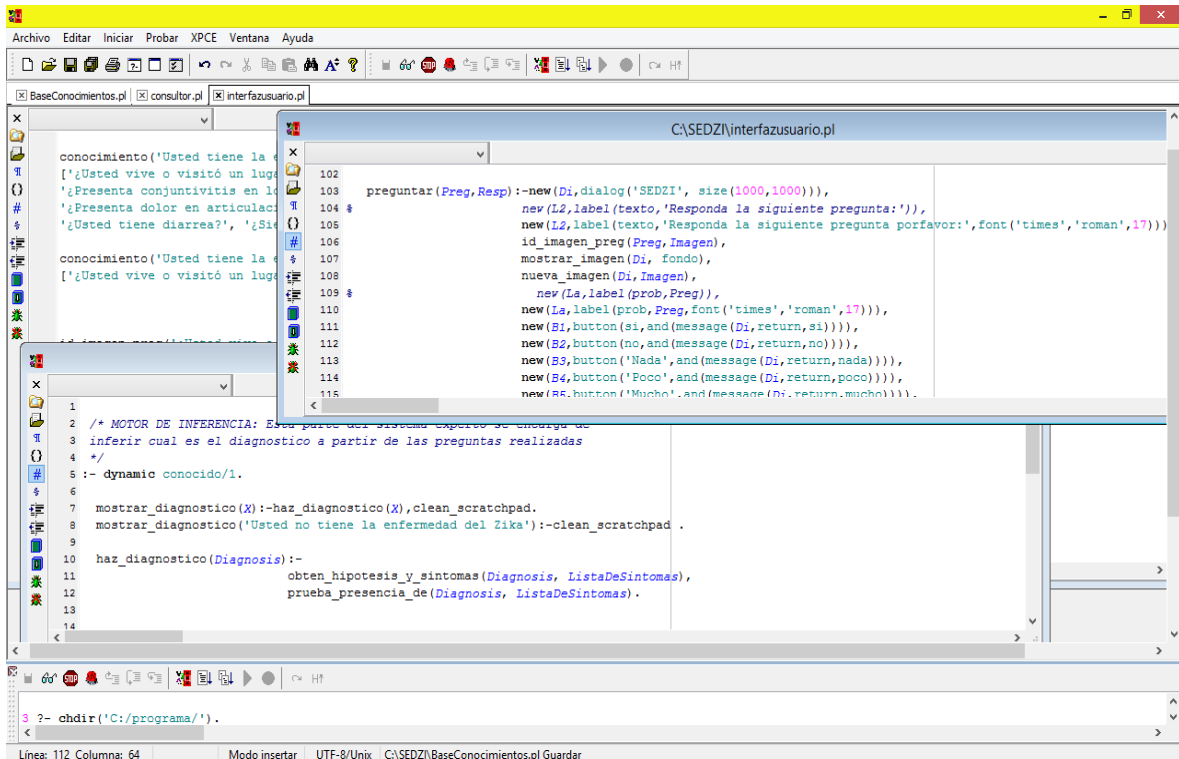


Figura 3.7: Entorno de desarrollo de SWI-Prolog Editor

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 SEDZI, demostrando como se introducen los datos de entrada, la secuencia de preguntas para determinar el diagnóstico de la enfermedad del Zika para finalizar se muestra el resultado del diagnóstico final de si un paciente presenta o no la enfermedad del Zika.

Se usa un ejemplo para realizar la respectiva prueba del sistema experto de diagnóstico de la enfermedad del Zika.

Ejemplo: Se toma como demostración los síntomas de un paciente, un hombre de 23 años de edad que visito un lugar de clima cálido (Santa Cruz), que presenta los síntomas 3 días, se inicia ingresando al sistema experto que se muestra en la figura 3.8.

