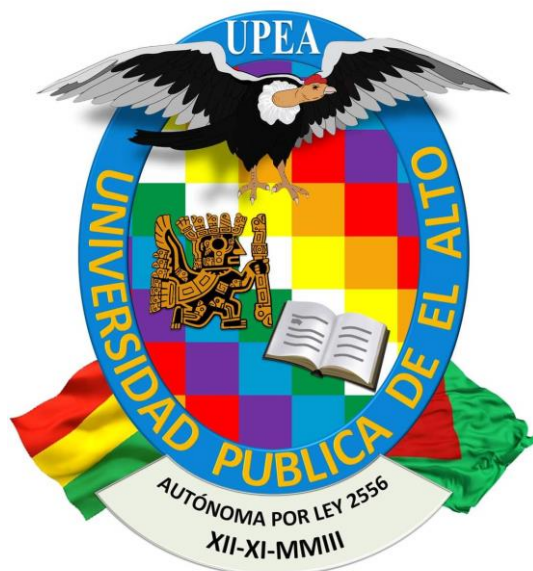


# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

## CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS



### TESIS DE GRADO

#### “SISTEMA EXPERTO CON BASE EN LÓGICA DIFUSA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DISTIMIA”

Para Optar al Título de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas  
MENCIÓN: Informática y Comunicaciones

Postulante: Elizabeth Zulma Mamani Choque

Tutor Metodológico: Ing. Marisol Arguedas Balladares

Tutor Revisor: Ing. Freddy Felix Medina Miranda

Tutor Especialista: P.PHD.-PHD.M.SC. Ing. Gimmy Nardó Sanjinés Tudela

EL ALTO – BOLIVIA

2020

## **DEDICATORIA**

*A mis amados padres, Magdalena Choque Rocha y Porfirio Mamani Tarqui, por haberme inculcado valores y guiar mi camino siempre con amor, paciencia y confianza en mis capacidades.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto, por haberme acogido durante los últimos años para mi formación profesional.*

*A mis tutores por brindar su conocimiento como guía, su apoyo y su valioso tiempo para la revisión de este trabajo de investigación.*

*Al Lic. Heberth Mita, y al Lic. Fermín Mamani, por su colaboración como expertos en el área de psicología, para la realización del trabajo de investigación.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO PRELIMINAR .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.2.1. Antecedentes Internacionales .....	2
1.2.2. Antecedentes Nacionales .....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1. Problema Principal.....	4
1.3.2. Problemas Secundarios.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos .....	5
1.5. HIPOTESIS.....	6
1.5.1. Identificación de variables .....	6
1.5.2. Operacionalización de variables.....	7
1.6. JUSTIFICACIONES.....	8
1.6.1. Justificación Técnica.....	8
1.6.2. Justificación Económica .....	8
1.6.3. Justificación Social .....	8
1.6.4. Justificación Científica .....	9
1.7. METODOLOGIA .....	9
1.7.1. Método Científico.....	9
1.7.2. Metodología Buchanan.....	9
1.8. HERAMIENTAS.....	10
1.8.1. Python .....	10
1.8.2. HTML.....	10
1.8.3. CSS .....	10
1.9. LIMITES Y ALCANCES .....	11
1.9.1. Límites .....	11
1.9.2. Alcances .....	11
1.10. APORTES.....	12
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>13</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1. TRASTORNOS DEPRESIVOS.....	13
2.2. TRASTORNO DEPRESIVO PERSISTENTE (DISTIMIA).....	14
2.2.1. Características clínicas de la distimia .....	15
2.2.2. Síntomas .....	15
2.3. JUVENTUD.....	16

2.3.1.	Jóvenes de 20 a 26 años.....	16
2.3.2.	Distimia en jóvenes de 20 a 26 años de edad .....	18
2.4.	DIAGNÓSTICO.....	19
2.4.1.	Diagnóstico médico .....	19
2.4.2.	Diagnóstico psicológico .....	20
2.4.3.	Tipos de diagnóstico psicológico .....	20
2.4.4.	Diagnóstico de Distimia .....	21
2.5.	SISTEMA EXPERTO.....	30
2.5.1.	Tipos de Sistemas Expertos .....	30
2.5.2.	Arquitectura de un Sistema Experto .....	32
2.5.3.	Requerimientos para un Sistema Experto .....	35
2.6.	LÓGICA DIFUSA.....	37
2.6.1.	Conjuntos difusos .....	37
2.6.2.	Función de Pertenencia o membresía .....	39
2.6.3.	Operaciones de Conjuntos Difusos .....	44
2.6.4.	Variable Lingüística .....	45
2.6.5.	Métodos para el cálculo de función de pertenencia.....	46
2.6.6.	Reglas difusas .....	48
2.6.7.	Inferencia Difusa.....	48
2.6.8.	Inferencia de Mamdani .....	49
2.7.	METODOLOGÍA BUCHANAN .....	51
2.7.1.	Ciclo de vida .....	51
2.7.2.	Identificación.....	52
2.7.3.	Conceptualización .....	53
2.7.4.	Formalización .....	53
2.7.5.	Implementación .....	53
2.7.6.	Testeo o prueba.....	54
2.8.	HERRAMIENTAS .....	54
2.8.1.	Python .....	54
2.8.2.	Flask .....	55
2.8.3.	HTML.....	55
2.8.4.	CSS .....	56
2.9.	PRUEBAS DE CAJA NEGRA.....	56
2.10.	CALIDAD DEL SOFTWARE .....	57
2.10.1.	Framework para la mejora de la calidad .....	57
2.11.	COSTOS.....	63
2.11.1.	Método de puntos de función .....	63
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>68</b>
<b>3. MARCO APLICATIVO.....</b>		<b>68</b>
3.1.	Desarrollo del prototipo del Sistema Experto .....	68

3.1.1.	Identificación.....	68
3.1.2.	Conceptualización .....	69
3.1.3.	Formalización .....	73
3.1.4.	Implementación .....	84
3.1.5.	Testeo o prueba.....	88
3.2.	Framework para la mejora de la calidad .....	94
3.3.	Evaluación de costos .....	96
3.3.1.	Método de Puntos de función .....	96
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>99</b>
<b>4. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....</b>		<b>99</b>
4.1.	Formulación de la hipótesis .....	99
4.2.	Nivel de significancia .....	99
4.3.	Estimación de la muestra.....	100
4.4.	Prueba de bondad de ajuste de chi-cuadrado .....	102
4.5.	Valor crítico.....	103
4.6.	Decisión .....	103
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>104</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>104</b>
5.1.	Conclusiones .....	104
5.2.	Recomendaciones .....	105
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>106</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>113</b>
<b>APÉNDICE.....</b>		<b>129</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	7
Tabla 2. Comparación entre sistemas basados en reglas y sistemas basados en probabilidad. ....	31
Tabla 3. Actividades del Framework y niveles de calidad .....	58
Tabla 4. Nivel de complejidad para los ILF y EIF .....	64
Tabla 5. Nivel de complejidad para EI, EO, EQ .....	65
Tabla 6. Cuenta total de puntos de función.....	65
Tabla 7. Factores de complejidad .....	66
Tabla 8. Variables de entrada .....	73
Tabla 9. Variable de salida.....	75
Tabla 10. Variables resultantes de los subsistemas difusos .....	76
Tabla 11. Funciones de pertenencia de la variable Conducta Motora .....	78
Tabla 12. Funciones de pertenencia de la variable Alteración del Apetito .....	79
Tabla 13. Funciones de pertenencia de la variable Autoestima .....	80
Tabla 14. Requerimientos para el prototipo del Sistema Experto .....	84
Tabla 15. Casos de diagnóstico de distimia.....	89
Tabla 16. Escenario del caso de uso: Ingresar al sistema .....	93
Tabla 17. Escenario 1 para el caso de uso: Realizar test .....	93
Tabla 18. Escenario 2 para el caso de uso: Realizar test .....	94
Tabla 19. Caso de prueba para el escenario del caso de uso Ver diagnóstico.....	94
Tabla 20. Aplicación del Framework para la mejora de la calidad en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia .....	95
Tabla 21. Cálculo de los Puntos de función sin ajuste .....	96
Tabla 22. Cálculo del valor de ajuste GTI .....	97
Tabla 23. Valores de esfuerzo .....	98
Tabla 24. Muestra, diagnóstico de Distimia .....	101
Tabla 25. Tabla de contingencia Chi-cuadrado.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un Sistema Experto .....	32
Figura 2. Comparación de la lógica difusa y la lógica clásica .....	38
Figura 3. Eje de coordenadas .....	40
Figura 4. Función triangular .....	41
Figura 5. Función trapezoidal.....	41
Figura 6. Función sigmoideal .....	42
Figura 7. Función Gamma .....	43
Figura 8. Función Gaussiana .....	44
Figura 9. Descripción gráfica de operaciones con conjuntos difusos .....	44
Figura 10. Variable lingüística "velocidad" .....	46
Figura 11. Comparación de recorte a) y escalado b) de un conjunto difuso .....	50
Figura 12. Ejemplo de reglas difusas en un sistema Mamdani .....	51
Figura 13. Tabla de Mamdani .....	51
Figura 14. Modelo de ciclo de vida propuesto por Buchanan.....	52
Figura 15. El problema de no ser diagnosticado. ....	68
Figura 16. Participantes y sus roles en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto .....	69
Figura 17. Esquema general del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia. ....	70
Figura 18. Esquema general del prototipo del Sistema experto para el diagnóstico de Distimia Fuente: <i>Elaboración propia</i> .....	72
Figura 19. Cálculo de funciones de pertenencia de la variable Conducta Motora .....	77
Figura 20. Gráfica de las funciones de pertenencia de la Variable Conducta Motora .....	78
Figura 21. Gráfica de Funciones de pertenencia de la variable Alteración del Apetito .....	80
Figura 22. Gráfica de Funciones de pertenencia de la variable Autoestima .....	81
Figura 23. Página de inicio del prototipo del Sistema Experto .....	85
Figura 24. Enlace al test del prototipo del Sistema Experto .....	86
Figura 25. Test de distimia, para el prototipo del Sistema Experto .....	86
Figura 26. Botón de "diagnóstico" en el test del prototipo del Sistema Experto.....	87
Figura 27. Diagnóstico de distimia, de acuerdo a los datos introducidos a través del test .....	88
Figura 28. Caso de Distimia Grave .....	90
Figura 29. Caso con resultado: Ningún síntoma de depresión.....	91
Figura 30. Caso de Distimia Moderada.....	91
Figura 31. Caso de Distimia Leve .....	92
Figura 32. Caso de otro tipo de depresión.....	92



# CAPÍTULO I

## 1. MARCO PRELIMINAR

En este capítulo se establece de forma sintetizada, las condiciones en las cuales se basa el desarrollo del presente trabajo, detallando los problemas y objetivos, alcances y justificaciones para el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Durante la última década, las tecnologías han ido formando parte del cotidiano vivir, con la Inteligencia Artificial se han llegado a automatizar varios procesos, facilitando las actividades complejas que requieren análisis y pronta toma de decisiones. Los Sistemas Expertos son software que emula el razonamiento de un experto humano, resuelven problemas en base al conocimiento específico proporcionado por el especialista en el campo a implementar; siendo áreas de aplicación: medicina, psicología, ingeniería, derecho, actividades militares, realizando diagnósticos, predicciones, etc. La aplicación de la Inteligencia Artificial a través de los Sistemas Expertos (varios basados en lógica difusa para tratar la imprecisión), ha logrado en reiteradas ocasiones mejorar la calidad de vida a partir de la realización de diagnósticos oportunos de enfermedades que en un futuro podrían agravarse.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la depresión es la principal causa de problemas de salud y discapacidad en todo el mundo, se estima que más de 300 millones de personas viven con depresión en el planeta. En Bolivia, el Sistema Nacional de Información en Salud - Vigilancia Epidemiológica (SNIS-VE), reporta una gran cantidad de casos de depresión durante los últimos años; por otro lado, existen muchas personas que no se atienden ni buscan ayuda profesional para afrontar su malestar; la distimia, (llamada también trastorno depresivo persistente), es una trastorno que tiene síntomas mas leves y duraderos que la depresión, razón

por la que se suele asimilar los síntomas como algo propio de la persona que los padece, lo cual dificulta su diagnóstico, que de no ser tratado pronto puede agravarse, además que la comorbilidad<sup>1</sup> con enfermedades y trastornos como la ansiedad y la depresión mayor puede causar la muerte por suicidio; la falta de conocimiento e identificación de los síntomas del trastorno depresivo persistente, el miedo a ser estigmatizados, la situación económica, la falta de tiempo, además del escaso apoyo a las personas con trastornos mentales en nuestro medio, impide que muchos jóvenes de edades entre los 20 a 26 años principalmente, sean diagnosticados de manera oportuna, puesto que la distimia, al ser diagnosticada a tiempo, puede llevar un tratamiento que alivie los síntomas asociados a la enfermedad logrando así una vida saludable y productiva.

El trabajo de investigación, propone un Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, con el fin de ofrecer un diagnóstico de distimia confiable para disminuir los casos que no son diagnosticados, además de promover la consulta y el tratamiento del trastorno depresivo persistente.

La investigación tiene base en el método científico, adoptando la metodología Buchanan para el desarrollo del Sistema Experto en el lenguaje de programación Python 3.8, con ayuda del framework *Flask* (para el desarrollo web), HTML y CSS para el desarrollo de plantillas.

## **1.2. ANTECEDENTES**

Durante los últimos años se han realizado trabajos de afines a la presente investigación.

### **1.2.1. Antecedentes Internacionales**

- Cupioc F. y Peña B. (2018) en su trabajo de grado titulado: “Sistema Experto Médico para Mejorar el Diagnóstico de Pacientes con Depresión del CSM Santa Lucia de Moche, Año 2018”, desarrollan un Sistema Experto médico web que mejora el diagnóstico de pacientes con depresión en el Centro de Salud Materno Santa Lucia de Moche, para ello se utiliza la metodología de

---

<sup>1</sup> **Comorbilidad:** Coexistencia de dos o más trastornos y/o enfermedades en una misma persona.

desarrollo ICONIX, desarrollado con PHP con el framework laravel; Trujillo – Perú, Universidad César Vallejo.

- Cruz G. V. y Sánchez L. A. (2015), en su artículo científico titulado: “Un sistema experto difuso en la Web para diagnóstico de diabetes”, propone un Sistema Experto Difuso para diagnóstico de diabetes mellitus usando la librería jFuzzyLogic, para la inferencia difusa y el API de Java para Servicios Web XML (JAX-WS); cuyo desarrollo es mediante técnicas de Ingeniería del Conocimiento; Puebla – México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

### **1.2.2. Antecedentes Nacionales**

- Nogales C. D. (2015), cuya tesis de grado: “Sistema experto para el diagnóstico de la depresión de un geronte basado en lógica difusa”, consiste en el desarrollo de un Sistema Experto con base en la lógica difusa, bajo el método científico, a través de la metodología Buchanan con el lenguaje de programación prolog en SWI prolog, para el desarrollo del prototipo, cuyo diagnóstico ofrece distintos tipos de depresión en gerontes con una confiabilidad del 95% es probada con el estadístico T-student; La Paz, Universidad Mayor de San Andrés.
- Nina H. G. (2009), que en su tesis de grado titulada: “Sistema experto para el diagnóstico de la depresión” desarrolla el prototipo de un Sistema Experto (SEDEP) cuyo motor de inferencia usa lógica difusa para realizar el diagnóstico del tipo de depresión (leve, moderada, severa), el trabajo investigativo se desarrolla bajo el método científico, con el desarrollo del prototipo siguiendo la Metodología para el desarrollo del Sistema Experto, con clips como lenguaje de programación, obteniendo un nivel de confiabilidad mayor al 85% evaluado con el estadístico Chi cuadrado; La Paz, Universidad Mayor de San Andrés.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Dentro de una sociedad desinformada que suele estigmatizar a aquel que recibe algún tratamiento psicológico, si un joven padece síntomas de trastornos depresivos, es poco probable que éste busque la evaluación de un profesional en el área, en muchos casos, ni se sospecha de sufrir un trastorno como la distimia (trastorno depresivo persistente), que por sus características (síntomas leves y crónicos), es difícil identificarla sin el conocimiento adecuado; a causa de lo anteriormente expuesto, es que muchos de estos casos no son diagnosticados, siendo que estos, tras un diagnóstico oportuno, pueden ser tratados, evitando así agravar los síntomas.

La distimia, llamada también Trastorno depresivo persistente, es un tipo de depresión con síntomas leves que perduran en el tiempo. De acuerdo con los datos que proporciona la Organización Mundial de la Salud (2020), son más de 300 millones de personas que padecen algún tipo de depresión en el mundo, la Organización Panamericana de la Salud (2012) indica que la distimia ocupa el tercer lugar entre los trastornos mentales en América Latina, durante la última década, los casos de depresión han ido en aumento, en Bolivia el Sistema Nacional de Información en Salud-Vigilancia Epidemiológica (SNIS-VE) reporta que alrededor de 5000 casos se reportaron en el departamento de La Paz el 2015 (como se puede apreciar en el anuario SNIS-VE, 2012 - 2015), sin embargo, cerca del 65% de los casos reportados no fueron atendidos.

#### **1.3.1. Problema Principal**

La población alteña en general, especialmente, los jóvenes de 20 a 26 años de edad que tienen síntomas asociados a la distimia son renuentes a someterse a una evaluación psicológica realizada por un profesional, por ello, no son diagnosticados, arriesgando su estado mental, a razón del empeoramiento de éste con el tiempo, y la coexistencia con otras enfermedades y trastornos que pueden llevar al suicidio si no son tratados de manera oportuna y adecuada.

### **1.3.2. Problemas Secundarios**

- La falta de información disponible y ordenada relacionada con los trastornos mentales, en especial el trastorno depresivo persistente (distimia), que dificulta su identificación.
- El miedo a ser estigmatizados, la situación económica y/o la falta de tiempo, impiden que los jóvenes que padecen síntomas de distimia asistan a una consulta psicológica con un experto que los diagnostique.
- Diagnóstico errado, que contribuye al rechazo a la consulta psicológica con un profesional debido a la pérdida de la confiabilidad de la evaluación de éste.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Construir el prototipo de un Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, a fin de que se obtenga un diagnóstico de distimia confiable que pueda ser puesto al alcance de jóvenes de 20 a 26 años de edad de la ciudad de El Alto.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Aplicar técnicas de relevamiento de información con el fin de profundizar el entendimiento del trastorno depresivo persistente.
- Realizar ingeniería del conocimiento para representar de manera óptima el conocimiento heurístico del experto (psicólogo) para el diagnóstico de distimia.
- Diseñar el prototipo del Sistema Experto basado en lógica difusa a fin de obtener un diagnóstico con un nivel de confianza admisible.

## 1.5. HIPOTESIS

**H<sub>i</sub>** El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

**H<sub>0</sub>** El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia no proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

**H<sub>a</sub>** El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia proporciona un diagnóstico con un nivel de error mayor al 10%.

### 1.5.1. Identificación de variables

**Variable Independiente:** Síntomas que presenta el paciente.

**Variable Dependiente:** Diagnóstico de distimia.

**Variable Interviniente:** Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

### 1.5.2. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

<i>Variable</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Instrumentos</i>
<b>Independiente</b> Síntomas que presenta el paciente	Síntomas depresivos identificados en el paciente	Cantidad de síntomas asociados a la distimia que presenta el paciente	Test para diagnosticar distimia
<b>Dependiente</b> Diagnóstico de distimia	Resultado obtenido en base a los síntomas	Grado de distimia (leve, moderado o grave)	Reglas de lógica difusa para el diagnóstico de distimia
<b>Interviniente</b> Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia	Nivel de confianza	Porcentaje de confianza (0% -100%)	Comparación de resultados (psicólogo, Sistema Experto) a través de la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado.

*Fuente:* Elaboración propia

### 1.5.3. Conceptualización de variables

**Variable Independiente - Síntomas que presenta el paciente:** Es la cantidad de señales o indicios de padecer distimia identificados en el paciente.