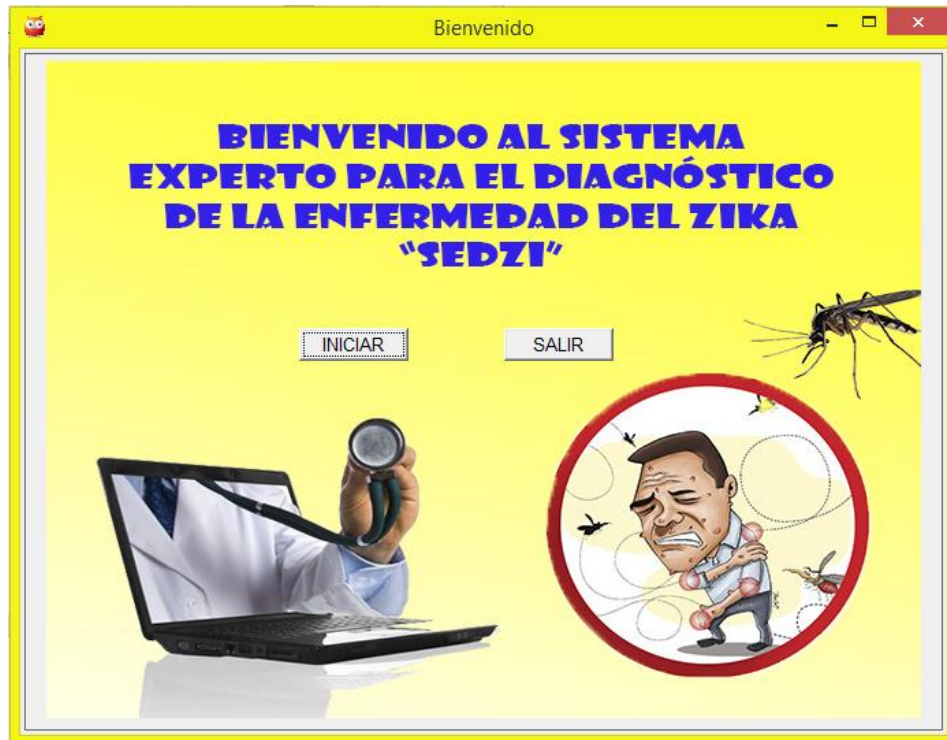


Figura 3.8: Pantalla de bienvenida al sistema experto SEDZI
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente pantalla figura 3.9 es para el inicio de la consulta.

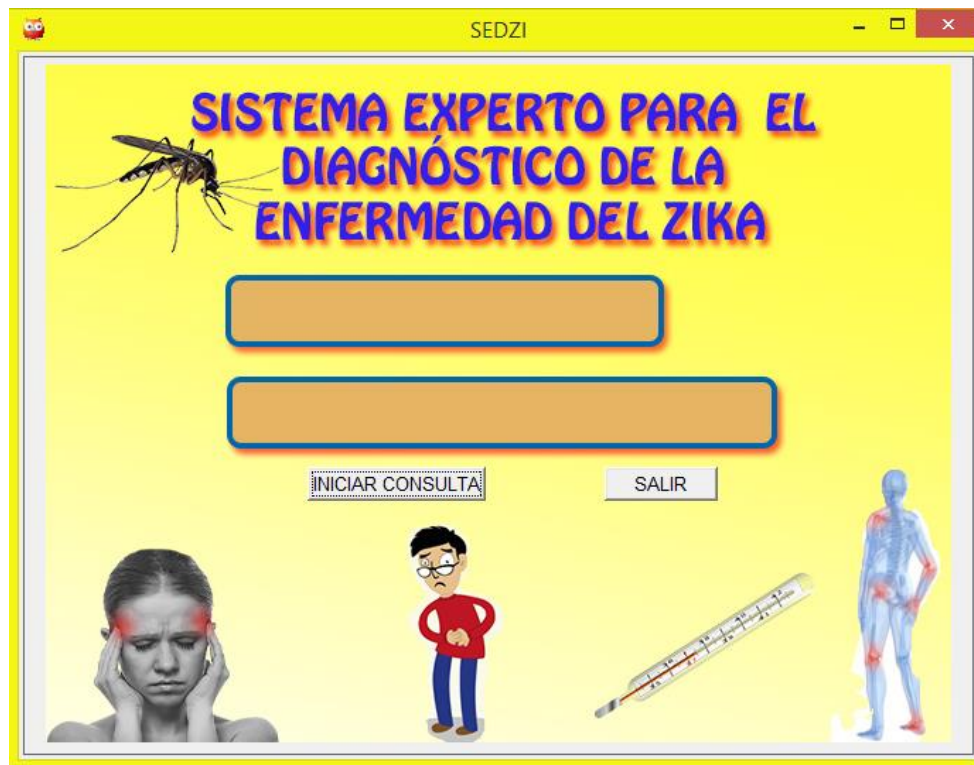


Figura 3.9: Pantalla para el inicio de consulta

Fuente: (Elaboración propia)

En las siguientes figuras el prototipo del sistema experto realiza determinadas preguntas para poder determinar el diagnóstico del paciente y verificar si tiene o no la enfermedad del Zika.

Inmediatamente después de iniciar consulta aparece la ventana figura 3.10 con la primera consulta, el paciente responde si.



Figura 3.10: Lugar de clima cálido

Fuente: (Elaboración propia)

La próxima consulta figura 3.11 es si tiene fiebre leve, el paciente responde si.



Figura 3.11: Fiebre leve

Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.12 es si tiene conjuntivitis, el paciente responde si.



Figura 3.12: Conjuntivitis
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.13 es si tiene dolor de cabeza, el paciente responde no.

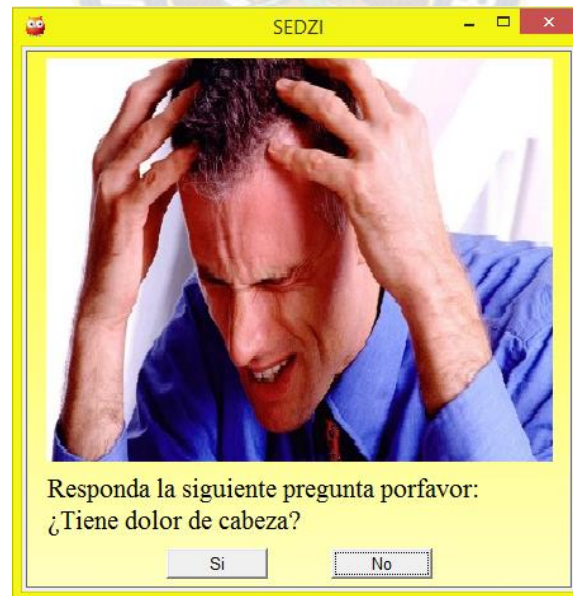


Figura 3.13: Dolor de cabeza
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.14 es si siente debilidad, el paciente responde si.

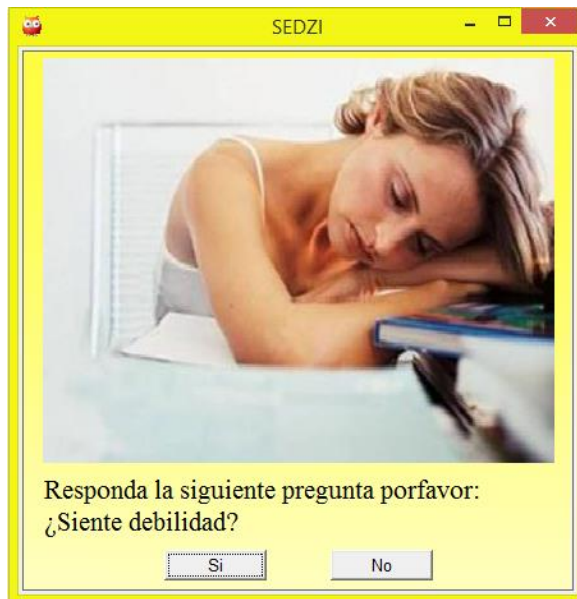


Figura 3.14: Debilidad
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.15 es si siente dolor muscular, el paciente responde si.



Figura 3.15: Dolor muscular
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.16 es si presenta hinchazón en las piernas, el paciente responde si.



Figura 3.16: Hinchazón en las piernas

Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.17 es si tiene vómitos, el paciente responde no.



Figura 3.17: Vómitos

Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.18 es si tiene diarrea, el paciente responde si.



Figura 3.18: Diarrea
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.19 es si tiene falta de apetito, el paciente responde si.