**Variable Dependiente - Diagnóstico de distimia:** Son el o los resultados que se arrojan luego de un estudio, evaluación o análisis de signos o síntomas de una enfermedad; en este caso, el diagnóstico de distimia realizado por el prototipo del Sistema Experto.

**Variable Interviniente - Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia:** Software que emula el comportamiento del experto humano (psicólogo) al realizar un diagnóstico psicológico sintomático.

## **1.6. JUSTIFICACIONES**

### **1.6.1. Justificación Técnica**

La investigación se centra en el desarrollo del prototipo de un Sistema Experto dentro del campo de la Inteligencia Artificial (IA) para el diagnóstico del trastorno depresivo persistente (distimia) basandose en el conocimiento proporcionado por un experto psicólogo.

Para el desarrollo del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, se ocupa una Laptop ASUS AMD A9-940 un S.O. Windows de 64 bits.

Por otro lado, el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia se desarrolla con tecnología orientada a la web.

### **1.6.2. Justificación Económica**

El Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia pretende cubrir principalmente la necesidad de jóvenes en la ciudad de El Alto que no pueden acudir a una consulta psicológica debido a sus limitaciones económicas , de tiempo y/o miedo.

### **1.6.3. Justificación Social**

La investigación beneficiará a los jóvenes de la ciudad de El Alto que presenten síntomas de depresión proporcionando un diagnóstico confiable, para que estos tomen la decisión de buscar ayuda profesional que brinde el tratamiento respectivo de ser necesario.



#### **1.6.4. Justificación Científica**

El desarrollo del trabajo de investigación proporciona un aporte teórico para los futuros trabajos en el campo de la Inteligencia Artificial en los cuales se requiera realizar el diagnóstico de trastornos mentales mediante Sistemas Expertos.

### **1.7. METODOLOGIA**

El trabajo de investigación se apoya en el método científico para su desarrollo.

#### **1.7.1. Método Científico**

De acuerdo con Morles (2002) “la escuela positivista” sostiene que el método científico es el proceso hipotético-deductivo, intencional, sistemático y objetivo que normalmente sigue un investigador cuando necesita resolver una ignorancia o problema cognoscitivo. Este proceso está constituido por las siguientes fases : (1) OBSERVACIÓN previa (directa o indirecta) de la realidad, haciendo énfasis en ciertas características (o variables) que interesan al investigador y entre las cuales se supone que existen ciertas relaciones de causa-efecto; (2) Construcción de un MODELO TEÓRICO, es decir, un sistema de hipótesis, o explicaciones altamente probables, sobre la relación entre el conjunto de variables (dependientes e independientes) que han sido derivadas de las hipótesis propuestas; y, (3) VERIFICACIÓN de las hipótesis con base en la observación controlada del mayor número posible de variables (externas e internas) del hecho o fenómeno en estudio. Este proceso de verificación se supone repetible un número indefinido de veces hasta alcanzar la verdad.

#### **1.7.2. Metodología Buchanan**

Según Widemann (2010) la metodología de Buchanan se caracteriza por la constante relación entre el ingeniero del conocimiento y el experto del área abordada. Esta metodología puede esquematizarse en las siguientes etapas:

- Identificación.
- Conceptualización.
- Formalización.
- Implementación.

- Testeo o prueba.

## **1.8. HERAMIENTAS**

Las herramientas utilizadas en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia se describen a continuación.

### **1.8.1. Python**

De acuerdo con la información proporcionada en el blog Itelligent (2018), se trata de un lenguaje de programación creado en 1991 por Guido Van Rossum (1956, Holanda). Python es una opción interesante para realizar todo tipo de programas que se ejecuten en cualquier máquina. Está orientado a objetos y preparado para realizar cualquier tipo de programa, con este lenguaje se puede desarrollar software para app científicas, para comunicaciones de red, para app de escritorio con interfaz gráfica de usuario (GUI), para crear videojuegos, para smartphones, para inteligencia artificial, para automatización de tareas y por supuesto, para programación web.

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se utilizará el microframework Flask.

### **1.8.2. HTML**

Para Mozilla (2005) HTML, que significa Lenguaje de Marcado de Hipertextos (HyperText Markup Language), es la pieza más básica para la construcción de la web y se usa para definir el sentido y estructura del contenido en una página web. Otras tecnologías además de HTML son usadas generalmente para describir la apariencia/presentación de una página web (CSS) o su funcionalidad (JavaScript).

### **1.8.3. CSS**

CSS, en español “Hojas de estilo en cascada”, es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento estructurado escrito en un lenguaje de marcado.

## 1.9. LIMITES Y ALCANCES

### 1.9.1. Límites

Los límites del presente trabajo se describen a continuación:

- El diagnóstico realizado por el prototipo del Sistema Experto no implementa un diagnóstico psicológico estructural<sup>2</sup>.
- El Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia no ofrece tratamientos luego de realizar el diagnóstico (éstos deben ser realizados por un profesional de acuerdo a la particularidad del caso).
- El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia no implementará un módulo de adquisición de conocimiento.
- El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia será evaluado con jóvenes de la ciudad de El Alto con edades comprendidas entre 20 a 26 años de edad como muestra.

### 1.9.2. Alcances

Los alcances del trabajo de investigación se expresan en el desarrollo de:

- Inventario de diagnóstico de distimia (test psicológico).
- La interfaz de usuario (entrada y salida de datos).
- La base de hechos, en base a la sintomatología de la distimia.
- La base de conocimiento mediante reglas difusas que representan el conocimiento del experto (psicólogo).
- El motor de inferencia.
- Módulo de explicación del diagnóstico realizado.

Todos los componentes del prototipo del Sistema Experto se desarrollan con tecnologías web, en base a un diagnóstico psicológico sintomático<sup>3</sup>; por otro lado:

---

<sup>2</sup> **Diagnóstico psicológico estructural**, es el diagnóstico realizado a partir del conocimiento de la estructura de la personalidad de un paciente.

<sup>3</sup> **Diagnóstico psicológico sintomático**, es el diagnóstico que se realiza a partir de los síntomas identificados en un paciente.

- Se evalúa la confiabilidad de los diagnósticos obtenidos por el prototipo del Sistema Experto, respecto de los obtenidos por un experto psicólogo.

#### **1.10. APORTES**

El aporte principal de la investigación es el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, diseñado en base al conocimiento del experto humano, que favorece al área de la Psicología y la Inteligencia Artificial; puesto que, el trabajo de investigación brinda un instrumento de apoyo para jóvenes, que puede ser utilizado por psicólogos para realizar el diagnóstico de la distimia.

Con el prototipo del Sistema experto para el diagnóstico de distimia, los jóvenes que accedan a él, recibirán un diagnóstico confiable (y oportuno en muchos casos), de esta forma se pretende reducir el número de casos no diagnosticados de este trastorno depresivo; y con la recomendación de un tratamiento con un especialista psicólogo en el consultorio psicológico comunitario de la carrera de Psicología de la Universidad Pública de El Alto, se busca prevenir las consecuencias graves de la distimia como: las dificultades en las relaciones personales (aislamiento social), déficit cognitivo y la disminución de la productividad, complicaciones como la depresión mayor, trastornos de ansiedad y pensamientos o comportamiento suicidas.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta la teoría relacionada con el trastorno depresivo persistente (distimia), su diagnóstico, los sistemas expertos y la lógica difusa; además de contar con los conceptos relacionados con el desarrollo del prototipo.

#### **2.1. TRASTORNOS DEPRESIVOS**

Una de las causas de consulta más frecuente con los especialistas psicológicos son síntomas de los trastornos depresivos, de acuerdo con la OMS se calcula que más de 300 millones de personas en el mundo sufren de algún trastorno depresivo.

Los trastornos depresivos son un conjunto de cuadros clínicos en los que predomina el síntoma subjetivo de estado de ánimo deprimido (puede no ser manifiesto) y una reducción del interés. Se presentan en el transcurso de los trastornos del estado de ánimo uni- o bipolares (afectivos), trastornos somáticos, trastornos de adaptación causados por conflictos o situaciones difíciles, intoxicaciones, efectos adversos a medicamentos, otros trastornos psiquiátricos tales como los trastornos esquizoafectivos, la depresión pospsicótica, trastornos mixtos de depresión y ansiedad, neurastenia o síndromes de abstinencia. (Medycyna Praktyczna, s.f.)

De acuerdo con Coryell (2018), los trastornos depresivos se caracterizan por una tristeza de una intensidad o una duración suficiente como para interferir en la funcionalidad y, en ocasiones, por una disminución del interés o del placer despertado por las actividades. Se desconoce la causa exacta, pero probablemente tiene que ver con la herencia, cambios en las concentraciones de neurotransmisores, una alteración en la función neuroendocrina y factores psicosociales. El diagnóstico se basa en la anamnesis. En el tratamiento se utilizan fármacos o psicoterapia y, en ocasiones, terapia electroconvulsiva.

El término depresión se utiliza especialmente para referirse a cualquiera de los trastornos depresivos. En la quinta edición del Diagnostic and Statistical Manual of

Mental Disorders (DSM-5), se clasifican algunos tipos de trastornos según los síntomas específicos:

- Trastorno depresivo mayor (a menudo denominado depresión)
- Trastorno depresivo persistente (distimia)
- Otro trastorno depresivo especificado o no especificado

Otros son clasificados por la etiología:

- Trastorno disfórico premenstrual
- Trastorno depresivo debido a otra enfermedad
- Trastorno depresivo inducido por sustancias/fármacos

Los trastornos depresivos pueden presentarse a cualquier edad, pero es típico su desarrollo en la adolescencia y entre los 20 y los 30 años. Hasta el 30% de los pacientes refieren síntomas depresivos en los centros de atención primaria, pero < 10% tendrá una depresión mayor.

## **2.2. TRASTORNO DEPRESIVO PERSISTENTE (DISTIMIA)**

La distimia o trastorno depresivo persistente es un trastorno afectivo de curso crónico y de intensidad menor que la depresión mayor. Es de inicio insidioso y comienza habitualmente en la juventud. Destaca la presencia de un ánimo deprimido durante al menos dos años, junto con otros síntomas como alteraciones del sueño, baja autoestima, problemas de concentración o fatiga. Sobre este trastorno, puede coexistir un episodio depresivo mayor (“depresión doble”). El diagnóstico es clínico, prestando especial atención al diagnóstico diferencial con otras entidades (depresión mayor, trastornos de personalidad, uso de sustancias y medicamentos). El tratamiento más eficaz es la combinación de fármacos antidepresivos y psicoterapia. (Goena & Molero, 2019)

De acuerdo con los autores Gallardo, Jiménez, González, & Villaseñor (2013), la distimia es un trastorno afectivo crónico que se asocia con estrategias inadecuadas de adaptación a situaciones estresantes, sensibilidad al estrés, baja productividad en el trabajo, incremento del riesgo de admisión hospitalaria, comorbilidad con otros trastornos psiquiátricos y la presencia de otras enfermedades, por lo que representa un considerable costo social y económico que la convierte en un problema de salud

que necesita ser identificado con mayor eficacia. Por ello no serprenden los reportes de que los pacientes con distimia reciben significativamente mas tratamiento que aquellos con episodio depresivo mayor.

No obstante la evidencia que parece distinguir la distimia como un trastorno de características unicas, desde los antiguos griegos se ha venido debatiendo si es que en realidad se trata de una entidad diferente a otros trastornos y si es asi como debe clasificarse. El problema de las clasificaciones diagnósticas (cualquiera de ellas) es el solapamiento e inespecificidad de algunos síntomas, ya que en el caso de la distimia podría en ocasiones solapar un trastorno depresivo leve o bien la llamada depresión doble.

### **2.2.1. Características clínicas de la distimia**

De acuerdo con la información proporcionada en el sitio web oficial del CIE-11 (2019), el trastorno distímico se caracteriza por un estado de ánimo depresivo persistente (es decir, que dura dos años o más), durante la mayor parte del día, durante más días que no. En niños y adolescentes, el estado de ánimo depresivo puede manifestarse como una irritabilidad generalizada. El estado de ánimo depresivo se acompaña de otros síntomas como interés o placer notablemente disminuidos en las actividades, concentración y atención reducidas o indecisión, autoestima baja o culpa excesiva o inapropiada, desesperanza sobre el futuro, sueño perturbado o aumento del sueño, disminución o aumento del apetito, y energía baja o fatiga. Durante los primeros dos años del trastorno, nunca ha habido un período de dos semanas durante el cual el número y la duración de los síntomas fueran suficientes para cumplir con los requisitos diagnósticos de un episodio depresivo. No hay antecedentes de episodios maníacos, mixtos o hipomaníacos.

### **2.2.2. Síntomas**

Coryell (2018), describe que los síntomas generalmente comienzan de forma insidiosa durante la adolescencia y pueden durar muchos años o décadas. (...) Los pacientes afectados pueden presentarse habitualmente negativos, pesimistas, sin sentido del humor, pasivos, obnubilados, introvertidos, hipercríticos respecto de sí mismos y de los demás y quejumbrosos. Los pacientes con trastorno depresivo

persistente también es más probable que tengan ansiedad subyacente, abuso de sustancias o trastornos de la personalidad (p. ej., personalidad de tipo límite).

Para el diagnóstico del trastorno depresivo persistente, los pacientes deben haber tenido un estado de ánimo depresivo la mayor parte del día, con más días presente que ausente durante  $\geq 2$  años, más  $\geq 2$  de los siguientes:

- Falta o exceso de apetito
- Insomnio o hipersomnia
- Baja energía o fatiga
- Baja autoestima
- Falta de concentración o dificultad para tomar decisiones
- Sentimientos de desesperanza

### **2.3. JUVENTUD**

“La Juventud es la quinta etapa del desarrollo de humano y de la vida del ser humano y viene después de la adolescencia o pubertad y precede a la adultez.” (etapasdesarrollohumano, s.f.)

Las Naciones Unidas definen como ‘juventud’ a las personas de entre 15 y 24 años de edad. Sin embargo, esta definición es flexible. La experiencia de ser joven puede variar sustancialmente en el mundo, entre países y regiones, por lo cual ‘la juventud’ es muy a menudo una categoría fluida y cambiante. Así, para la UNESCO cada contexto particular es siempre una guía importante a la hora de definir la “juventud”. (UNESCO, s.f.)

#### **2.3.1. Jóvenes de 20 a 26 años**

Como se ha expresado en el artículo “Por los jóvenes, con los jóvenes, para los jóvenes” de la UNESCO, se ha tomado como rango de edad válido para identificar a los jóvenes el de 15 a 24 años de edad, sin embargo, el Grupo de Estudio de la OMS (1986) distingue como juventud a los sujetos de edades comprendidas entre los 10 a 24 años, en los que, con fines prácticos, se distinguen tres subdivisiones quinquenales: 10 a 14, 15 a 19, y de 20 a 24 años de edad, diferenciando a éste último grupo como *juventud*.



Los jóvenes de 20 a 24 años de edad, de acuerdo con el Grupo de Estudio de la OMS (1986) se caracterizan por tener mayor estabilidad y por realizar tareas y actividades más dirigidas hacia afuera, incluyendo las siguientes:

- a) La formación de una firme capacidad de establecer compromisos permanentes en sus relaciones personales, en el ámbito vocacional y en otros aspectos sociales;
- b) La aceptación progresiva de mayores responsabilidades en relación con las figuras paternas;
- c) La dedicación activa al trabajo con estructuras sociales establecidas.

Los factores culturales influyen en el alcance y la expresión de las tareas de desarrollo de los adolescentes y jóvenes. En algunas culturas, estas tareas se realizan, tal vez precozmente, pero por necesidad, en la adolescencia inicial. En cambio, en otras culturas, la oportunidad de dedicarse a dichas tareas podría demorarse hasta la edad adulta mediana. En ambos casos, su principal significado práctico radica en la manera como pueden enfocar la atención en un desarrollo de programas adecuado. El desaprovechar la oportunidad, donde ella exista, podría servir como indicador de jóvenes que corren el riesgo de sufrir desordenes o incapacidades, o que ya los están sufriendo.

“Ser joven es una condición que se está expandiendo, no solo en cuanto a la edad sino en la representación que la juventud tiene en la sociedad” (CEPAL,OIJ, SEGIB, 2008)

Los lineamientos dados por la OMS en 1986, han cambiado con el pasar de los años; el rango de las edades consideradas dentro del concepto de juventud es de 15 a 29 años en Bolivia de acuerdo con datos del Viceministerio de Género y Asuntos Generacionales (Krauskopf, 2015). En el presente trabajo se tomó como grupo a tratar el de jóvenes de 20 a 26 años de edad, identificando a este como uno de los afectados con etapas iniciales o leves del trastorno depresivo persistente, con el fin de prevenir cuadros más graves de trastornos depresivos; además que la presión que la sociedad suele ejercer sobre este grupo de individuos que deben establecer compromisos permanentes en cada ámbito de su vida, potenciando de esta forma el desarrollo de la distimia.

### **2.3.2. Distimia en jóvenes de 20 a 26 años de edad**

De acuerdo con Friedhoff (2002), la depresión se presenta en todos los procesos evolutivos y en todas las etapas de la vida, es en la edad adulta en donde se manifiesta con mayor prevalencia, sobre todo en rango entre los 21 y 40 años. (...) Esto se explica a través del cúmulo de actividades y presiones sociales con las cuales las personas del rango de edad mencionado deben lidiar a diario en el aspecto laboral, académico, personal, familiar y social; lo cual con el transcurso del tiempo va afectando paulatinamente la capacidad de tolerancia a la frustración, empatía y resiliencia. (como cita Vildósola, 2015)

Cuando una persona pierde el interés por las cosas que venía haciendo, se siente cansado, no tiene ganas de participar, de compartir y de disfrutar de la vida, a la vez que cambia de peso y manifiesta problemas de insomnio o un despertar desagradable, o tiene dolores difusos, pensamientos negativos, está frecuentemente embotado y lento, y evidencia un deterioro de su vida laboral y/o académica, aunque no sé cuenta, es posible que padezca un trastorno distímico. (Clínica de la Familia, s.f.)

Las diferentes exigencias sociales con las que debe lidiar un joven de entre 20 a 26 años de edad, que ingresa a la edad adulta son variadas, como resultado del estado transicional que viven numerosas sociedades hoy en día, las tensiones externas ejercen presión sobre los jóvenes. Estas tensiones, y las formas en que los jóvenes las soportan deben ser comprendidas, al menos por dos razones: aunque las tensiones son un ingrediente natural del proceso de maduración, si no son manejadas de una manera saludable, pueden dar lugar a trastornos emocionales y físicos, con serias consecuencias individuales y familiares.

“En los pacientes con distimia también se identifica un alto grado de neuroticismo que genera poca tolerancia a la frustración, exigencias muy altas y rápido desaliento si no logran su objetivo”. (Ortega, 2018)

En las últimas décadas, se ha valorado más la formación académica de las personas para concebir una vida plena, de modo que es preocupación de los jóvenes de las edades entre 20 a 26 años (etapa previa a la adultez) principalmente el concebir la educación superior a más temprana edad, y tener en varios casos,

más de un título que respalde su formación académica, sin embargo, esta realidad ha ejercido presión en los jóvenes, que al realizarse a sí mismos estas y otras exigencias propias de la edad<sup>4</sup>, se ven más propensos a padecer de trastornos mentales como la distimia; de acuerdo con el análisis del médico del Instituto Nacional de Psiquiatría de México, Ortega (2018), a nivel mundial hay mucha competencia, cada vez se exige más escolaridad, los jóvenes están enfrentando mayor presión social; entonces la hipótesis o lo que podemos prever es que sí haya más distimia. (como se cita en la agencia de noticias internacional EFE, 2018)

## **2.4. DIAGNÓSTICO**

La Real academia de la lengua española en su 22<sup>a</sup> edición define el término diagnóstico como: “Calificación que da el médico a la enfermedad por los signos que muestra”.