Figura 3.19: Falta de apetito
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.20 es si tiene erupciones en la piel, el paciente responde mucho.



Figura 3.20: Erupciones en la piel
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.21 es si presenta dolor en articulaciones, el paciente responde poco.



Figura 3.21: Dolor en articulaciones
Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente consulta figura 3.22 es si siente dolor abdominal, el paciente responde mucho.



Figura 3.22: Dolor abdominal

Fuente: (Elaboración propia)

La siguiente pantalla figura 3.23 muestra el diagnóstico en este caso el paciente presenta la enfermedad del Zika.



Figura 3.23: Diagnóstico de la enfermedad del Zika

Fuente: (Elaboración propia)

Una vez que se obtuvo el diagnóstico, aparece el botón “ACERCA DE” que contiene información de la enfermedad del Zika que se muestra en la figura 3.24.

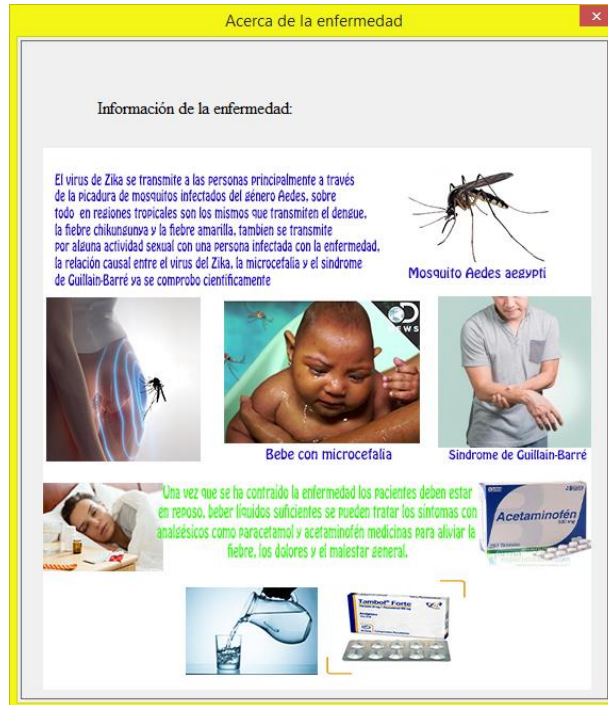


Figura 3.24: Información de la enfermedad del Zika
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.6 REVISIÓN DEL PROTOTIPO

La 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 SEDZI para así obtener un resultado confiable y un diagnóstico eficiente.

4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS

En este capítulo se realizará la evaluación respectiva de la hipótesis planteada del presente trabajo que diagnóstica si un paciente tiene o no la enfermedad del Zika.

La hipótesis planteada es:

Hi. El sistema experto aplicando lógica difusa permite diagnosticar la enfermedad del Zika a pacientes con una confiabilidad del 90%.

Donde con la operacionalización de variables se identificó la variable independiente, variable dependiente y la interviniente las cuales son:

- **Variable independiente:** Sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika.
- **Variable dependiente:** El diagnóstico de la enfermedad del Zika 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), etc.

H_0 : La muestra es aleatoria.

H_1 : La muestra no es aleatoria.

En general, sea una muestra de tamaño n en la aparecieron n_1 elemento 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:

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

Esperanza:

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

Varianza:

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

Como siguiente paso 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:

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

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 $N(0,1)$, entonces:

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

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 y la de investigación

H_0 : El sistema experto aplicando lógica difusa permite diagnosticar la enfermedad del Zika a pacientes con una confiabilidad del 10%.

H_1 : El sistema experto aplicando lógica difusa permite diagnosticar la enfermedad del Zika a pacientes con una confiabilidad del 90%.

Paso 2: Selección del nivel de confianza.

El nivel de confianza o significancia que se elige para 10% es:

$$1 - \alpha = 0.1$$

$$\alpha = 1 - 0.1$$

$$\alpha = 0.9$$

Paso 3: Identificación del estadístico de prueba.

En 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.