El diagnóstico se refiere tanto a las enfermedades físicas como psíquicas. El objetivo de diagnosticar es clasificar los síntomas en trastornos, y estos agruparlos en familias, para facilitar su estudio y conseguir el tratamiento más adecuado. Es una herramienta imprescindible para la comunicación entre profesionales, y para la sociedad en general.

Con una sola palabra podemos entender muchas veces el origen, el desarrollo, la sintomatología actual y la evolución aproximada. (UAP, s.f.)

El psicoanalista Baekeland (2014), brinda la distinción y los tipos de diagnóstico:

### **2.4.1. Diagnóstico médico**

El diagnóstico médico de una afección orgánica, en la gran mayoría de los casos, se refiere a una condición que se puede observar directamente con instrumentos especializados: se puede detectar el agente patógeno de una infección; se puede observar la proliferación descontrolada de células; se puede ver la obstrucción de un vaso sanguíneo por un trombo; se puede examinar directamente la fibrosis de un hígado enfermo, etc. Es por esta razón que es adecuado que se diga que “se tiene” una gripe, un cáncer, un infarto o una cirrosis.

---

<sup>4</sup> **Exigencias propias de la edad**, la toma de decisiones que repercutirán en el futuro del joven como la elección de una carrera, de una pareja, búsqueda de trabajo, con miras a la emancipación y la pronta formación de una familia (que constituye el principio de una sociedad).

### **2.4.2. Diagnóstico psicológico**

El diagnóstico psicológico, sin embargo, se refiere a síntomas o funcionamientos mentales-emocionales que no tienen una base orgánica observable, se infieren por los comportamientos del paciente o por lo que dice que le está pasando. A pesar de los progresos en las neurociencias, estamos todavía a años luz de comprender la complejidad del cerebro lo suficientemente como para poder decir, con una exactitud comparable a la del diagnóstico médico orgánico, qué estructura cerebral da lugar a un comportamiento mental-emocional específico en ese momento.

Por lo tanto, decir que alguien está deprimido porque le falta serotonina (un neurotransmisor) en el cerebro, es como decir que la economía de un país sufre porque los ciudadanos compran coches extranjeros. Algo tendrá que ver, sí, pero la respuesta es infinitamente más compleja.

### **2.4.3. Tipos de diagnóstico psicológico**

Para describir los diagnósticos psicológicos se puede decir que, a grandes rasgos, existen dos tipos de diagnóstico psicológico: el diagnóstico psicológico sintomático y el diagnóstico psicológico estructural.

#### **a) El diagnóstico psicológico sintomático**

El diagnóstico psicológico sintomático consiste en agrupar un cierto número de síntomas, lo que se llama un síndrome, en función de la frecuencia, duración y etiología de su aparición, y darle un nombre para que pueda ser fácilmente reconocido. Esto es útil porque es frecuente que ciertos grupos de síntomas aparezcan juntos y formen cuadros clínicos familiares para los profesionales de la salud mental. Ayuda a comunicar rápidamente cuál es el sufrimiento manifiesto del paciente a otros profesionales.

Sin embargo, esta forma de diagnóstico no dice gran cosa sobre la persona que sufre de estos síntomas: no ayuda a tener una idea de qué tipo de persona es, ni qué personalidad tiene, ni cuáles son sus maneras habituales de sentir, pensar y comportarse. Es una forma de diagnóstico descriptiva pero poco

profunda dado que síntomas parecidos pueden ser producidas por personas muy diferentes y tener causas diferentes.

#### **b) El diagnóstico psicológico estructural**

El diagnóstico psicológico estructural consiste en intentar descubrir cuál es la estructura de personalidad del paciente, siempre sujeta a revisión en función de nuevos datos, para comprenderle como una persona completa y compleja. La estructura de personalidad consiste en qué tipo de vínculos establece esa persona con los otros, cuál es la cualidad y la intensidad de sus pulsiones y afectos, qué mecanismos de defensa y de adaptación utiliza, qué auto-imagen tiene, de qué tipo de síntomas sufre, y cómo ha llegado hasta allí.

El objetivo es poder hacerse una idea tridimensional del individuo y procurar entender cómo funciona concretamente esa persona. Nos permite tener una idea más clara de qué tipo de tratamiento puede serle beneficioso y cómo enfrentarlo. Ahora bien, es importante recordar que un diagnóstico psicológico estructural es siempre aproximativo y nunca enteramente perteneciente a una categoría concreta; el funcionamiento mental es complejo y puede cambiar a lo largo de la vida o como consecuencia de un tratamiento psicológico.

#### **2.4.4. Diagnóstico de Distimia**

El diagnóstico del trastorno depresivo persistente, se realiza de acuerdo a los criterios establecidos por el DSM-5:

#### **Criterios para el diagnóstico de F34.1 Trastorno depresivo persistente (Distimia) (300.4)**

En este trastorno se agrupan el trastorno de depresión mayor crónico y el trastorno distímico del DSM-IV.

- A.** Estado de ánimo deprimido durante la mayor parte del día, presente más días que los que está ausente, según se desprende de la información subjetiva o de la observación por parte de otras personas, durante un mínimo de dos años.

**Nota:** En niños y adolescentes, el estado de ánimo puede ser irritable y la duración ha de ser como mínimo de un año.

- B.** Presencia, durante la depresión, de dos (o más) de los siguientes síntomas:
1. Poco apetito o sobrealimentación
  2. Insomnio o hipersomnía
  3. Poca energía o fatiga
  4. Baja autoestima
  5. Falta de concentración o dificultad para tomar decisiones
  6. Sentimientos de desesperanza
- C.** Durante el período de dos años (un año en niños y adolescentes) de la alteración, el individuo nunca ha estado sin los síntomas de los Criterios A y B durante más de dos meses seguidos.
- D.** Los criterios para un trastorno de depresión mayor pueden estar continuamente presentes durante dos años.
- E.** Nunca ha habido un episodio maníaco o un episodio hipomaníaco y nunca se han cumplido los criterios para el trastorno ciclotímico.
- F.** La alteración no se explica mejor por un trastorno esquizoafectivo persistente, esquizofrenia, un trastorno delirante, u otro trastorno especificado o no especificado del espectro de la esquizofrenia y otro trastorno psicótico.
- G.** Los síntomas no se pueden atribuir a los efectos fisiológicos de una sustancia (p. ej., una droga, un medicamento) o a otra afección médica (p. ej., hipotiroidismo).
- H.** Los síntomas causan malestar clínicamente significativo o deterioro en lo social, laboral u otras áreas importantes del funciona.

**Nota:** Como los criterios para un episodio de depresión mayor incluyen cuatro síntomas que no están en la lista de síntomas del trastorno depresivo persistente (distimia), un número muy limitado de individuos tendrá síntomas depresivos que han persistido durante más de dos años, pero cumplirán los criterios para el trastorno depresivo persistente. Si en algún momento durante el episodio actual de la enfermedad se han cumplido todos los criterios para un episodio de depresión mayor, se hará un diagnóstico de trastorno de depresión mayor. De no ser así, está justificado un diagnóstico de otro trastorno depresivo especificado o de un trastorno depresivo no especificado.

*Especificar si:*

**Con ansiedad** (pág. 184)

La ansiedad se define como la presencia de dos o más de los síntomas siguientes durante la mayoría de los días de un episodio de depresión mayor o trastorno depresivo persistente (distimia):

1. Se siente nervioso o tenso.
2. Se siente inhabitualmente inquieto.
3. Dificultad para concentrarse debido a las preocupaciones.
4. Miedo a que pueda suceder algo terrible.
5. El individuo siente que podría perder el control de sí mismo.

*Especificar la gravedad actual:*

**Leve:** Dos síntomas.

**Moderado:** Tres síntomas.

**Moderado-severo:** Cuatro o cinco síntomas.

**Grave:** Cuatro o cinco síntomas y con agitación motora.

**Nota:** Ansiedad que se aprecia como característica destacada tanto del trastorno bipolar como del trastorno de depresión mayor en la asistencia primaria y en los servicios especializados en salud mental. Los altos grados de ansiedad se han asociado a un riesgo mayor de suicidio, duración más prolongada de la enfermedad y mayor probabilidad de falta de respuesta al tratamiento. Por lo tanto, para planificar el tratamiento y controlar la respuesta terapéutica es clínicamente útil especificar con precisión la presencia y la gravedad de la ansiedad.

**Con características mixtas** (págs. 184-185)

A. Al menos tres de los síntomas maníacos/hipomaníacos siguientes están presentes casi todos los días durante la mayoría de los días de un episodio de depresión mayor:

1. Estado de ánimo elevado, expansivo.

2. Aumento de la autoestima o sentimiento de grandeza.
3. Más hablador de lo habitual o presión para mantener la conversación.
4. Fuga de ideas o experiencia subjetiva de que los pensamientos van a gran velocidad.
5. Aumento de la energía dirigida a un objetivo (social, en el trabajo o la escuela, o sexual).
6. Implicación aumentada o excesiva en actividades que tienen muchas posibilidades de consecuencias dolorosas (p. ej., dedicarse de forma desenfrenada a compras, juergas, indiscreciones sexuales o inversiones de dinero imprudentes).
7. Disminución de la necesidad de sueño (se siente descansado a pesar de dormir menos de lo habitual, en contraste con el insomnio).

B. Los síntomas mixtos son observables por parte de otras personas y representan un cambio del comportamiento habitual del individuo.

C. En individuos cuyos síntomas cumplen todos los criterios de manía o hipomanía, el diagnóstico será trastorno bipolar I o bipolar II.

D. Los síntomas mixtos no se pueden atribuir a los efectos fisiológicos de una sustancia (p. ej., una droga, un medicamento u otro tratamiento).

**Nota:** Las características mixtas asociadas a un episodio de depresión mayor son un factor de riesgo significativo para el desarrollo de trastorno bipolar I o bipolar II. Por lo tanto, para planificar el tratamiento y controlar la respuesta terapéutica es clínicamente útil apreciar la presencia de este especificador.

**Con características melancólicas** (pág. 185)

A. Una de las características siguientes está presente durante el periodo más grave del episodio actual:

1. Pérdida de placer por todas o casi todas las actividades.
2. Falta de reactividad a estímulos generalmente placenteros (no se siente mucho mejor, ni siquiera temporalmente, cuando sucede algo bueno).

B. Tres (o más) de las características siguientes:



1. Una cualidad bien definida del estado de ánimo depresivo es un desaliento profundo, desesperación y/o mal humor, o lo que se conoce como estado de ánimo vacío.
2. Depresión que acostumbra a ser peor por la mañana.
3. Despertar pronto por la mañana (es decir, al menos dos horas antes de lo habitual).
4. Notable agitación o retraso psicomotor.
5. Anorexia o pérdida de peso importante.
6. Culpa excesiva o inapropiada.

**Nota:** El especificador “con características melancólicas” se aplica si estas características están presentes en la fase más grave del episodio. Hay una ausencia casi completa de la capacidad de placer, no simplemente una disminución. Una norma para evaluar la falta de reactividad del estado de ánimo es que ni siquiera los acontecimientos muy deseados se asocian a una elevación notable del estado de ánimo. El estado de ánimo no aumenta en absoluto o sólo aumenta parcialmente (p. ej., hasta un 20-40 % de lo normal sólo durante unos minutos seguidos). La “cualidad bien definida” del estado de ánimo característico del especificador “con características melancólicas” se experimenta como cualitativamente diferente del que se produce durante un episodio depresivo

no melancólico. Un estado de ánimo deprimido que se describe simplemente como más grave, más prolongado o presente sin ningún motivo no se considera de cualidad bien definida. Casi siempre existen cambios psicomotores y son observables por parte de otras personas.

Las características melancólicas sólo muestran una tendencia ligera a repetirse en los episodios del mismo individuo. Son más frecuentes en los pacientes hospitalizados, en contraposición a los ambulatorios; es menos probable que aparezcan en episodios más leves de depresión mayor que en episodios más graves; y es más probable que se produzcan en episodios con características psicóticas.

**Con características atípicas** (págs. 185-186)

Este especificador se puede aplicar cuando estas características predominan durante la mayoría de los días del episodio de depresión mayor actual o más reciente o trastorno depresivo persistente.

- A. Reactividad del estado de ánimo (es decir, aumento del estado de ánimo en respuesta a sucesos positivos reales o potenciales).
- B. Dos (o más) de las características siguientes:
  - 1. Notable aumento de peso o del apetito.
  - 2. Hipersomnia.
  - 3. Parálisis plúmbea (es decir, sensación de pesadez plúmbea en brazos o piernas).
  - 4. Patrón prolongado de sensibilidad de rechazo interpersonal (no limitado a los episodios de alteración del estado de ánimo) que causa deterioro social o laboral importante.
- C. No se cumplen los criterios para “con características melancólicas” o “con catatonía” durante el mismo episodio.

**Nota:** “Depresión atípica” tiene un significado histórico (es decir, atípica en contraposición con las presentaciones más clásicas de depresión agitada, “endógena”, que eran la norma cuando la depresión se diagnosticaba raramente en pacientes ambulatorios y casi nunca en adolescentes o adultos jóvenes) y actualmente no connota una presentación clínica inhabitual o inusual como el término podría implicar.

Reactividad del estado de ánimo es la capacidad de animarse cuando se presentan acontecimientos positivos (p. ej., una visita de los hijos, alabanzas por parte de otras personas). El estado de ánimo se puede volver eutímico (no triste) incluso durante períodos prolongados si las circunstancias externas se mantienen favorables. El aumento del apetito se puede manifestar por un aumento claro de la ingestión de alimentos o por un aumento de peso. La hipersomnia puede incluir un período prolongado de sueño nocturno o siestas diurnas que totalizan un mínimo de 10 horas de sueño diarias (o al menos dos horas más que cuando el individuo no está deprimido).

La parálisis plúmbea se define como una sensación de pesadez plúmbea o de lastre, generalmente en los brazos o las piernas. Esta sensación está presente por lo general durante al menos una hora diaria, pero con frecuencia dura muchas horas seguidas. A diferencia de las demás características atípicas, la sensibilidad patológica de rechazo interpersonal percibido es un rasgo que tiene un inicio, temprano y que persiste durante la mayor parte de la vida adulta. La sensibilidad de rechazo se produce tanto cuando la persona está deprimida como cuando no lo está, aunque se puede exacerbar durante los períodos depresivos.

**Con características psicóticas congruentes con el estado de ánimo**  
(pág. 186)

El contenido de todos los delirios y alucinaciones está en consonancia con los temas depresivos típicos de incapacidad personal, culpa, enfermedad, muerte, nihilismo o castigo merecido.

**Con características psicóticas no congruentes con el estado de ánimo**  
(pág. 186)

El contenido de los delirios o alucinaciones no implica los temas depresivos típicos de incapacidad personal, culpa, enfermedad, muerte, nihilismo o castigo merecido, o el contenido es una mezcla de temas congruentes e incongruentes con el estado de ánimo.

**Con inicio en el periparto** (págs. 186-187)

Este especificador se puede aplicar al episodio actual o, si actualmente no se cumplen todos los criterios para un episodio de depresión mayor, al episodio de depresión mayor más reciente si el inicio de los síntomas del estado de ánimo se produce durante el embarazo o en las cuatro semanas después del parto.

**Nota:** Los episodios del estado de ánimo se pueden iniciar durante el embarazo o en el posparto. Aunque las estimaciones difieren según el periodo de seguimiento después del parto; entre un 3 y un 6 % de las mujeres experimentará el inicio de un episodio de depresión mayor durante el embarazo o en las semanas o meses que siguen al parto. El 50 % de los episodios de

depresión mayor “posparto” comienza realmente antes del parto. Así pues, estos episodios se denominan colectivamente episodios del periparto. Las mujeres con episodios de depresión mayor en el periparto con frecuencia sufren ansiedad grave e incluso ataques de pánico. Estudios prospectivos han demostrado que los síntomas del estado de ánimo y de ansiedad durante el embarazo, así como la tristeza posparto (*baby blues*), aumentan el riesgo de un episodio de depresión mayor después del parto.

Los episodios del estado de ánimo que se inician en el periparto pueden presentar o no características psicóticas. El infanticidio se asocia la mayoría de las veces a episodios psicóticos posparto que se caracterizan por alucinaciones que ordenan matar al niño o delirios de que el niño esta poseída, pero los síntomas psicóticos también pueden aparecer en episodios graves del estado de ánimo posparto sin estos delirios o alucinaciones específicas.

Los episodios del estado de ánimo (de depresión mayor o maníacos) en el posparto con características psicóticas se producen en un número de partos que oscila entre 1 de cada 500 y 1 de cada 1,000 partos, y pueden ser más frecuentes en primíparas. El riesgo de episodios posparto con características psicóticas es especialmente mayor en mujeres con episodios del estado de ánimo posparto anteriores, pero también es elevado en pacientes con antecedentes de un trastorno depresivo o bipolar (en especial el trastorno bipolar I) y en las que tienen antecedentes familiares de trastornos bipolares.

Cuando una mujer ha tenido un episodio posparto con características psicóticas, el riesgo de. recurrencia con cada parto posterior es de entre un 30 y un 50 %. Los episodios posparto, se han de diferenciar del delirium que sucede en el período posparto, que se distingue por un grado de conciencia o atención fluctuante. El período posparto es singular en cuanto al grado de alteraciones neuroendocrinas y de ajustes psicosociales, el posible impacto de la lactancia materna en el plan de tratamiento y las implicaciones a largo plazo de una historia de trastorno del estado de ánimo posparto en la planificación familiar posterior.

*Especificar si:*

**En remisión parcial** (pág. 188)

Los síntomas del episodio de depresión mayor inmediatamente anterior están presentes, pero no se cumplen todos los criterios o, cuando acaba un episodio de este tipo existe un periodo que dura menos de dos meses sin ningún síntoma significativo de un episodio de depresión mayor.

**En remisión total** (pág. 188)

Durante los últimos dos meses no ha habido signos o síntomas significativos del trastorno.

*Especificar si:*

**Inicio temprano:** Si el inicio es antes de los 21 años.

**Inicio tardío:** Si el inicio es a partir de los 21 años.

*Especificar si* (durante la mayor parte de los dos años más recientes del trastorno depresivo persistente):

**Con síndrome distímico puro:** No se han cumplido todos los criterios para un episodio de depresión mayor al menos en los dos años anteriores.

**Con episodio de depresión mayor persistente:** Se han cumplido todos los criterios para un episodio de depresión mayor durante los dos años anteriores.

**Con episodios intermitentes de depresión mayor, con episodio actual:** Actualmente se cumplen todos los criterios para un episodio de depresión mayor, pero ha habido periodos de al menos 8 semanas en por lo menos los dos años anteriores con síntomas por debajo del umbral para un episodio de depresión mayor completo.

**Con episodios intermitentes de depresión mayor, sin episodio actual:** Actualmente no se cumplen todos los criterios para un episodio de depresión mayor, pero ha habido uno o más episodios de depresión mayor al menos en los dos años anteriores.

Especificar la gravedad actual:

**Leve** (pág. 188)

Pocos o ningún síntoma más que los necesarios para cumplir los criterios diagnósticos, la intensidad de los síntomas causa malestar, pero es manejable, y los síntomas producen poco deterioro en el funcionamiento social o laboral.

**Moderado** (pág. 188)

El número de síntomas, la intensidad de los síntomas y/o el deterioro funcional están entre los especificados para “leve” y “grave”.

**Grave** (pág. 188)

El número de síntomas supera notablemente a los necesarios para hacer el diagnóstico, la intensidad de los síntomas causa gran malestar y no es manejable, y los síntomas interfieren notablemente en el funcionamiento social y laboral.

## **2.5. SISTEMA EXPERTO**

De acuerdo con la investigación de León (2007), un Sistema Experto (SE), es básicamente un programa de computadora basado en conocimientos y raciocinio que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano; es decir, es un programa que imita el comportamiento humano en el sentido de que utiliza la información que le es proporcionada para poder dar una opinión sobre un tema en especial. Otros autores lo definen como sigue: un SE es un programa de computadora interactivo que contiene la experiencia, conocimiento y habilidad propios de una persona o grupos de personas especialistas en un área particular del conocimiento humano, de manera que permitan resolver problemas específicos de ése área de manera inteligente y satisfactoria. La tarea principal de un Sistema Experto es tratar de aconsejar al usuario. Los usuarios que introducen la información al SE son en realidad los expertos humanos, y tratan a su vez de estructurar los conocimientos que poseen para ponerlos entonces a disposición del sistema. Los SE son útiles para resolver problemas que se basan en conocimiento.

### **2.5.1. Tipos de Sistemas Expertos**

Hay muchos puntos de vista desde los cuales se pueden clasificar los Sistemas Expertos, por la forma de almacenar conocimiento: se pueden distinguir sistemas basados en reglas y sistemas basados en probabilidad. Así en el primer caso, el conocimiento se almacena en forma de hechos y reglas, mientras que el segundo, la base de conocimientos está constituida por hechos y sus dependencias probabilísticas; en el primer caso el motor de inferencia opera mediante encadenamiento de reglas hacia atrás y adelante, mientras que el segundo caso

opera mediante la evaluación de probabilidades condicionales. Finalmente, también hay diferencias en la adquisición del conocimiento y el método de explicación. (...)

En cuanto a las ventajas e inconvenientes de uno y otro puede mencionarse que, en el caso de los Sistemas Probabilísticos, el motor de inferencia es muy rápido, ya que todas las implicaciones están presentes y solo se ha de determinar con que probabilidad se da una determinada implicación. En cuanto a los Sistemas basados en Reglas, la principal ventaja es el hecho de que el mecanismo de explicación es sencillo, al tener presente el sistema las reglas que han sido disparadas. Otra ventaja es que únicamente se emplean las reglas necesarias en cada caso, sin necesidad de evaluar toda una estructura probabilística.

*Tabla 2. Comparación entre sistemas basados en reglas y sistemas basados en probabilidad.*

<b>Elementos</b>	<b>Modelo Probabilístico</b>	<b>Modelo Basado en Reglas</b>
<b>Base de conocimiento.</b>	Abstracto: Estructura probabilística (sucesos dependientes).  Concreto: Hechos.	Abstracto: reglas
<b>Motor de inferencia.</b>	Evaluación de probabilidades condicionales (Teoremas de Bayes)	Encadenamiento hacia atrás y hacia delante.
<b>Subsistema de explicación</b>	Basado en probabilidades condicionales.	Basado en reglas activas.
<b>Adquisición de conocimiento</b>	Espacio probabilístico Parámetros.	Reglas. Factores de certeza.
<b>Subsistema de aprendizaje</b>	Cambio en la estructura del espacio probabilístico.  Cambio en los parámetros.	Nuevas reglas.  Cambio en los factores de certeza.

*Fuente:* (León, 2007)

## 2.5.2. Arquitectura de un Sistema Experto

No existe una estructura de Sistema Experto común. Sin embargo, la mayoría de los sistemas expertos tienen unos componentes básicos: base de conocimientos, motor de inferencia, base de datos e interfaz con el usuario. Muchos tienen, además, un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento. La Figura Nro.1 muestra la estructura de un SE ideal.

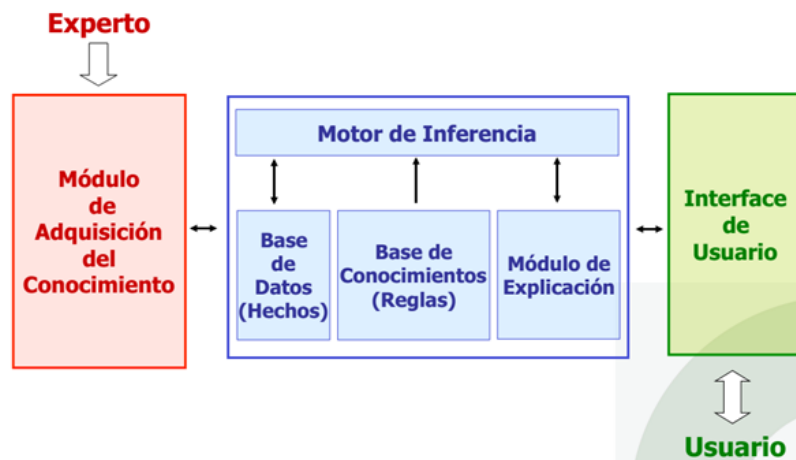


Figura 1. Estructura de un Sistema Experto

Fuente: [https://sites.google.com/site/sistemasexpertosunah/\\_/rsrc/1454195493163/home/sistemas-expertos-basados-en-reglas/1.png](https://sites.google.com/site/sistemasexpertosunah/_/rsrc/1454195493163/home/sistemas-expertos-basados-en-reglas/1.png)

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas.

Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el Sistema Experto.



Las reglas suelen almacenarse en alguna secuencia jerárquica lógica, pero esto no es estrictamente necesario. Se pueden tener en cualquier secuencia y el motor de inferencia las usará en el orden adecuado que necesite para resolver un problema. La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria la computadora que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

El motor de inferencias es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el Sistema Experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. La estrategia de control puede ser de encadenamiento progresivo o de encadenamiento regresivo. (...) Normalmente, el sistema sigue los siguientes pasos:

1. Evaluar las condiciones de todas las reglas respecto a la base de datos, identificando el conjunto de reglas que se pueden aplicar (aquellas que satisfacen su parte condición).
2. Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción (esto último genera nuevos hechos que se añaden a la base de datos).
3. Si se llega al objetivo, se ha resuelto el problema; en caso contrario, se vuelve al paso 1.

A este enfoque se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. Cuando se utiliza este método, el usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema.

Al encadenamiento regresivo se le suele llamar guiado por objetivos, ya que, el sistema comenzará por el objetivo (parte acción de las reglas) y operará retrocediendo para ver cómo se deduce ese objetivo partiendo de los datos. Esto se produce directamente o a través de conclusiones intermedias o subobjetivos. Lo

que se intenta es probar una hipótesis a partir de los hechos contenidos en la base de datos y de los obtenidos en el proceso de inferencia.

En la mayoría de los Sistemas Expertos se utiliza el encadenamiento regresivo. Este enfoque tiene la ventaja de que el sistema va a considerar únicamente las reglas que interesan al problema en cuestión. El usuario comenzará declarando una expresión E y el objetivo del sistema será establecer la verdad de esa expresión.

Para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Obtener las reglas relevantes, buscando la expresión E en la parte acción (éstas serán las que puedan establecer la verdad de E).
2. Si no se encuentran reglas para aplicar, entonces no se tienen datos suficientes para resolver el problema; se termina sin éxito o se piden al usuario más datos.
3. Si hay reglas para aplicar, se elige una y se verifica su parte condición C con respecto a la base de datos.
4. Si C es verdadera en la base de datos, se establece la veracidad de la expresión E y se resuelve el problema.
5. Si C es falsa, se descarta la regla en curso y se selecciona otra regla.
6. Si C es desconocida en la base de datos (es decir, no es verdadera ni falsa), se le considera como sub-objetivo y se vuelve al paso 1 (C será ahora la expresión E).

Existen también enfoques mixtos en los que se combinan los métodos guiados por datos con los guiados por objetivos.

La interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al Sistema Experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede solicitar más información al SE si le es necesaria. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el SE.

La mayoría de los sistemas expertos contienen un módulo de explicación, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema cómo ha alcanzado una conclusión, éste le presentará la secuencia completa de reglas usada. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del SE. Además, de esta forma, y con el tiempo suficiente, los usuarios pueden convertirse en especialistas en la materia, al asimilar el proceso de razonamiento seguido por el sistema. El subsistema de explicación también puede usarse para depurar el SE durante su desarrollo.

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el SE. Si el entorno es dinámico, entonces este componente es muy necesario, puesto que el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen.

### **2.5.3. Requerimientos para un Sistema Experto**

La construcción de un SE no es una tarea sencilla, debido a que involucra mucha participación de distintas personas, cada una de las cuales aportará algo para que el SE a desarrollar sea robusto y fácil de usar y mantener. Además, se deben hacer varias elecciones en cuanto al desarrollo del Sistema Experto.

La primera decisión consiste en determinar si se comenzará el Sistema Experto desde cero o se utilizará un shell - que es un SE sin la base de conocimientos -. Si se opta por usar el shell se debe elegir el que más se adecue al objetivo del SE que se desea construir, ya que existen diversos shells de Sistemas Expertos encaminados hacia distintos objetivos.

Si por el contrario se opta por comenzar desde cero, se deberá entonces determinar qué metodología utilizar, es decir, determinar la guía para el desarrollo del Sistema Experto, cómo se implementará la base de conocimientos y el motor de inferencia, principalmente; y como complemento se debe elegir el lenguaje que se va a utilizar para el proyecto.

Para desarrollar un SE primero se debe conocer el equipo de gente necesario, después los métodos que utiliza ese equipo de gente y por último cómo prueban y construyen prototipos de software para terminar en el sistema final.

Las personas que componen un grupo o un equipo, como en todos los ámbitos deben cumplir ciertas características y cada uno de ellos dentro del equipo desarrolla un papel distinto. A continuación, se detalla cada componente del equipo dentro del desarrollo y cuál es la función de cada uno.

- **El experto**

La función del experto es la de poner sus conocimientos especializados a disposición del Sistema Experto.

- **El ingeniero del conocimiento**

Es el ingeniero que plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implementa en la base de conocimientos. Entre sus principales funciones destacan:

- Responsable de la fase de adquisición del conocimiento
- Participe de las fases de Modelización de conocimiento y evaluación.

- **El usuario**

El usuario aporta sus deseos y sus ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el Sistema Experto.

En el desarrollo de un Sistema Experto, el ingeniero del conocimiento y el experto trabajan muy unidos. El primer paso consiste en elaborar los problemas que deben ser resueltos por el sistema. Precisamente en la primera fase de un proyecto es de vital importancia determinar correctamente el ámbito estrechamente delimitado de trabajo.

Aquí se incluye ya el usuario posterior, o un representante del grupo de usuarios. Para la aceptación, y en consecuencia para el éxito, es de vital y suma importancia tener en cuenta los deseos y las ideas del usuario.

Una vez delimitado el dominio, se alimenta el sistema con los conocimientos del experto. El experto debe comprobar constantemente que su conocimiento haya sido transmitido de la forma más conveniente. El ingeniero del conocimiento

es responsable de una implementación correcta, pero no de la exactitud del conocimiento. La responsabilidad de esta exactitud recae en el experto.

De ser posible, el experto deberá tener comprensión para los problemas que depara el procesamiento de datos. Ello facilitará mucho el trabajo. Además, no debe ignorarse nunca al usuario durante el desarrollo, para que al final se disponga de un sistema que le sea de máxima utilidad.

La estricta separación entre usuario, experto e ingeniero del conocimiento no deberá estar siempre presente. Pueden surgir situaciones en las que el experto puede ser también el usuario. Este es el caso, cuando exista un tema muy complejo cuyas relaciones e interacciones deben ser determinadas una y otra vez con un gran consumo de tiempo. De esta forma el experto puede ahorrarse trabajos repetitivos.

La separación entre experto e ingeniero del conocimiento permanece, por regla general, inalterada.

## **2.6. LÓGICA DIFUSA**

Básicamente la Lógica Difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento. (González, 2013)

Los primeros estudios de la lógica difusa fueron realizados en 1965 por el ingeniero Lotfy A. Zadeh, con el principio de incompatibilidad: *“Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes”*. La lógica difusa permite a los sistemas trabajar con información que no es exacta, es decir dicha información contiene un alto grado de imprecisión, contrario a la lógica tradicional que trabaja con información definida y precisa.

### **2.6.1. Conjuntos difusos**

El primer ejemplo utilizado por Lofti A. Zadeh, para ilustrar el concepto de conjunto difuso, fue el conjunto *“hombres altos”*. Según la teoría de la lógica clásica el conjunto *“hombres altos”* es un conjunto al que pertenecerían los hombres con

una estatura mayor a un cierto valor, que podemos establecer en 1.80 metros, por ejemplo, y todos los hombres con una altura inferior a este valor quedarían fuera del conjunto. Así tendríamos que un hombre que mide 1.81 metros de estatura pertenecería al conjunto “*hombres altos*”, y en cambio un hombre que mida 1.79 metros de altura ya no pertenecería a ese conjunto. Sin embargo, no parece muy lógico decir que un hombre es alto y otro no lo es cuando su altura difiere en dos centímetros. El enfoque de la lógica difusa considera que el conjunto “*hombres altos*” es un conjunto que no tiene una frontera clara para pertenecer o no pertenecer a él: mediante una función que define la transición de “*alto*” a “*no alto*” se asigna a cada valor de altura un grado de pertenencia al conjunto, entre 0 y 1. Así por ejemplo, un hombre que mida 1.79 podría pertenecer al conjunto difuso “*hombres altos*”(…). Visto desde esta perspectiva se puede considerar que la lógica clásica es un caso límite de la lógica difusa en el que se asigna un grado de pertenencia 1 a los hombres con una altura mayor o igual a 1.80 y un grado de pertenencia 0 a los que tienen una altura menor. (Perez, 2005)

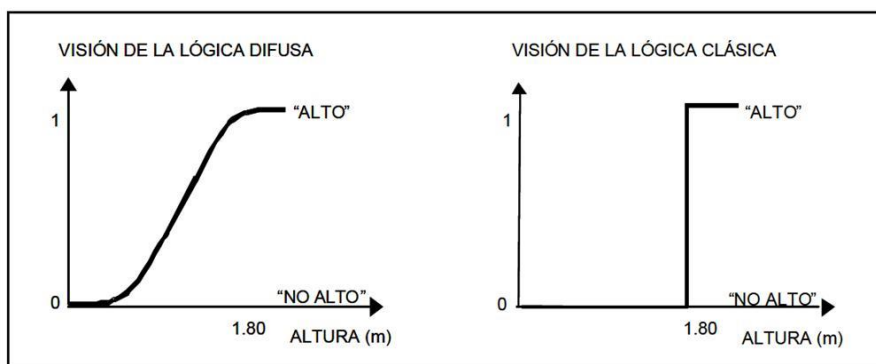


Figura 2. Comparación de la lógica difusa y la lógica clásica  
Fuente: <http://univia.info/wp-content/uploads/2016/02/lf1b.jpg>

Así pues, los conjuntos difusos pueden ser considerados como una generalización de los conjuntos clásicos: la teoría clásica de conjuntos sólo contempla la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un conjunto, sin embargo la teoría de conjuntos difusos contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1. Este grado de pertenencia se define mediante la función característica asociada al conjunto difuso:

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

### 2.6.2. Función de Pertenencia o membresía

Conforme a la investigación de Pérez (2005), formalmente, un conjunto clásico  $A$ , en un universo de discurso  $U$ , se puede definir de varias formas: enumerando los elementos que pertenecen al conjunto, especificando las propiedades que deben cumplir los elementos que pertenecen a ese conjunto o, en términos de la *función de pertenencia*  $\mu_A(x)$ :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$$

Se puede además decir que el conjunto  $A$  es matemáticamente equivalente a su función de pertenencia o característica  $\mu_A(x)$ , ya que conocer  $\mu_A(x)$  es lo mismo que conocer  $A$ . Un conjunto difuso en el universo de discurso  $U$  se caracteriza por una función de pertenencia  $\mu_A(x)$  que toma valores en el intervalo  $[0,1]$ , y puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento  $x$  y su valor de pertenencia al conjunto:

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

De acuerdo con Olmo (2008), la función de pertenencia de un conjunto indica el grado en que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto. Es decir, la función de pertenencia de un conjunto  $A$  sobre un universo  $X$  será de la forma:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

donde  $\mu_A(x) = r$  si  $r$  es el grado en que  $x$  pertenece a  $A$ .

Si el conjunto es nítido, su función de pertenencia (función característica) tomará los valores en  $\{0,1\}$ , mientras que, si es borroso, los tomará en el intervalo  $[0,1]$ . Si  $\mu_A(x) = 0$  el elemento no pertenece al conjunto, si  $\mu_A(x) = 1$  el elemento sí pertenece totalmente al conjunto.

Las funciones de pertenencia son una forma de representar gráficamente un conjunto borroso sobre un universo.

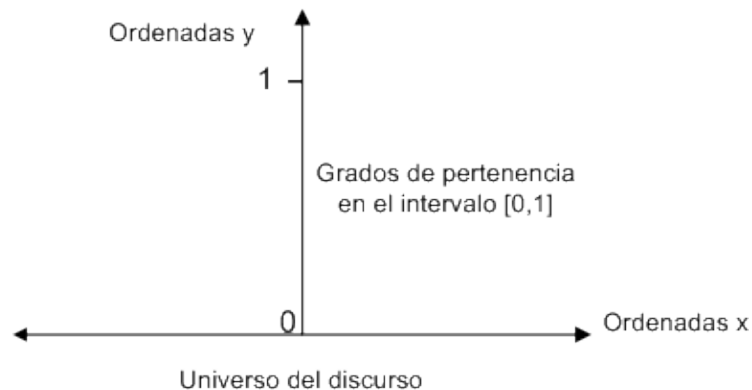


Figura 3. Eje de coordenadas

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/grafica5.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/grafica5.gif)

La función característica del conjunto de los elementos que verifican un predicado clásico está perfectamente determinada. No ocurre lo mismo cuando se intenta obtener la función de pertenencia de un conjunto formado por los elementos que verifican un predicado borroso. Dicha función dependerá del contexto (o universo) en el que se trabaje, del experto, del usuario, de la aplicación a construir, etc.

A la hora de determinar una función de pertenencia, normalmente se eligen funciones sencillas, para que los cálculos no sean complicados. En particular, en aplicaciones en distintos entornos, son muy utilizadas las triangulares y las trapezoidales:

### a) Función Triangular

Definida mediante el límite inferior  $a$ , el superior  $b$  y el valor modal  $m$ , tal que  $a < m < b$ . La función no tiene porqué ser simétrica.



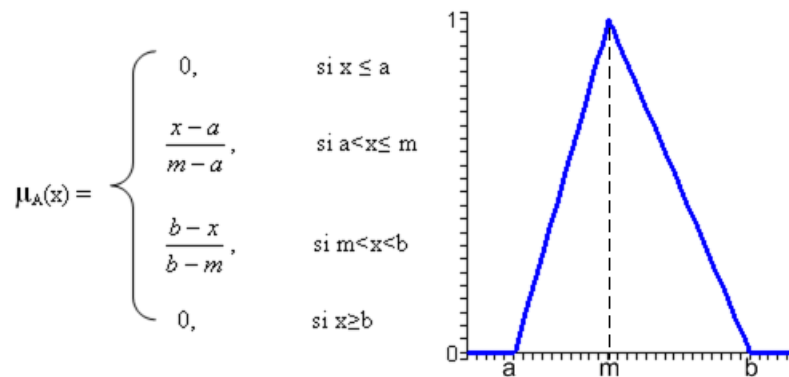


Figura 4. Función triangular

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/ftriangular.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/ftriangular.gif)

### b) Función Trapezoidal

Definida por sus límites inferior  $a$ , superior  $d$ , y los límites de soporte inferior  $b$  y superior  $c$ , tal que  $a < b < c < d$ .

En este caso, si los valores de  $b$  y  $c$  son iguales, se obtiene una función triangular.