Para la prueba se toman 13 casos de diagnóstico de la enfermedad del Zika, realizando la comparación del diagnóstico entre el medico infectólogo y el sistema experto, se muestra los resultados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Comparación de diagnóstico del médico y el sistema experto

Nro. Caso	Edad	Diagnóstico medico	Diagnóstico Sistema experto "SEDZI"	Aceptación por rachas
1	23 años	Presenta enfermedad del Zika	No presenta enfermedad del Zika	-
2	12 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
3	20 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
4	19 años	Presenta enfermedad del Zika	No presenta enfermedad del Zika	-
5	28 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
6	34 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
7	22 años	No presenta enfermedad del Zika	No presenta enfermedad del Zika	-
8	15 años	No presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	-
9	17 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
10	21 años	Presenta enfermedad del Zika	No presenta enfermedad del Zika	-
11	17 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
12	25 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+
13	10 años	Presenta enfermedad del Zika	Presenta enfermedad del Zika	+

Fuente: (Elaboración propia)

Se tiene los siguientes resultados:

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

Donde:

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

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

Total de Rachas expuestas: $R_{\text{exp}} = 8$

Número total de observaciones: $N = 13$

Numero de residuos positivos: $n_1 = 8$

Numero de residuos negativos: $n_2 = 5$

Reemplazando los datos para calcular la Esperanza se tiene

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

$$E[R] = \frac{2 * 8 * 5}{8 + 5} + 1$$

$$E[R] = \frac{80}{13} + 1$$

$$E[R] = 6.15 + 1$$

$$E[R] = 7.15$$

Reemplazando los datos para calcular la Varianza se tiene

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

$$\text{Var}[R] = \frac{2 * 8 * 5(2 * 8 * 5 - 8 - 5)}{(8 + 5)^2(8 + 5 - 1)}$$

$$\text{Var}[R] = \frac{80(67)}{169(12)}$$

$$\text{Var}[R] = \frac{5360}{2028}$$

$$\text{Var}[R] = 2.64$$

Paso 5: Toma de decisión

Reemplazando los datos para hallar el valor del estadístico Z_{exp} se tiene:

$$Z_{\text{exp}} = \frac{R - E[R]}{\sqrt{\text{Var}[R]}} + 1$$

$$Z_{\text{exp}} = \frac{8 - 7.15}{\sqrt{2.64}} + 1$$

$$Z_{\text{exp}} = \frac{0.85}{1.62} + 1$$

$$Z_{\text{exp}} = 0.52 + 1$$

$$Z_{\text{exp}} = 1.52$$

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

Tabla 4.2: Calculo de región de aceptación de la hipótesis

$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$	
$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$ $1 - P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$ $P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 1 - \frac{\alpha}{2}$ $P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 1 - \frac{0.9}{2}$ $P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 1 - 0.45$ $P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 0.55$ <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">$Z_{\alpha/2} = 0.12$</div>	$P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$ $P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{0.9}{2}$ $P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = 0.45$ <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">$Z_{\alpha/2} = 0.12$</div>

Fuente: (Elaboración propia)

Por 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 $Z_{\text{exp}} = 1.52$ 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 H_1 : El sistema experto aplicando lógica difusa permite diagnosticar la enfermedad del Zika a pacientes con una confiabilidad del 90%.

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

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El sistema experto desarrollado mejora el diagnóstico de la enfermedad del Zika en la especialidad de infectología 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.

5.1.1 ESTADO DE LOS OBJETIVOS

El objetivo específico descrito en 1.4.2 menciona: Obtener el conocimiento del experto humano empleando entrevistas con el experto médico infectólogo. Para este objetivo se tuvo entrevistas con el medico infectólogo Adrian Laime Chura que brindo información muy útil de la experiencia y conocimiento adquirido acerca de la enfermedad del Zika.

El segundo objetivo específico: Diseñar la base de conocimientos y reflejar la experiencia del médico infectólogo en el diagnóstico de la enfermedad del Zika usando lógica difusa. 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 tercer objetivo: Reducir la demora de espera de los pacientes hacia el médico infectólogo. Al desarrollar el prototipo del sistema experto se puede concluir que este

ayudara al incremento de la atención en las consultas médicas ya que el diagnóstico se hace en menor tiempo con la ayuda del SEDZI.