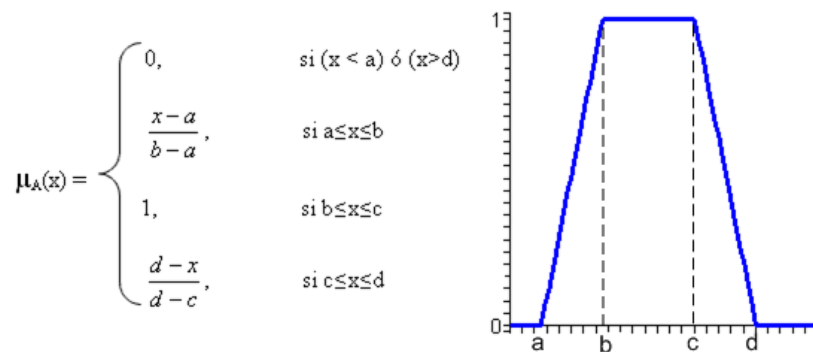


Figura 5. Función trapezoidal

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/ftrapezoidal.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/ftrapezoidal.gif)

### c) Función Sigmoidal

Definida por sus límites inferior  $a$ , superior  $b$  y el valor  $m$  o punto de inflexión, tales que  $a < m < b$ .

El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia  $a-b$ . Para el caso concreto de  $m=(a+b)/2$ , que es lo usual.

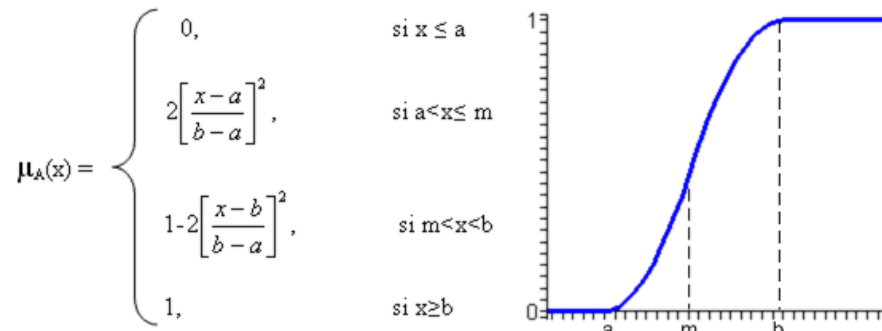


Figura 6. Función sigmoideal

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/fsigmoidal.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/fsigmoidal.gif)

### d) Función Gamma

Definida por su límite inferior  $a$  y el valor  $k > 0$ .

Esta función se caracteriza por un rápido crecimiento a partir de  $a$ ; cuanto mayor es el valor de  $k$ , el crecimiento es más rápido.

Nunca toma el valor  $\mu_A(x) = 1$ , aunque tienen una asíntota horizontal en dicho valor.

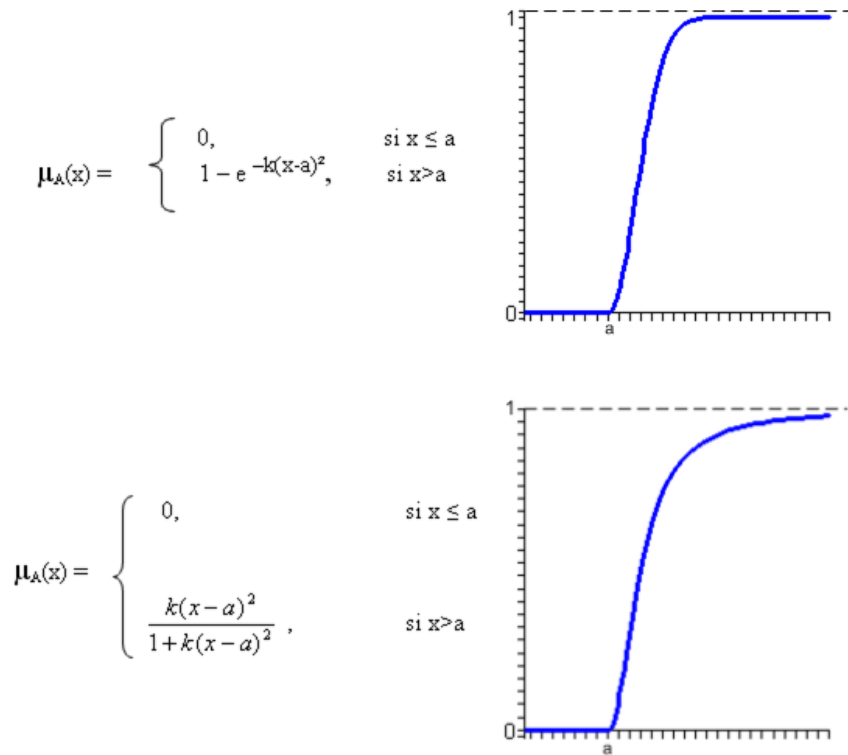


Figura 7. Función Gamma

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/fgamma22.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/fgamma22.gif)

### e) Función Gaussiana

Definida por su valor medio  $m$  y el parámetro  $k > 0$ . Esta función es la típica campana de Gauss y cuanto mayor es el valor de  $k$ , más estrecha es dicha campana.

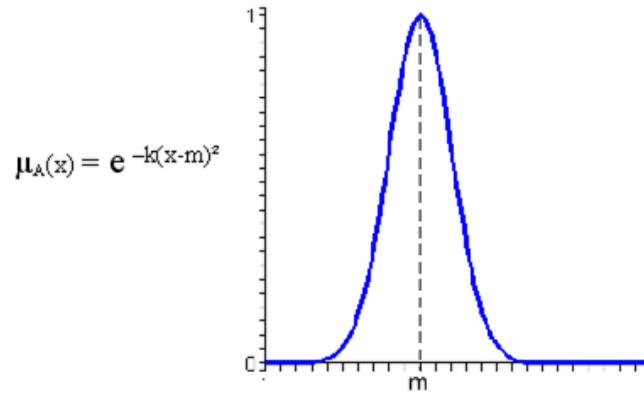


Figura 8. Función Gaussiana

Fuente:

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/imagenes/fgaussiana.gif](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/imagenes/fgaussiana.gif)

### 2.6.3. Operaciones de Conjuntos Difusos

Perez (2005) define en su investigación, que las operaciones básicas entre conjuntos difusos son las siguientes:

- a) El conjunto complementario  $\bar{A}$  de un conjunto difuso  $A$  es aquel cuya función característica viene definida por:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

- b) La unión de dos conjuntos difusos  $A$  y  $B$  es un conjunto difuso  $A \cup B$  en  $U$  con función de pertenencia es:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- c) La intersección de dos conjuntos difusos  $A$  y  $B$  es un conjunto difuso  $A \cap B$  en  $U$  con función característica:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

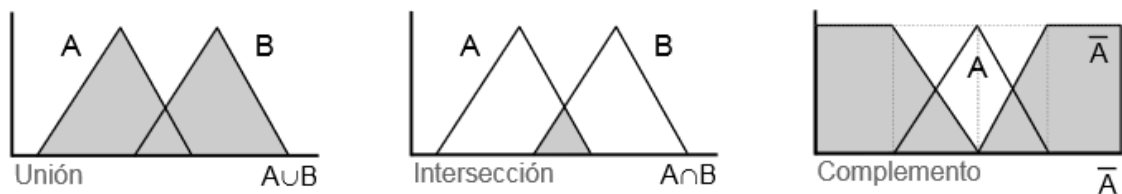


Figura 9. Descripción gráfica de operaciones con conjuntos difusos.

Fuente: (González, 2013)

Estas tres operaciones definidas para conjuntos difusos cumplen al igual que en la teoría clásica de conjuntos, asociatividad, conmutatividad y distributividad así como las leyes de Morgan.

Sin embargo, también hay que destacar que existen dos leyes fundamentales de la teoría clásica de conjuntos como son el Principio de contradicción:  $A \cup \bar{A} = U$ , y el Principio de exclusión:  $A \cap \bar{A} = \emptyset$  que no se cumplen en la teoría de conjuntos difusos; de hecho, una de las formas para describir en qué se diferencia la teoría clásica de conjuntos de la teoría difusa es explicar que estas dos leyes en términos de lógica difusa no se cumplen. En consecuencia, algunas de las teorías derivadas de la teoría de conjuntos como por ejemplo la de la probabilidad será muy diferente planteada en términos difusos.

Las funciones que definen la unión y la intersección de conjuntos difusos pueden generalizarse, a condición de cumplir ciertas restricciones. Las funciones que cumplen estas condiciones se conocen como Conorma Triangular (T-Conorma) y Norma Triangular (T-Norma). Los principales operadores que cumplen las condiciones para ser t-conormas son el operador máximo y la suma algebraica

$$[\mu_{(A \cup B)}(x) = \mu_{(A)}(x) + \mu_{(B)}(x) - \mu_{(A)}(x) \mu_{(B)}(x)]$$

y los principales operadores que cumplen las condiciones para ser t-normas son el operador mínimo y el producto algebraico

$$[\mu_{(A \cap B)}(x) = \mu_{(A)}(x) \mu_{(B)}(x)].$$

En la mayoría de las aplicaciones a la ingeniería de la lógica difusa se usan como t-conorma el operador máximo y como t-norma los operadores mínimo o producto.

#### **2.6.4. Variable Lingüística**

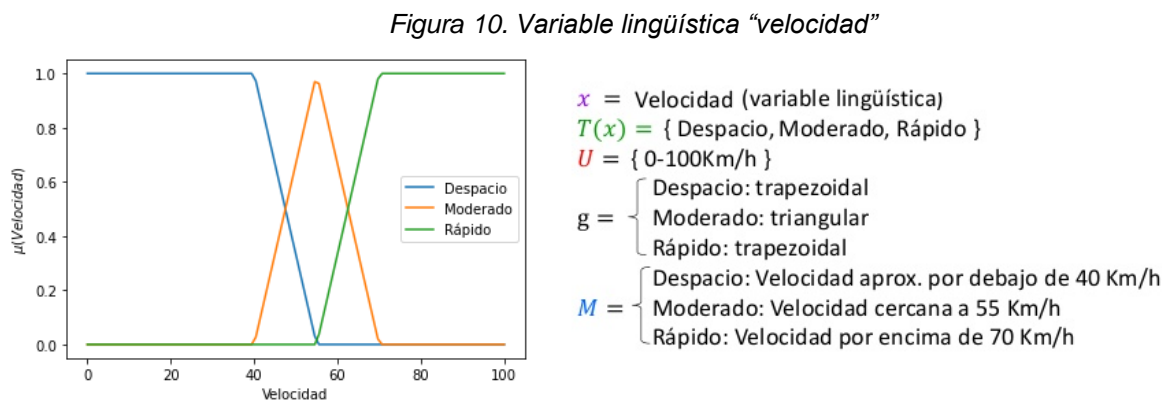
González (2013), afirma que una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no se tenga una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos. Así, una variable lingüística está caracterizada por una quintupla:

$$(X, T(X), U, g, M)$$

- $X$  es el nombre de la variable.

- $T(X)$  es el conjunto de términos de  $X$ ; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).
- $U$  es el universo del discurso (o dominio subyacente). Por ejemplo, si la hablamos de temperatura “Cálida” o “Aproximadamente 25°”, el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).
- $g$  es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en  $T(X)$ , como podrían ser “muy alto”, “no muy bajo”.
- $M$  es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de  $X$  su significado  $M(X)$  ( $M(X)$  denota un subconjunto difuso en  $U$ ).

Por ejemplo:



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.5. Métodos para el cálculo de función de pertenencia

De acuerdo con Ponce (2010), las funciones de pertenencia pueden calcularse de diversas formas. El método a elegir depende de la aplicación en particular, del modo en que se manifieste la incertidumbre y en el que ésta sea medida durante los experimentos.

#### a) Método horizontal

Se basa en las respuestas de un grupo de  $N$  “expertos”.

- La pregunta tiene el formato siguiente:  
 “¿Puede  $x$  ser considerado compatible con el concepto  $A$ ?”
- Sólo se acepta un “SÍ” o un “NO”, de manera que:

$$A(x) = \text{respuestasAfirmativas} / N$$

**b) Método vertical**

Se escogen varios valores para  $\alpha$ , para construir sus  $\alpha$  2 cortes.

- Ahora la pregunta es la siguiente, efectuada para esos valores de  $\alpha$  predeterminados: “Identifique los elementos de  $X$  que pertenecen a  $A$  con grado no menor que  $\alpha$ ”.
- A partir de esos  $\alpha$  2 cortes se identifica el conjunto difuso  $A$  (usando el llamado “principio de identidad” o teorema de representación).

**c) Método basado en la especificación del problema**

- Requiere una función numérica que quiera ser aproximada.
- El error se define como un conjunto difuso: mide la calidad de la aproximación.

**d) Método basado en la optimización de parámetros**

- La forma de un conjunto difuso  $A$  depende de unos parámetros denotados por el vector  $p$ : representado por  $A(x; p)$ .
- Se obtiene algunos resultados experimentales en la forma de parejas (elemento, grado de pertenencia):  $(E_k, G_k)$  con  $k = 1, 2, \dots, N$ .
- El problema consiste en optimizar el vector  $p$ , por ejemplo reduciendo el error cuadrático:

$$\min_p \sum_{k=1}^N [G_k - A(E_k; p)]^2$$

**e) Método basado en la agrupación difusa (Fuzzy Clustering)**

- Se trata de agrupar los objetos de un universo en grupos (solapados) cuyos niveles de pertenencia a cada grupo son vistos como grados difusos.
- Existen varios algoritmos de Fuzzy Clustering, pero el más aceptado es el algoritmo de “fuzzy isodata”.

### 2.6.6. Reglas difusas

Según Diciembre (2017), las reglas difusas son proposiciones asociadas a adverbios que pueden transformar los conjuntos difusos. Estas reglas emplean sentencias del tipo *IF-THEN (SI-ENTONCES)*

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

El <*antecedente*> y el <*consecuente*> son Proposiciones Difusas que pueden formarse usando conjunciones (*AND*) o disyunciones (*OR*). En los sistemas de reglas clásicos, si el antecedente es verdadero, el consecuente es también verdadero. En sistemas donde el antecedente es difuso, todas las reglas se ejecutan parcialmente, y el consecuente es verdadero en cierto grado.

Por ejemplo; si se trabaja con un invernadero en el que se tiene una válvula que se puede abrir o cerrar para modificar la temperatura del interior del invernadero. Se obtendría una regla sencilla: *SI* la Temperatura es Alta *ENTONCES* Abrir la válvula Poco.

### 2.6.7. Inferencia Difusa

Se entiende por inferencia borrosa la interpretación de las reglas del tipo *SI-ENTONCES(IF-THEN)* con el fin de obtener las conclusiones de las variables lingüísticas de salida, a partir de los valores de las variables de entrada. La inferencia se basa en el paradigma "*Modus Ponens Generalizado*" el cual se puede interpretar como la transformación de los grados de cumplimiento del lado izquierdo de las reglas a grados de posibilidad de los lados derechos de las mismas. (Diciembre, 2017)

El sistema de inferencia difuso consiste de tres componentes conceptuales:

- Reglas difusas,
- Diccionario (con funciones de pertenencia),
- Mecanismo de raciocinio

Los dos tipos de sistemas de inferencia difusa más usados son los llamados métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK).



### 2.6.8. Inferencia de Mamdani

Según González (2013), es posible que el método más ampliamente utilizado, es el propuesto por Ebrahim Mamdani en 1975. El proceso que se realiza en este método consta de cuatro pasos:

#### 1. Fuzzificación de las variables de entrada.

La *fuzzificación* es un proceso que permite asociar a un valor numérico un conjunto difuso, asignándole un grado de pertenencia según un término lingüístico a partir de la función de pertenencia. Este proceso responde a un conjunto de normas preestablecidas, conceptualizadas a partir del conocimiento que brinda el razonamiento humano a través de un sistema implementado vía software. También se conoce como “borrosificación”.

#### 2. Evaluación de las reglas.

Se toman las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador *AND* u *OR* para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente. Para evaluar la disyunción (operador *OR*) habitualmente se emplea la T-Conorma estándar (máximo), definida como hemos visto como:  $\mu_{A \cup B}(x) = \text{máx} [\mu_A(x), \mu_B(x)]$ . De igual forma, para el *AND* se usa habitualmente la T-Norma estándar del mínimo. Finalmente, el resultado de la evaluación del antecedente se aplica al consecuente, realizando un *recorte* o *escalado* según el valor de verdad del antecedente. El método más comúnmente utilizado es el *recorte* (*clipping*) que corta el consecuente con el valor de verdad del antecedente. El *escalado* proporciona un valor más preciso, preservando la forma original del conjunto difuso. Se obtiene multiplicando todos los valores por el valor de verdad del antecedente.

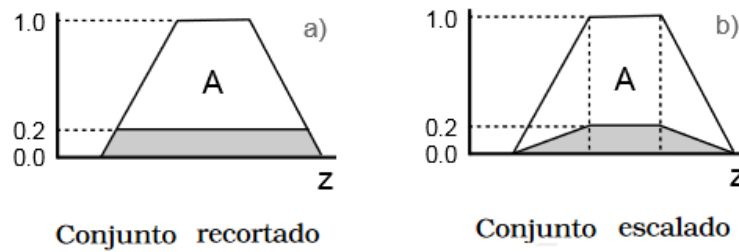


Figura 11. Comparación de recorte a) y escalado b) de un conjunto difuso  
Fuente: González (2013)

### 3. Agregación de las salidas de las reglas.

La agregación es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas; es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o escalados, combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida.

### 4. Defuzzificación.

La defuzzificación, es el proceso inverso a la *fuzzificación*. El proceso de defuzzificación permite asociar a un conjunto difuso un valor numérico y se lleva a cabo para calcular el valor de salida de los modelos difusos. De hecho, el sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero se expresa en términos difusos. Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto; es por eso que existen diferentes métodos de *defuzzificación* y arrojan resultados distintos. El más común y ampliamente usado es el método del *centroide* que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa.

$$Centroide = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)}$$

En el método de Mamdani es habitual listar todas las reglas difusas para saber cómo se obtiene la salida del sistema.

Regla 1: if X es **BAJO** and Y es **BAJO** then Z es **ALTO**  
 Regla 2: if X es **BAJO** and Y es **ALTO** then Z es **BAJO**  
 Regla 3: if X es **ALTO** and Y es **BAJO** then Z es **BAJO**  
 Regla 4: if X es **ALTO** and Y es **ALTO** then Z es **ALTO**

Figura 12. Ejemplo de reglas difusas en un sistema Mamdani  
 Fuente: (Gonzales, 2013)

Otra manera muy extendida de presentar las reglas es mediante una tabla:

		X	
		BAJO	ALTO
Y	BAJO	ALTO	BAJO
	ALTO	BAJO	ALTO

Figura 13. Tabla de Mamdani  
 Fuente: (Gonzales, 2013)

## 2.7. METODOLOGÍA BUCHANAN

De acuerdo con la investigación de Apaza (2015), la metodología Buchanan que tiene como pilar básico la adquisición de conocimiento de distintas fuentes como ser libros, expertos, otros.

Según Widemann (2010), la metodología de Buchanan se caracteriza por la constante relación entre el ingeniero del conocimiento y el experto del área abordada.

### 2.7.1. Ciclo de vida

Esta metodología se basa en el típico ciclo de vida en cascada (Figura 14) utilizado en los inicios de la ingeniería del software, de la que se puede deducir que el proceso de construcción de un sistema experto se plantea como un proceso de revisión casi constante, que puede implicar la redefinición de los conceptos, de las representaciones o el refinamiento del sistema implementado. Este refinamiento pasa por repetir el ciclo en sus dos últimas etapas para de esta forma ajustar la base de conocimiento y las estructuras de control hasta alcanzar el comportamiento deseado. (Palma, Paniagua, Martín, & Marín, 2000)

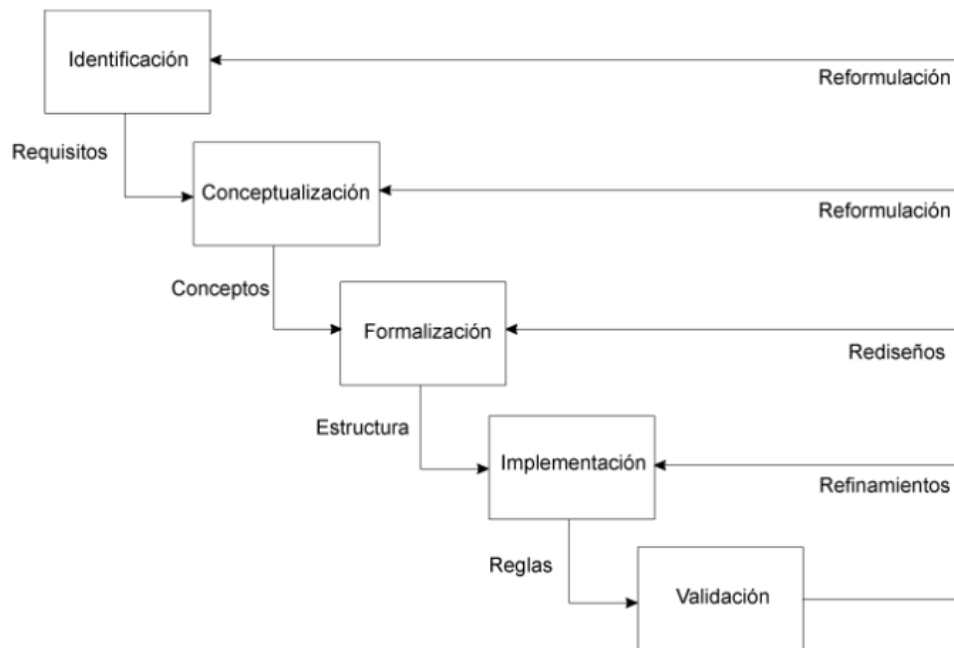


Figura 14. Modelo de ciclo de vida propuesto por Buchanan  
Fuente: (Palma, Paniagua, Martín, & Marín, 2000)

De acuerdo con la investigación de Apaza (2015), la metodología Buchanan consta de cinco etapas.

### 2.7.2. Identificación

Esta es la fase mediante la que se reconocen aspectos importantes del problema, como son los participantes (expertos del dominio, ingenieros del conocimiento y futuros usuarios), abarca la lectura de libros o artículos, las entrevistas con los profesionales familiarizados con el tema y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar con la construcción del sistema. Se identifican también los objetivos y metas que deben ser realizadas por el sistema experto. Estos objetivos son importantes para determinar que lenguaje y que sistema se usará. El ingeniero de conocimiento debe tener un dominio amplio del problema como para conversar inteligentemente con el experto.

### **2.7.3. Conceptualización**

En esta fase uno de los objetivos es delimitar el sistema, por medio de entrevistas con el experto, con el objetivo de identificar y caracterizar el problema informalmente. El experto y el ingeniero del conocimiento tratan de encontrar conceptos que representen el conocimiento del experto, al mismo tiempo intentan determinar cómo es el flujo de información durante el proceso de resolución de problemas.

### **2.7.4. Formalización**

Esta fase consiste en traducir los conceptos clave, los subproblemas, y las características del flujo de información identificada durante la fase anterior, para así obtener la estructura de inferencia del sistema experto, con esto se empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requieren para realizar cada una de las tareas que va a resolver el sistema. Esto es de suma importancia para la tarea de definición del sistema experto y para mantener una adecuada documentación del mismo.

### **2.7.5. Implementación**

En esta fase, el ingeniero de conocimiento define el prototipo del sistema experto, esta tarea implica comprobar si hemos conceptualizado y formalizado bien el conocimiento que el experto tiene sobre el problema. Se definen los conceptos primitivos con la forma de representación elegida, este es el primer paso para la implementación del prototipo, a medida que se desarrolla el prototipo se deberá realizar y procurar lo siguiente:

- El formalismo usado es el apropiado para reflejar los conceptos y el proceso de inferencia del experto.
- Las características particulares de construcción del lenguaje capturen exactamente los aspectos estructurales más importantes de los conceptos usados por el experto.
- La estructura del control del lenguaje al activar las reglas refleje la estrategia usada por el experto. Se puede representar las reglas definidas y en ocasiones los resultados obtenidos al usar las reglas para que el experto manifieste su opinión sobre la representación y las soluciones.

### **2.7.6. Testeo o prueba**

Esta fase consiste en la evaluación del rendimiento del prototipo (interfaz de usuario) construido para encontrar errores o anomalías en la base de conocimientos o en los mecanismos de inferencia del Sistema Experto.

## **2.8. HERRAMIENTAS**

### **2.8.1. Python**

De acuerdo con la información publicada en el blog Itelligent (2018), Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados, encargado de asegurarse de que la sintaxis haga posible que el código sea legible. Está considerado un lenguaje multiparadigma, al poder ser enfocado a varios estilos, y posee la ventaja de ser de código abierto, lo que permite que cualquiera pueda acceder a él. Desde que en 1991 se publicó el código, han ido evolucionando sus características, las cuales van siendo planteadas desde su filosofía de transparencia y legibilidad:

- Python puede ser fácil de aprender si eres programador o si tienes experiencia con otros lenguajes programación.
- Friendly & fácil de aprender. La comunidad organiza conferencias y reuniones, colabora en el código entre otras actividades.
- Aplicaciones. El Índice de paquetes de Python (PyPI) alberga miles de módulos de terceros para Python. Tanto la biblioteca estándar de Python como los módulos aportados por la comunidad permiten infinitas posibilidades.
- Open Source. Python se desarrolla bajo una licencia de código abierto aprobada por OSI, por lo que se puede usar y distribuir libremente, incluso para uso comercial. La licencia de Python es administrada por Python Software Foundation.

Uno de los principales objetivos del uso de Python es conseguir evitar complicaciones y ahorrar tiempo. Además, es muy útil para trabajar con grandes volúmenes de datos, ya que nos favorece los procesos de extracción y procesamiento de estos. Por este motivo, cuando se habla de Big Data también suele mencionarse Python. Algunos de los usos más comunes para los que sirve Python son:

- Realizar cálculos científicos y de ingeniería.
- Desarrollo web.
- Programación de videojuegos.
- Ejecutar programas gráficos.
- Creación de efectos especiales.

### 2.8.2. Flask

Según Hipertextual SL (2014) es un *microframework*<sup>5</sup> de python desarrollado por Armin Ronacher que te permite crear aplicaciones web en un abrir y cerrar de ojos, todo con una cantidad absurdamente pequeña de líneas de código.

Flask, a diferencia de Django y Pyramid, no trae cientos de módulos para abordar las tareas más comunes en el desarrollo web, más bien se enfoca en proporcionar lo mínimo necesario para poner a funcionar una aplicación básica en cuestión de minutos. Es perfecto, por ejemplo, para el prototipado rápido de proyecto.

Incluye un servidor web de desarrollo para probar aplicaciones sin tener que instalar algo como Nginx o Apache. También trae un depurador y soporte integrado para pruebas unitarias. Tiene un excelente soporte para Unicode y es compatible 100% con WSGI 1.0.

### 2.8.3. HTML

De acuerdo con el autor Eslava (2012), HTML, siglas de HyperText Markup Language (“lenguaje de marcado de hipertexto”), hace referencia al lenguaje de marcado predominante para la elaboración de páginas web que se utiliza para describir y traducir la estructura y la información en forma de texto, así como para complementar el texto con objetos tales como imágenes.

El HTML se escribe en forma de “etiquetas”, rodeadas por corchetes angulares (<, >). HTML también puede describir, hasta un cierto punto, la apariencia de un documento, y puede incluir un script (por ejemplo, JavaScript), el cual puede afectar el comportamiento de navegadores web y otros procesadores de HTML.

---

<sup>5</sup> **Microframework**, término utilizado para referirse a marcos de aplicaciones web minimalistas, y se contrasta con los marcos completos.

El HTML fue creado originalmente por Tim Berners-Lee. Luego en los años 90 se desarrolló con el crecimiento de Web (internet). Durante este tiempo, el HTML se ha desarrollado gracias a la colaboración de todos los programadores y usuarios de internet.

El HTML ha pasado por varias versiones cada una de ellas aportaba nuevas funcionalidades e intentaba adaptar el lenguaje web a las nuevas necesidades de ellos usuarios. Actualmente el estándar está en la versión 5.

#### **2.8.4. CSS**

El autor G. Schulz (2008), indica: las hojas de estilo en cascada (Cascading Stulesheets) ofrecen propiedades para ampliar el lenguaje HTML en la representación visual de las páginas Web. El lenguaje CSS, definido por primera vez en el año 1996, es el más conocido y utilizado para definir propiedades de formato de los diferentes elementos HTML. Este lenguaje permite vinculas los documentos HTML con “plantillas de documento” (hojas de estilo o Stylesheets), que, además de contener la información topográfica de los elementos visuales de la página, permiten separar completamente la estructura de contenidos de su representación y presentación actuales, no solo en el monitor sino en cualquier pantalla imaginable (móvil, PDA, etc.), tecnología de soporte (lectores de pantalla, líneas en Braille) o en el papel impreso. El propio lenguaje (X)HTML se ha visto reforzado para la construcción de las estructuras lógicas de la página.

#### **2.9. PRUEBAS DE CAJA NEGRA**

Las pruebas de caja negra (Black-Box Testing) son pruebas funcionales. Se parte de los requisitos funcionales, a muy alto nivel, para diseñar pruebas que se aplican sobre el sistema sin necesidad de conocer como está construido por dentro (Caja negra). Las pruebas se aplican sobre el sistema empleando un determinado conjunto de datos de entrada y observando las salidas que se producen para determinar si la función se está desempeñando correctamente por el sistema bajo prueba. Las herramientas básicas son observar la funcionalidad y contrastar con la especificación. (Pruebas de Caja Negra y Caja Blanca, 2009)



Según los apuntes del repositorio del FIC (Facultad de Informática de Coruña)(2010), las pruebas de caja negra se centran en los resultados del sistema inteligente y no en su estructura interna. Esta aproximación tiene la ventaja de que es independiente de la tecnología subyacente en la que se ha implementado el sistema inteligente de forma que se puede desarrollar una herramienta general que no dependa de la estructura de representación del conocimiento. Otra ventaja que se obtiene es que los índices de rendimiento definidos también son independientes de la implementación y comunes para todo tipo de sistemas inteligentes.

El inconveniente de tratar el sistema inteligente como una caja negra es que los índices obtenidos dan información sobre el rendimiento del sistema, pero no informan las causas que provocan errores o problemas (como pasa en las pruebas de caja blanca). Sin embargo, aunque la herramienta no indique en que regla se ha producido el error, si indica como el rendimiento del sistema, qué tendencias existen en las interpretaciones, qué categorías semánticas son las más comunes a la salida, etc. Toda esta información sirve al ingeniero del conocimiento para identificar fallos en la estructura del sistema inteligente y para refinar las bases de conocimientos.

## **2.10. CALIDAD DEL SOFTWARE**

Normalmente, en el desarrollo académico de software<sup>6</sup>, se construyen prototipos que son pruebas de concepto que son parte de un proyecto de investigación. Varias de las características del desarrollo académico de software son diferentes a las del desarrollo en la industria (productos finales); en virtud de la calidad del prototipo del Sistema Experto, se adopta para el trabajo el Framework para la mejora de la calidad de Vallespir.

### **2.10.1. Framework para la mejora de la calidad**

Es un framework propuesto por Vallespir (2006), para mejorar la calidad del software desarrollado en investigación en las universidades, que en su mayoría presentan prototipos de un software que posteriormente puede ser llevado a la industria, o sirve como prueba para teorías y conceptos.

---

<sup>6</sup> **Desarrollo académico de software**, desarrollo de prototipos de software en universidades.

El Framework define distintos Niveles de Calidad, cada nivel tiene asociado un conjunto de actividades que deben realizar los desarrolladores para que el prototipo se encuentre en ese Nivel de Calidad. Los niveles van del uno al seis, y a medida que se sube de nivel se agregan actividades, manteniendo las del nivel anterior. Las actividades propuestas acompañan las distintas etapas del desarrollo: Requerimientos, Diseño y Pruebas.

Las actividades dentro de la ingeniería de software se pueden dividir en actividades de construcción<sup>7</sup> y actividades de apoyo a la construcción. El Framework para la mejora de la calidad, se basa en actividades de construcción, pues las actividades de apoyo aportan poco para los objetivos que se quieren lograr cuando se realiza prototipado.

Las actividades del Framework son entidades independientes, pero se organizan según el Nivel de Calidad que se quiera obtener en el prototipo de software. Cada nivel define un tipo de prototipo que se espera conseguir al trabajar en el mismo.

Tabla 3. Actividades del Framework y niveles de calidad

ACTIVIDADES		NIVELES DE CALIDAD					
		1	2	3	4	5	6
1	Relevar requerimientos y priorizarlos						
2	Generar casos de uso y priorizarlos						
3	Validar requerimientos						
4	Validar casos de uso						
5	Testing de los casos de uso						
6	Testing funcional del sistema						
7	Test de aceptación						
8	Establecimiento de cubrimiento (de requerimientos y casos de uso)						
9	Cantidad de fallas/Casos de prueba (de requerimientos y casos de uso)						

<sup>7</sup> Las **actividades de construcción** son aquellas que pertenecen a las disciplinas de Requerimientos, Diseño, Implementación y Verificación.

10	Midiendo el cubrimiento (de requerimientos y casos de uso)							
11	Planificación del testing (de requerimientos y casos de uso)							
12	Test de regresión (de requerimientos y casos de uso)							
13	Especificación de componentes							
14	Midiendo el diseño							
15	Establecimiento de cubrimiento (de componentes)							
16	Planificación del testing (de componentes)							
17	Testing de componentes							
18	Test de regresión (de componentes)							
19	Cantidad de fallas/Casos de prueba (de componentes)							
20	Midiendo el cubrimiento (de componentes)							
21	Especificación de clases							
22	Especificación de métodos							
23	Planificación del testing (de clases)							
24	Establecimiento del cubrimiento (de clases)							
25	Testing intraclases							
26	Testing de métodos							
27	Test de regresión (de clases)							
28	Cantidad de fallas/Casos de prueba (de clases)							
29	Midiendo el cubrimiento (de clases)							

Fuente: (Vallespir, 2006)

Cada Nivel tiene asociado el tipo de prototipo que se espera conseguir al ejecutar las actividades. Para el Nivel 1 simplemente se espera conocer qué es lo que se tiene que construir. El Nivel 2 permite obtener un prototipo funcional. Un prototipo con fallas conocidas se puede obtener en el Nivel 3. En el Nivel 4 el prototipo está controlado; los cambios no deberían provocar que dejen de ejecutar correctamente las funcionalidades que antes estaban correctas. El Nivel 5 tiene controlado el prototipo también a nivel de componentes y se conocen las fallas de cada una. Este

prototipo es extensible, modificable y sus componentes pueden ser reutilizadas en otros desarrollos. En el Nivel 6 el prototipo que se espera debe tener menor cantidad de defectos que si se desarrollara en el nivel anterior. Además, se conoce el comportamiento del mismo a nivel de cada clase que compone el sistema. (Vallespir, 2006)

Los Niveles de Calidad que propone este framework se describen a continuación:

- **Nivel de Calidad 1**

*Descripción:* En este nivel se desconoce el funcionamiento del producto de software final. Se tiene especificado de forma correcta qué es lo que desea el cliente. No se recomienda elegir este nivel.

*Actividades:*

- Relevar requerimientos y priorizarlos
- Validar requerimientos
- Generar casos de uso y priorizarlos
- Validar casos de uso

*Restricciones sobre las actividades:* No aplica

*Observaciones:* No aplica

*Documentos fuera de las actividades propuestas:*

- Manual de usuario.
- Manual técnico.

*En este Nivel se debe conseguir:*

- El producto especificado es el que el cliente necesita.
- El producto está especificado de forma que facilita el mantenimiento y la modificabilidad del mismo.
- El producto está especificado de forma tal de poder brindar las funcionalidades más importantes ya que estas fueron priorizadas.

- **Nivel de Calidad 2**

*Descripción:* En este nivel se conoce el funcionamiento del producto final en casos determinados por el cliente. Variar los datos respecto a los probados o cambiar el orden de ejecución puede dar resultados inesperados. Es un

nivel de alto riesgo pero permite realizar demos (usando únicamente los casos especificados en la prueba de aceptación).

*Actividades:*

- Relevar requerimientos y priorizarlos
- Validar requerimientos
- Generar casos de uso y priorizarlos
- Validar casos de uso
- Testing de los casos de uso
- Testing funcional del sistema
- Test de aceptación

*Restricciones sobre las actividades:*

- En la ejecución de los test de aceptación no se deben detectar fallas.

*Observaciones:* No aplica

*Documentos fuera de las actividades propuestas:*

- Manual de usuario.
- Manual técnico.

En este Nivel se debe conseguir

- Mayor probabilidad de construir el producto deseado que en el nivel 1.
- Mayor facilidad para mantener y/o modificar el producto que en el nivel 1.
- Menor cantidad de fallas que en el nivel 1 ya que obliga a tener casos de prueba que han sido ejecutados correctamente.
- Un producto en el cual determinadas funcionalidades, aplicando determinados datos, se pueden ejecutar correctamente.
- Todo lo que se consigue en el Nivel 1.

- **Nivel de Calidad 3**

*Descripción:* En este nivel se conocen fallas del sistema y cuánta funcionalidad del producto ha sido cubierta por los casos de prueba. Entonces, se pueden preparar futuras versiones sabiendo de antemano qué es lo que hay que corregir. También se tiene una idea de qué queda sin testear. Este nivel permite realizar demos con cierta confianza ya que se

conoce las funcionalidades que son correctas y aquellas que aún no se pueden ejecutar. Esto permite moverse por el sistema con mayor flexibilidad que en el nivel 2.

*Actividades:*

- Relevar requerimientos y priorizarlos
- Validar requerimientos
- Generar casos de uso y priorizarlos
- Validar casos de uso
- Testing de los casos de uso
- Testing funcional del sistema
- Test de aceptación
- Establecimiento de cubrimiento (de requerimientos y/o casos de uso)
- Cantidad de fallas/Casos de prueba (de requerimientos y/o casos de uso)
- Midiendo el cubrimiento (de requerimientos y/o casos de uso)

*Restricciones sobre las actividades:*

- En la ejecución de los test de aceptación no se deben detectar fallas.
- Se debe llevar un registro de las fallas encontradas a nivel de sistema y estas deben ser reproducibles. Restricciones sobre las actividades Testing de los Casos de Uso y Testing Funcional del Sistema.

*Observaciones:* No aplica

*Documentos fuera de las actividades propuestas:*

- Manual de usuario.
- Manual técnico.
- Estándar de codificación (se debe definir y seguir).

*En este Nivel se debe conseguir:*

- Conocer las fallas del sistema y poder reproducirlas.
- Un aumento en la capacidad de corrección de las faltas en el código si las pruebas están automatizadas. Esto aumenta la modifiabilidad y la mantenibilidad.

- Conocer la cantidad de fallas relacionada con la cantidad de casos de prueba funcionales ejecutados.
- Tener una idea acerca de la confiabilidad del sistema. Esta, entre otras cosas, depende del criterio de cubrimiento establecido y el nivel de adecuación que se alcanzó del mismo.
- Todo lo que se consigue en el Nivel 2.

Los Niveles 4, 5 y 6 no se describen detalladamente, ya que el nivel en el que se desarrolla el prototipo del Sistema Experto es el Nivel 3.

## **2.11. COSTOS**

El costo de la construcción de un Sistema Experto depende de las personas, los recursos y el tiempo destinado a su construcción. Además del hardware y software necesario para ejecutar una herramienta de Sistema Experto, también puede haber un costo considerable en la capacitación. Si el personal tiene poca o ninguna experiencia con una herramienta, puede ser costoso capacitarlos.