El cuarto objetivo: Obtener diagnósticos precisos para cada uno de los pacientes evaluados. Se comprobó realizando pruebas de diagnóstico tanto con el sistema experto como con el médico infectólogo comparando resultados.

El último objetivo: Diseñar y programar el prototipo del sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika aplicando la metodología Buchanan. Este objetivo fue desarrollado en el capítulo 3 donde se siguieron todas las etapas de la metodología Buchanan que son: Identificación, conceptualización, formalización, implementación, testeo y revisión del prototipo.

Por consiguiente, el objetivo general: Desarrollar un sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, que sea útil para el médico infectólogo al momento de emitir el diagnóstico. El cual ha sido alcanzado mediante su modelado teórico y mediante la elaboración del prototipo.

5.1.2 ESTADO DE LA HIPÓTESIS

Con la demostración de la prueba de hipótesis por medio de contraste de rachas de Wald – Wolfowitz que se realiza en el capítulo 4 podemos concluir que como el valor del estadístico cae fuera de la región de aceptación de la hipótesis nula entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación y se puede afirmar que el sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad del Zika, utilizando lógica difusa permite brindar un diagnóstico confiable del 90%.

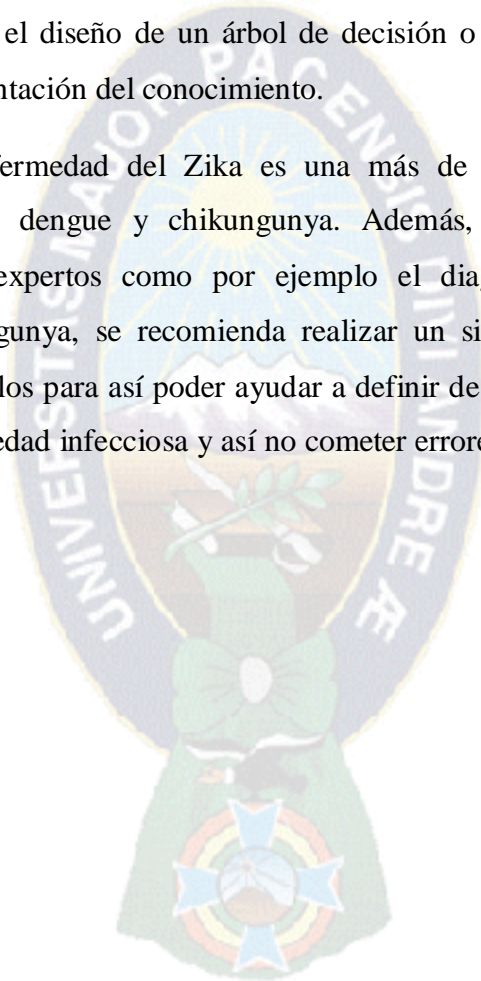
5.2 RECOMENDACIONES

Se podría ampliar la respuesta del sistema experto, se recomienda en un futuro con el avance de la ciencia ya que actualmente no hay un medicamento que cure esta enfermedad se considere también el tratamiento como ser en la dosificación de fármacos y el tiempo de suministro que requiere el paciente,

El sistema experto propuesto no realiza la interpretación de los exámenes de laboratorio, los cuales son importantes para el diagnóstico y control de la enfermedad del Zika, 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 las redes bayesianas para el diseño de un árbol de decisión o usar redes neuronales para realizar una mejor representación del conocimiento.

Considerando que la enfermedad del Zika es una más de las diversas enfermedades infecciosas, como ser el dengue y chikungunya. Además, viendo que existen otras propuestas de sistemas expertos como por ejemplo el diagnóstico del dengue y el diagnóstico de la chikungunya, se recomienda realizar un sistema experto uniendo los conocimientos de todos ellos para así poder ayudar a definir de una manera más específica a diagnosticar una enfermedad infecciosa y así no cometer errores de confundir síntomas.



BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, E. E. (2007). *Desarrollo e implementación de la interfaz gráfica del usuario y su integración con el paquete “motor de inferencia difuso” del prototipo sistema experto para la polución del aire (SEXDP)*. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería De Sistemas e Informática.
- Ardila, L. M. (15 de Noviembre de 2012). *uniquindioia*. Obtenido de <http://uniquindioia.blogspot.com/2012/11/sistemas-expertos.html>
- Arponen. (Enero de 2016). *webconsultas*. Obtenido de <https://www.webconsultas.com/salud-al-dia/virus-zika/sintomas-de-la-infeccion-por-el-virus-zika>
- Buchanan, B. G. (1984). *Sistemas Expertos: Los experimentos MYCIN del Proyecto de Programación de Stanford heurístico*. New York: Addison-Wesley,.
- ccm. (febrero de 2016). *ccm*. Obtenido de <http://salud.ccm.net/faq/24133-mosquito-tigre-y-virus-zika-transmision-sintomas-y-prevencion>
- Centro Regional de Profesores del Sur "Clemente Estable". (29 de Febrero de 2016). *Centro Regional de Profesores del Sur "Clemente Estable"*. Obtenido de <http://www.cerpsur.org/news/conferencia-dzch/>
- De Avila, J. R. (1 de octubre de 2010). *geocities*. Obtenido de http://www.geocities.ws/hectorcaraucan/Foro_SIG_SE/SE_11.htm
- Depto. Computación Universidad Los Andes. (2003). *Edumatica*. Obtenido de <http://edumatica.ing.ula.ve/Politeca/Eduteca/Eduweb/Mentor/Edum%Eltica/JornadasEdumatica/XIIIJornadas/edu219/felixedu219/historia.htm>

- Dones, J. Á. (febrero de 2005). *Sistema Experto para el Diagnóstico de Trastornos Depresivos*. Obtenido de <http://docplayer.es/14611354-Sistema-experto-para-el-diagnostico-de-trastornos-depresivos.html>
- García Martínez, R. y. (2004). *Ingeniería de Sistemas Expertos*. Mexico: Editorial Nueva Librería.
- Giarratano, J. d. (1998). *Expert System: Principle and Programming* (3 ed.). Boston: PWS Publishing Company.
- Ministerio de salud publica de guatemala. (2016). Obtenido de <http://www.mspas.gob.gt/index.php/en/que-es-zika.html>
- Mundo Asistencial. (19 de Octubre de 2015). *Mundo Asistencial*. Obtenido de <http://mundoasistencial.com/microcefalia/>
- Organizacion mundial de la salud. (Julio de 2016). *Organizacion mundial de la salud*.
- Pallares, J. S. (12 de Noviembre de 2011). *Universidad La Salle Ramon Llull*. Obtenido de <http://users.salleurl.edu/~se04184/P2Definitions.html>
- Passino, K. M. (1998). *Fuzzy Control*. California: Addison-Wesley.
- Pignani, J. (10 de Octubre de 2011). *Orientación I: Informática aplicada a la Ingeniería de Procesos* 1. Obtenido de <https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/.../5.../pignani-sistemasexpertos.pdf>
- Rolston, D. W. (1995). *Principios de Inteligencia artificial y sistemas expertos*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Sistemas Expertos. (8 de Diciembre de 2014). *Sistemas Expertos*. Obtenido de <http://sistexpertosdip.blogspot.com/2014/12/introduccion-que-son-los-sistemas.html>
- Vasquez, S. (15 de agosto de 2010). *Tecnología en informática*. Obtenido de <https://solvasquez.wordpress.com/2010/08/15/inteligencia-artificial/>

GLOSARIO

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

Sistema experto: Se puede entender como una rama de la inteligencia artificial, donde el poder de resolución de un problema en un programa de computadora viene del conocimiento de un dominio específico, 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: En el ámbito de la informática son programas, aplicaciones o simplemente 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

Zika: Esta enfermedad es causada por un virus transmitido principalmente por mosquitos del género *Aedes aegypti*, la enfermedad es peligrosa ya que puede presentar microcefalia a los bebés de mujeres gestantes.

Articulación: Una articulación es la unión entre dos o más huesos, un hueso y cartílago o un hueso y los dientes.

Músculo: Un músculo es un tejido blando que se encuentra en la mayoría de los animales. Generan movimiento al contraerse o extendiéndose al relajarse.

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.

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: En medicina un diagnóstico, está relacionado 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.