### **2.11.1. Método de puntos de función**

De acuerdo con el artículo publicado por los investigadores: Antúnez, Valdovinos, Marcial, Ramos, & Herrera, (2016), el método de puntos de función está definido como un método estándar para medir el desarrollo de software desde el punto de vista del usuario. En su funcionamiento, mediante la asignación de “puntos” identifica los componentes del sistema en términos de transacciones y grupos de datos lógicos que son relevantes para el usuario. Los puntos de función miden el tamaño de una aplicación planificada (lógico) o existente (funcional), también puede ser usado para medir el tamaño de los cambios de una aplicación existente. Si los cambios están en los requerimientos funcionales del usuario o el diseño está completado. El proceso general es el siguiente:

1. Determinar el tipo de conteo. Existen tres tipos de conteo de puntos de función: para proyectos en desarrollo, para proyectos en mantenimiento y para una aplicación desarrollada.

2. Identificar los alcances de la medición y los límites de la aplicación. Identificar el alcance es identificar los sistemas, aplicaciones o subconjuntos de una

aplicación que será medida. La frontera de la aplicación es el límite entre la aplicación que está siendo medida y las aplicaciones externas al dominio del usuario.

3. Conteo de las funciones de datos. Identificar y contar la capacidad de almacenamiento de los datos que representan la funcionalidad que satisfacen requerimientos de datos internos y externos. Se distinguen dos tipos de funciones de datos: ILF: Archivo Lógico Interno, es un grupo de datos internos relacionados que el usuario identifica, cuyo propósito principal es almacenar datos mantenidos a través de alguna transacción y EIF: Archivo Lógico Externo, es un grupo de datos externos relacionados y referenciados pero no mantenidos por alguna transacción dentro del conteo. El procedimiento a seguir es:

- a) Identificar archivos.
- b) Asignar a cada uno un tipo de ILF o EIF
- c) Identificar la cantidad de DET (Data Element Type) que es un campo único no repetitivo reconocible por el usuario y RET (Record Element Type) que es un conjunto de campos en un archivo, reconocible por el usuario.
- d) Asignar a cada uno un valor de complejidad (alta, media, baja) en función de la cantidad de DET y RET como se muestra en la Tabla 4.

*Tabla 4. Nivel de complejidad para los ILF y EIF*

	Número de campos			
	Para ILF/EIF	1 a 19 DET	20 a 50 DET	51 o más DET
<b>Número de registros</b>	1 RET	Baja	Baja	Media
	2 a 5 RET	Baja	Media	Alta
	6 o más RET	Media	Alta	Alta

Fuente: *Adaptado de Antúñez, Valdovinos, Marcial, Ramos, & Herrera (2016)*

4. Contar las funciones transaccionales. Identificar y contar la capacidad de realizar operaciones. Se distinguen tres tipos de funciones transaccionales: Entrada Externa (EI): Su propósito principal es mantener uno o más archivos lógicos internos, Salida Externa (EO): Su propósito principal es presentar información al usuario mediante un proceso lógico



diferente al de sólo recuperar datos y Consulta externa (EQ): Su propósito principal es presentar información al usuario leída de uno o más grupos de datos.

El procedimiento para contar las funciones transaccionales es:

- Identificar las transacciones.
- Asignar a cada una un tipo EI, EO o EQ.
- Identificar la cantidad de DET y FTR (*File Type Referenced*) que es un tipo de archivo al que se hace referencia en una transacción, tiene que ser un ILF o EIF.
- Asignar a cada una un valor de complejidad (alta, media, baja) en función de la cantidad de DET y FTR como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Nivel de complejidad para EI, EO, EQ

<b>EI/ EO /EQ</b>	<b>1 a 4 DET</b>	<b>5 a 15 DET</b>	<b>16 o más DET</b>
<b>0 a 1 FTR</b>	Baja	Baja	Media
<b>2 FTR</b>	Baja	Media	Alta
<b>3 o más FTR</b>	Media	Alta	Alta

Fuente: Adaptado de Antúnez, Valdovinos, Marcial, Ramos, & Herrera (2016)

5. Determinar los puntos de función sin ajustar (PFSA): Sumar el número de componentes de cada tipo conforme a la complejidad y utilizar la Tabla 6 para obtener el total.

Tabla 6. Cuenta total de puntos de función

	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Total</b>
<b>EI</b>	EI * 3	EI * 4	EI * 6	$\sum EI$
<b>EO</b>	EO * 4	EO * 5	EO * 7	$\sum EO$
<b>EQ</b>	EQ * 3	EQ * 4	EQ * 6	$\sum EQ$
<b>ILF</b>	ILF * 7	ILF * 10	ILF * 15	$\sum ILF$

<b>EIF</b>	<b>EIF * 5</b>	<b>EIF * 7</b>	<b>EIF * 10</b>	$\sum$ EIF
<b>Total (PFSA)</b>				$\sum$ PFSA

Fuente: *Adaptado de Antúnez, Valdovinos, Marcial, Ramos, & Herrera (2016)*

6. Determinar el valor del factor de ajuste: A través de una ponderación de 0 a 5 de catorce factores que completan la visión externa de la aplicación, se obtiene el GTI (Grado Total de Influencia), (Tabla 7)

*Tabla 7. Factores de complejidad*

<b>Nro.</b>	<b>Factor de complejidad</b>	<b>Valor</b>
1	Comunicación de datos	
2	Proceso distribuido	
3	Rendimiento	
4	Utilización con otros sistemas	
5	Tasa de transacciones	
6	Entrada de datos en línea	
7	Eficiencia con el usuario final	
8	Actualizaciones en línea	
9	Lógica del Proceso Interno Compleja	
10	Reusabilidad del código	
11	Contempla la conversión e instalación	
12	Facilidad de operación	
13	Instalaciones múltiples	
14	Facilidad de cambios	
<b>Factor de Complejidad Total (GTI)</b>		$\sum$ valor de los factores

Fuente: *Adaptado de Antúnez, Valdovinos, Marcial, Ramos, & Herrera (2016)*

7. Determinar los puntos de función ajustados. Una vez evaluadas las 14 características descritas anteriormente se suman para obtener el GTI. Posteriormente el GTI se aplica en la ecuación 3, y se obtiene el FAV (Factor de Ajuste de Valor).

$$FAV = (GTI * 0,01) + 0,65$$

Del total de puntos de función ajustados se utiliza la siguiente formula.

$$PF = FAV * PFSA$$

El cálculo del esfuerzo en horas-hombre se calcula a través de la ecuación:

$$Esfuerzo = \frac{PF}{\frac{1}{\# \text{ personas}}} \text{ horas-hombre} \quad (5)$$

Para calcular la duración en horas o en meses se debe aplicar la ecuación 6 y 7.

$$Duración \text{ en horas} = \frac{esfuerzo}{0.125} \quad (6)$$

$$Duración \text{ en meses} = \frac{Duración \text{ en horas}}{100 \text{ hrs/mes}} \quad (6)$$

$$Costo\_total = sueldode1participante * \#personas * duraciónenmeses + otros costos \quad (7)$$

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO APLICATIVO

En este capítulo se lleva a la práctica, los conceptos teorizados en el capítulo anterior para la construcción del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

#### 3.1. Desarrollo del prototipo del Sistema Experto

El prototipo del Sistema Experto se desarrolla con base en la metodología Buchanan, a continuación se describe el desarrollo de la misma:

##### 3.1.1. Identificación

Como una de las primeras fases para el desarrollo del prototipo del Sistema Experto, se realizó investigaciones en el área de la Inteligencia Artificial, identificando definiciones necesarias para el posterior desarrollo del prototipo del Sistema Experto; por otro lado, se realizaron también las investigaciones pertinentes en el campo de la psicología y el trastorno depresivo persistente con sus particularidades con respecto a los jóvenes, esta información es plasmada en el Capítulo II de este documento.

Se indagó acerca de los diagnósticos realizados por los psicólogos, siendo identificadas dos tipos principales: el diagnóstico psicológico estructural y el diagnóstico psicológico sintomático, siendo éste último aplicable para el desarrollo del prototipo del Sistema Experto.

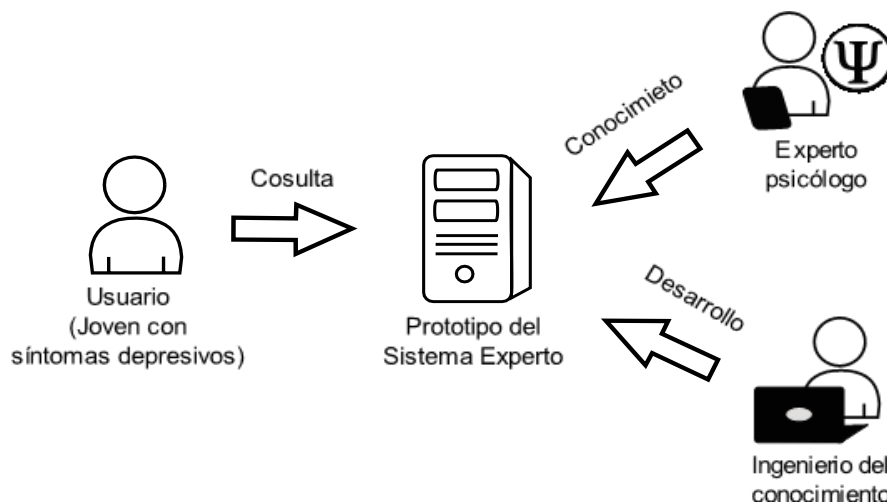
Para realizar el desarrollo del prototipo del Sistema Experto, se identificó el problema que se quiere resolver con la investigación, éste es plasmado en la *Figura 15*.



*Figura 15. El problema de no ser diagnosticado.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se identificaron a los participantes y sus roles en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto:

- Experto: psicólogo, que brinda su conocimiento en base a su experiencia.
- Ingeniero del conocimiento: Investigador, que representa el conocimiento del experto, desarrollando el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.
- Usuario: joven con síntomas depresivos que requiere de un diagnóstico.



*Figura 16. Participantes y sus roles en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto*  
*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1.2. Conceptualización

En esta etapa del desarrollo del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, se realizaron entrevistas al experto psicólogo para complementar la información ya recabada con base en el DSM 5 y el CIE-11 que indican los parámetros de diagnóstico de enfermedades psicológicas.

El flujo de los datos para realizar el diagnóstico de distimia, se interpreta de la siguiente manera (*Figura 17*):

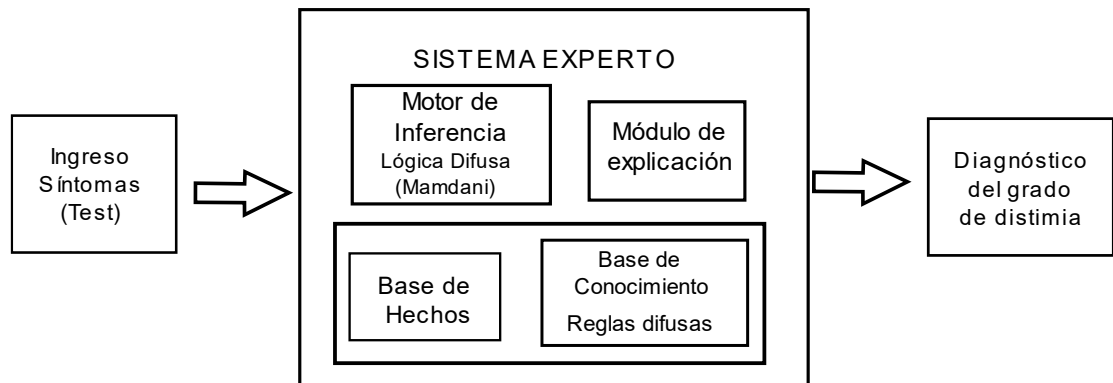


Figura 17. Esquema general del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

Fuente: Elaboración propia

De la entrevista con el experto psicólogo se extrajeron los siguientes conceptos:

- La distimia es un trastorno psicológico del tipo depresivo, ésta depresión puede venir con síntomas ansiógenos.
- La distimia está asociada a un cuadro depresivo agudizado, crónico y profundo, que no se puede controlar, para su diagnóstico, los síntomas de éste deben perdurar mínimamente un par de meses.
- Cuando la distimia está diagnosticada, si ésta es grave, debe ser tratada principalmente por un psiquiatra, a su vez, el tratamiento en general de la distimia requiere fármacos y psicoterapia.
- Los síntomas principales de la distimia son: conflictos en todas las áreas personales (familiar, personal, social, sentimental, académica y laboral), aislamiento y embotamiento afectivo, enlentecimiento (no se concentra con facilidad), otra de las características somáticas: dolor de cabeza, calambres, adormecimientos, cambios en el ciclo circadiano (alteración del ciclo del sueño), alteración en el apetito, los pensamientos erróneos, pensamientos en la muerte, pensamientos dirigidos, al suceso que ha pasado, la pérdida o trauma, aislamiento social y conductas autolesivas principalmente

Para un mejor estudio del trastorno depresivo y modelado del conocimiento (en hechos que disparan las reglas), se tomaron en cuenta los casos:

**CASO 1:** Varón de 26 años, con un estado de ánimo bajo, apático, “su vida se le hace muy cuesta arriba”. Pide ayuda presionado por su familia y por su novia, porque cada vez se está aislando más socialmente y muestra bastante desinterés por lo que le rodea. Tenía previsto casarse pero su pareja ha decidido aplazar la boda, ya que no le nota nada ilusionado con el proyecto, cumple con todas sus obligaciones y actividades cotidianas. Nunca ha faltado a su trabajo, pero siente que por su dificultad para concentrarse, rinde poco. Solía ir al gimnasio semanalmente y tener vida social, pero cada vez le cuesta más y su tendencia es a aislarse y a la inactividad, ultimadamente le ha costado conciliar el sueño durante la noche. Considera que ha tenido una vida bastante estable, sin acontecimientos vitales significativos que le hayan podido alterar; solo refiere el fallecimiento de su abuela, cuando él era adolescente, como una época muy negativa. Manifiesta tener sentimientos de abatimiento y tristeza desde hace años y siente que tiene poco que ofrecer a los demás. Nunca ha tenido ideas de suicidio significativas, pero siente mucha desesperanza y “sensación de vacío”, cuando piensa en el futuro.

*Diagnóstico: distimia grave*

**CASO 2:** Mujer de 30 años de edad, estudiante universitaria; refiere sentimientos de tristeza, desesperanza, insatisfacción y desinterés generalizado por casi todo lo que le rodea, todo se desencadenó cuando tuvo que elegir entre el itinerario académico de ciencias o letras; la indecisión “le sobrepasó”, a raíz de este suceso, presenta déficits en la solución de problemas y en la toma de decisiones, inseguridad en sí misma y sentimientos de inferioridad. Transcurridos dos años desde este acontecimiento, fallece su madre, y presenta sentimientos de culpa y desamparo. *Diagnóstico: distimia moderada*

**CASO 3:** Mujer de 28 años de edad, casada y madre de un niño, comenzó su malestar después de su embarazo, hace tres años; éste embarazo no era querido y hasta pensó en un aborto. Se siente deprimida e irritable, constantemente preocupada por las tareas del hogar y su hijo, se siente insuficiente e incapaz de llevar a cabo las responsabilidades de ser madre. Esta tensa y frecuentemente rompe en lágrimas. Está preocupada por el hecho de no poder resolver sus

dificultades domésticas, y se aflige por el futuro de su hijo, si ella muriera.  
*Diagnóstico: distimia leve*

De acuerdo con las investigaciones realizadas durante esta etapa, se concluyó que: para el diagnóstico de distimia, principalmente, se debe conocer la cantidad e intensidad de los síntomas del trastorno depresivo persistente, el tiempo que se han presentado éstos y cuánto han afectado en el desenvolvimiento de la persona que los padece. De manera general a continuación en la *Figura 18*, se puede apreciar un esquema general del flujo de las variables identificadas en para el desarrollo del prototipo de Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

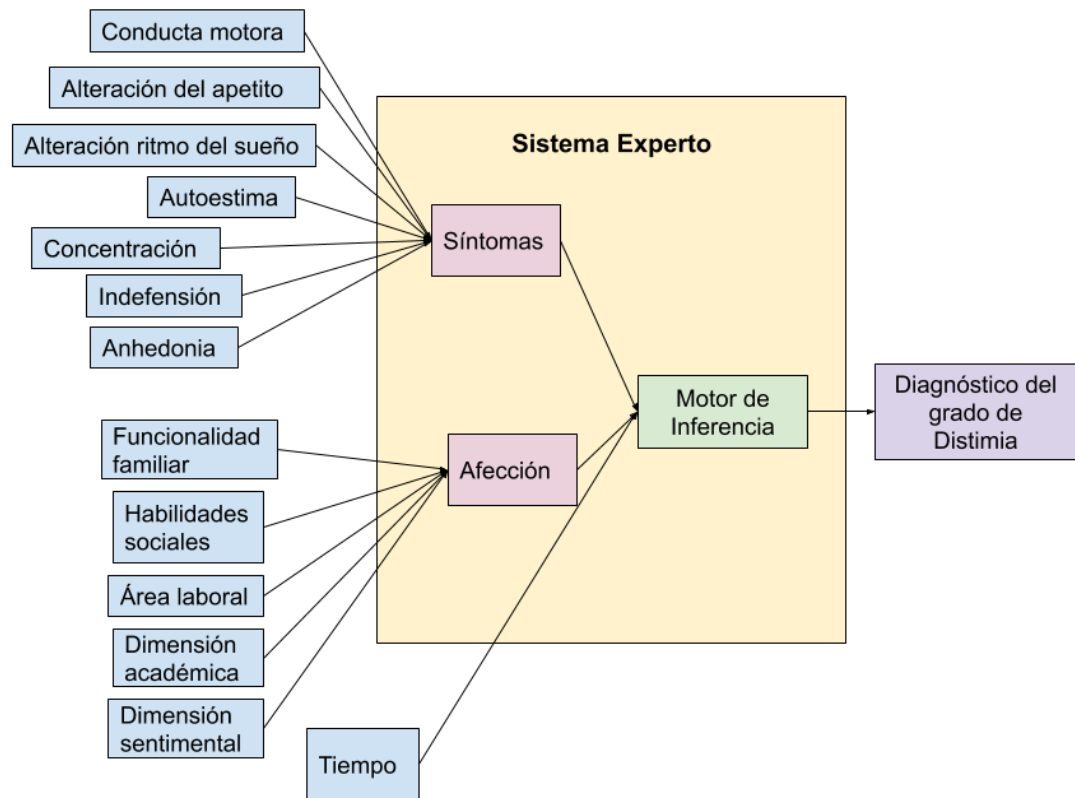


Figura 18. Esquema general del prototipo del Sistema experto para el diagnóstico de Distimia

Fuente: *Elaboración propia*

Por otro lado se consideró que el usuario deberá obtener información de la distimia, tener la posibilidad de realizar un test (para la identificación de síntomas), y a partir de éste obtener un diagnóstico de distimia (ver Anexo 4).



### 3.1.3. Formalización

Tras la identificación de los conceptos relevantes, se procede a la formalización de éstos, a fin de elaborar la base de conocimientos del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

#### 3.1.3.1. Identificación de variables difusas

En base a los conceptos identificados en la etapa anterior, se definieron las variables de entrada descritas a continuación (*Tabla 8*).

*Tabla 8. Variables de entrada*

<b>Nro.</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Universo de discurso</b>	<b>Valores lingüísticos</b>
<b>1</b>	<b>Conducta motora</b> (condMot)	Se refiere a la energía, fuerza y vitalidad (estado de ánimo)	Valores continuos entre (0 -10)	Baja, media, alta
<b>2</b>	<b>Alteración del apetito</b> (altAp)	Cuando el apetito considerado "normal", se ve alterado, durante las últimas semanas: se come mucho, o no se come.	Valores continuos entre (0 -10)	Ninguno, poco, bastante, mucho, demasiado
<b>3</b>	<b>Alteración del ritmo del sueño</b> (altRS)	Cuando se altera el número de horas de sueño, o el horario en el que se llega a conciliar el sueño, de manera significativa.	Valores continuos entre (0 -10)	Ninguno, poco, bastante, mucho, demasiado
<b>4</b>	<b>Autoestima</b> (autoestima)	Se refiere al nivel de autoapreciación y el sentimiento de valía como ser humano y en la sociedad.	Valores continuos entre (0-10)	Alta, media, baja
<b>5</b>	<b>Concentración</b> (concentracion)	Se refiere al nivel de concentración y procesos mentales que alcanza un individuo al realizar sus actividades que requieren su completa atención.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja

<b>6</b>	<b>Indefensión</b> (indefension)	Se refiere al nivel de desesperanza que se tiene con respecto al futuro, carencia de sentido a su propia vida.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>7</b>	<b>Anhedonia</b> (anhedonia)	Se refiere a la incapacidad de experimentar placer, pérdida de interés o satisfacción en actividades que normalmente se consideraban agradables.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>8</b>	<b>Funcionalidad familiar</b> (funcFam)	Se refiere al nivel de habilidades para desenvolverse como un miembro de su familia.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>9</b>	<b>Habilidades sociales</b> (hSoc)	Se refiere al nivel de habilidades para desenvolverse como miembro de la sociedad.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>10</b>	<b>Área laboral</b> (areaLab)	Se refiere al rendimiento en la vida laboral de la persona, si tiene conflictos o no los tiene	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>11</b>	<b>Dimensión académica</b> (dimAc)	Se refiere al rendimiento en la vida académica de la persona, si tiene conflictos	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>12</b>	<b>Dimensión sentimental</b> (dimSent)	Se refiere al nivel de habilidades para desenvolverse en el área sentimental.	Valores continuos entre (0 -10)	Alta, media, baja
<b>13</b>	<b>Tiempo</b> (tiempo)	Se refiere al tiempo en el que la persona ha experimentado los síntomas distímicos.	Valores discretos entre (0 - 30)	Muy poco, Poco, bastante, mucho

Fuente: *Elaboración propia*

Se identificó como única variable de salida del prototipo del Sistema Experto: el diagnóstico del grado de distimia.

*Tabla 9. Variable de salida*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Universo de discurso</b>	<b>Valores lingüísticos</b>
<b>Diagnóstico</b>	Se refiere al grado de distimia que se diagnostica luego de la evaluación del Sistema experto con base en lógica difusa para el diagnóstico de distimia	Valores continuos entre (0 -10)	Ningún síntoma depresivo, otro tipo de depresión, distimia leve, distimia moderada, distimia grave

Fuente: *Elaboración propia*

Para el desarrollo del prototipo del Sistema Experto y con el fin de simplificar la inferencia Mamdani, se diseñaron dos subsistemas difusos: uno para identificar la cantidad y el grado de los síntomas, y otro para cuantificar el grado en el que los síntomas han afectado el desenvolvimiento de la persona que realiza el test; las variables resultantes se detallan en la *Tabla 10* a continuación.

Tabla 10. Variables resultantes de los subsistemas difusos

Nro.	Variable	Descripción	Universo de discurso	Valores lingüísticos
1	Síntomas	Se refiere a la cantidad y el grado de síntomas que presenta la persona de acuerdo a los datos de las variables: <i>Conducta motora, Alteración del apetito, Alteración del ritmo del sueño, Autoestima, Concentración, Indefensión y Anhedonia.</i>	Valores continuos entre (0 - 8)	Ninguno, poco, bastante, mucho
2	Afección	Se refiere al nivel en el que los síntomas percibidos han afectado en el desenvolvimiento en las áreas personales del individuo, de acuerdo a las variables: <i>Funcionalidad familiar, Habilidades sociales, Área laboral, Dimensión académica y Dimensión sentimental</i>	Valores continuos entre (0 -10)	Ninguna, baja, media, alta

Fuente: *Elaboración propia*

Dada la imprecisión de las variables descritas con anterioridad, es que se asignan funciones de pertenencia para cada valor de las variables lingüísticas, a través del método horizontal<sup>8</sup>; en la *Figura 19* se aprecia el proceso que se siguió para el cálculo de las funciones de pertenencia de la variable Conducta Motora; de la misma forma se procedió a realizar el cálculo de funciones de pertenencia para cada valor lingüístico de las variables descritas con anterioridad.

<sup>8</sup>**Método horizontal**, para el cálculo de funciones de pertenencia difusos, se basa en respuestas brindadas por expertos.

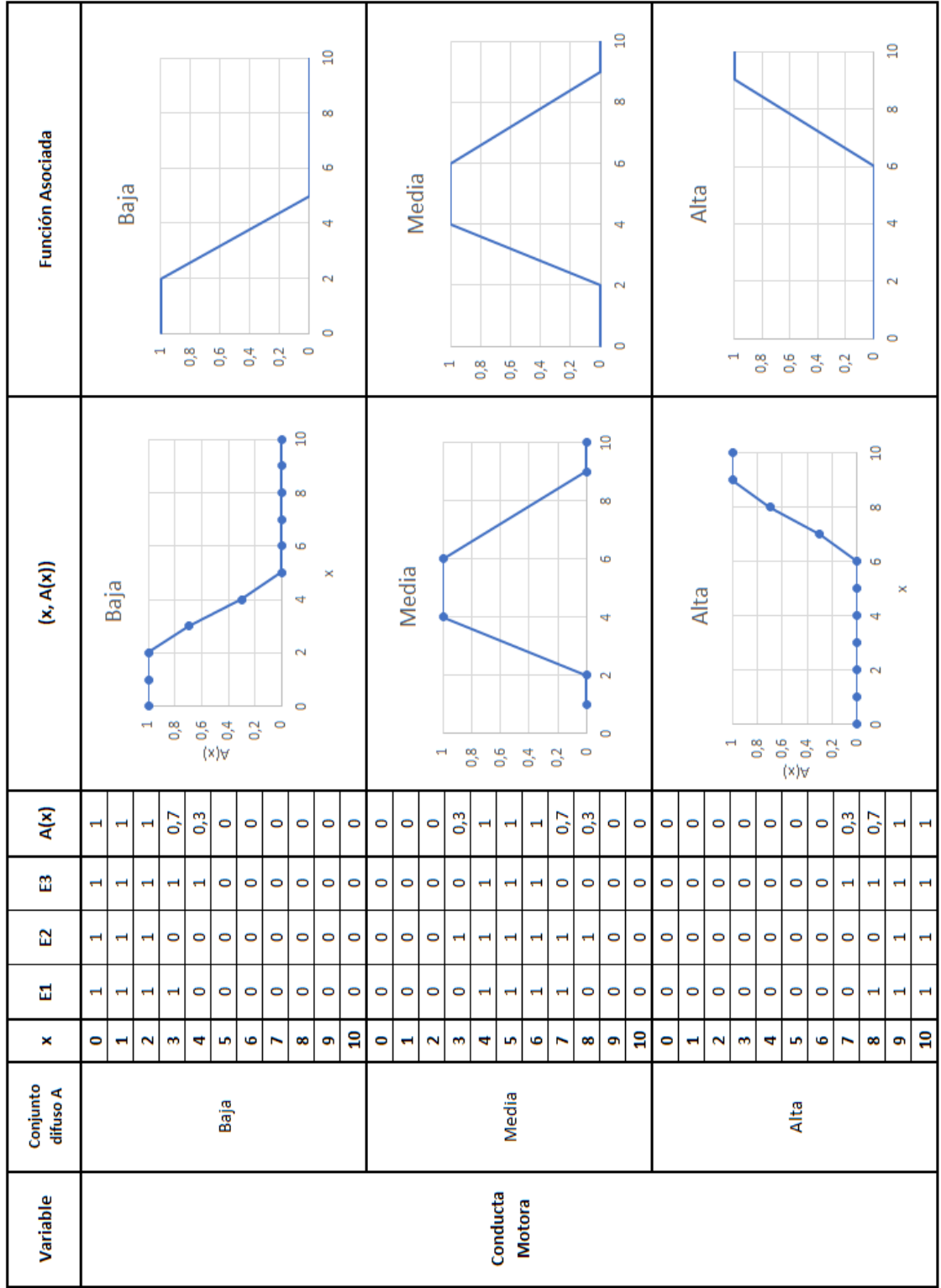


Figura 19. Cálculo de funciones de pertenencia de la variable Conducta Motora  
Fuente: Elaboración propia

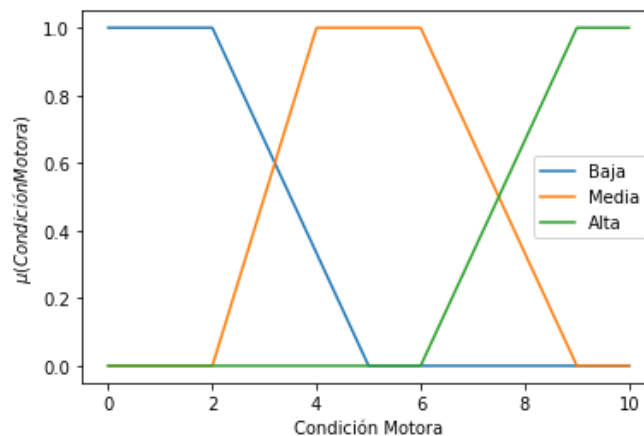
Tras realizar el cálculo, y asociamiento de las funciones de pertenencia, se formaliza cada una de las funciones de pertenencia para cada etiqueta lingüística de la variable ConductaMotora, como se aprecia en la *Tabla 11*:

*Tabla 11. Funciones de pertenencia de la variable Conducta Motora*

<b>Conducta Motora</b>	
Etiqueta lingüística	Función de pertenencia
<b>Baja</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x > 5 \\ \frac{5-x}{5-2} & 2 \leq x \leq 5 \\ 1 & x < 2 \end{cases}$
<b>Media</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & (x < 2) \text{ ó } (x > 9) \\ \frac{x-2}{4-2} & 2 \leq x \leq 4 \\ 1 & 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{9-x}{9-6} & 6 \leq x \leq 9 \end{cases}$
<b>Alta</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < 6 \\ \frac{x-6}{9-6} & 6 \leq x \leq 9 \\ 1 & x > 9 \end{cases}$

Fuente: *Elaboración propia*

En la *Figura 20* se puede apreciar las funciones de pertenencia:



*Figura 20. Gráfica de las funciones de pertenencia de la Variable Conducta Motora*

Fuente: *Elaboración propia*

De la misma forma se realizó la asignación de funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las distintas variables identificadas.

Tabla 12. Funciones de pertenencia de la variable Alteración del Apetito

<b>Alteración del Apetito</b>	
Etiqueta lingüística	Función de pertenencia
<b>Ninguno</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{1-x}{1-0} & 0 < x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases}$
<b>Poco</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ \frac{x-0.5}{1.5-0.5} & 0.5 < x \leq 1.5 \\ \frac{3-x}{3-1.5} & 1.5 < x < 3 \\ 0 & x \geq 3 \end{cases}$
<b>Bastante</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & 2 < x \leq 4 \\ \frac{5.5-x}{5.5-4} & 4 < x < 5.5 \\ 0 & x \geq 5.5 \end{cases}$
<b>Mucho</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 4.5 \\ \frac{x-4.5}{6.5-4.5} & 4.5 < x \leq 6.5 \\ \frac{8.5-x}{8.5-6.5} & 6.5 < x < 8.5 \\ 0 & x \geq 8.5 \end{cases}$
<b>Demasiado</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < 8 \\ \frac{x-8}{9-8} & 8 \leq x \leq 9 \\ 1 & x > 9 \end{cases}$

Fuente: *Elaboración Propia*

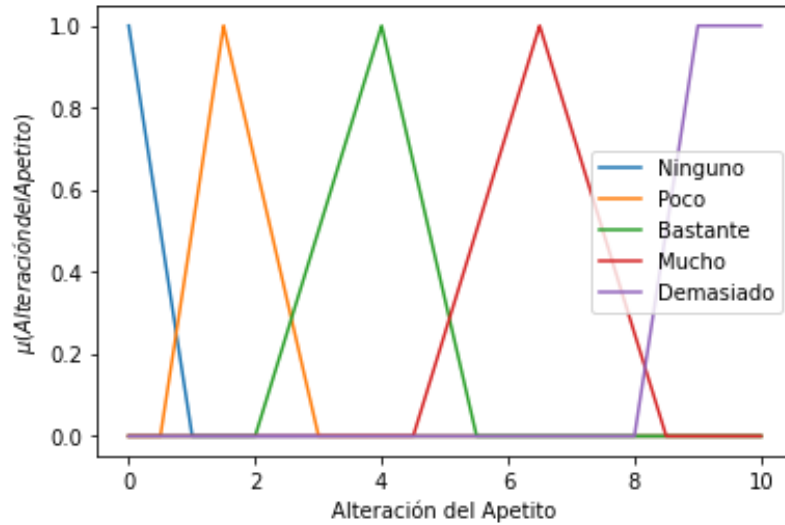


Figura 21. Gráfica de Funciones de pertenencia de la variable Alteración del Apetito  
Fuente: Elaboración propia

Asignación de funciones de pertenencia de etiquetas lingüísticas de la variable Autoestima.

Tabla 13. Funciones de pertenencia de la variable Autoestima

Autoestima	
Etiqueta lingüística	Función de pertenencia
<b>Baja</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x > 4 \\ \frac{4-x}{4-1} & 1 \leq x \leq 4 \\ 1 & x < 1 \end{cases}$
<b>Media</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 3 \\ \frac{x-3}{5-3} & 3 < x \leq 5 \\ \frac{8-x}{8-5} & 5 < x < 8 \\ 0 & x \geq 8 \end{cases}$
<b>Alta</b>	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < 6 \\ \frac{x-6}{8-6} & 6 \leq x \leq 8 \\ 1 & x > 8 \end{cases}$

Fuente: Elaboración propia



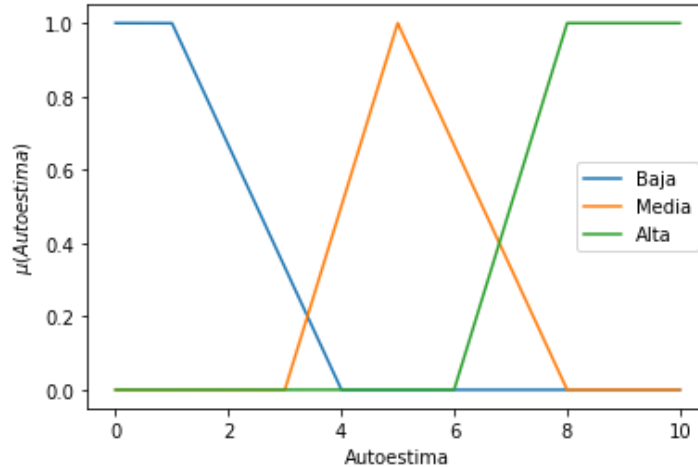


Figura 22. Gráfica de Funciones de pertenencia de la variable Autoestima  
Fuente: Elaboración propia

Tras identificar las variables con las que se trabajará en el desarrollo del prototipo, se formulan las reglas heurísticas que expresa el experto en el área para formar la base de reglas para el Sistema Experto y los subsistemas planteados dentro del mismo.

### 3.1.3.2. Base de Reglas

A fin de plasmar el conocimiento obtenido del experto psicólogo, como de los manuales DSM-5 y CIE-11, se plantea una serie de reglas, a partir de las cuales se inferirán los resultados de diagnóstico.

Las reglas vertidas por el experto psicólogo, se formalizan de acuerdo al esquema:

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

Donde:

<antecedente o condición> son los hechos, obtenidos a través del test realizado (y *fuzzificación* de los valores de las variables).

<consecuente o conclusión> es la cantidad de síntomas, grado de afección o diagnóstico del grado de distimia.

A continuación se describen algunas de las reglas que contiene el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

Para determinar la variable síntomas:

**Regla 1.** IF condMot es “baja” and autoestima es “baja” and concentracion es “baja” and indefension es “alta” and anhedonia es “alta” and altAp es “poco” and altRS es “ninguno” **THEN** sintomas es “mucho”

**Regla 2.** IF condMot es “baja” and autoestima es “baja” and concentracion es “baja” and indefension es “alta” and anhedonia es “alta” and altAp es “bastante” and altRS es “poco” **THEN** sintomas es “mucho”

**Regla 3.** IF condMot es “media” and autoestima es “media” and concentracion es “baja” and indefension es “baja” and anhedonia es “baja” and altAp es “ninguno” and altRS es “poco” **THEN** sintomas es “poco”

**Regla 4.** IF condMot es “baja” and autoestima es “baja” and concentracion es “baja” and indefension es “media” and anhedonia es “baja” and altAp es “ninguno” and altRS es “ninguno” **THEN** sintomas es “poco”

**Regla 5.** IF condMot es “media” and autoestima es “baja” and concentracion es “baja” and indefension es “media” and anhedonia es “baja” and altAp es “poco” and altRS es “poco” **THEN** sintomas es “bastante”

**Regla 6.** IF condMot es “media” and autoestima es “baja” and concentracion es “baja” and indefension es “media” and anhedonia es “baja” and altAp es “poco” and altRS es “poco” **THEN** sintomas es “bastante”

Las siguientes reglas definen la variable afección:

**Regla 7.** IF funcFam es “baja” and HabSoc es “baja” and aLaboral es “baja” and dimAc es “media” and dimSent es “media” **THEN** afección es “baja”

**Regla 8.** IF funcFam es “media” and HabSoc es “baja” and aLaboral es “media” and dimAc es “media” and dimSent es “media” **THEN** afección es “media”

**Regla 9.** IF funcFam es “media” and HabSoc es “baja” and aLaboral es “media” and dimAc es “media” and dimSent es “media” **THEN** afección es “media”

**Regla 10.** IF funcFam es “baja” and HabSoc es “media” and aLaboral es “alta” and dimAc es “alta” and dimSent es “alta” **THEN** afección es “alta”

**Regla 11.** IF funcFam es “media” and HabSoc es “media” and aLaboral es “baja” and dimAc es “media” and dimSent es “media” **THEN** afección es “media”

**Regla 12.** IF funcFam es “alta” and HabSoc es “media” and aLaboral es “media” and dimAc es “alta” and dimSent es “media” THENafección es “media”

**Regla 13.** IF funcFam es “alta” and HabSoc es “alta” and aLaboral es “media” and dimAc es “media” and dimSent es “alta” THENafección es “alta”

Las siguientes son reglas definidas para el diagnóstico de distimia

**Regla 14.** IF síntomas es “poco” andafeccion es “baja” and tiempo es “muyPoco” THEN diagnóstico es “otro tipo de depresion”

**Regla 15.** IF síntomas es “poco” andafeccion es “media” and tiempo es “muyPoco” THEN diagnóstico es “otro tipo de depresion”

**Regla 16.** IF síntomas es “poco” andafeccion es “baja” and tiempo es “bastante” THEN diagnóstico es “distimia leve”

**Regla 17.** IF síntomas es “poco” andafeccion es “media” and tiempo es “poco” THEN diagnóstico es “distimia leve”

**Regla 18.** IF síntomas es “bastante” andafeccion es “media” and tiempo es “bastante” THEN diagnóstico es “distimia moderada”

**Regla 19.** IF síntomas es “bastante” andafeccion es “baja” and tiempo es “mucho” THEN diagnóstico es “distimia moderada”

**Regla 20.** IF síntomas es “mucho” andafeccion es “media” and tiempo es “bastante” THEN diagnóstico es “distimia grave”

**Regla 21.** IF síntomas es “mucho” andafeccion es “alta” and tiempo es “mucho” THEN diagnóstico es “distimia grave”

El total de reglas que utiliza el prototipo del Sistema Experto es 192, de las cuales 118 pertenecen a la variable síntomas, 36 aafección y 38 a la variable diagnóstico, la tabla Mamdani en base a la que se elaboraron las reglas de la variable diagnóstico, se pueden apreciar en el Anexo 5.

Las reglas descritas con anterioridad serán disparadas por la base de hechos (valores adquiridos mediante el test), que dispone únicamente de los datos propios del trastorno depresivo persistente.

### 3.1.4. Implementación

Para la implementación del prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia, se optó por el lenguaje de programación Python (versión 3.8.3) con el cual se desarrolló una librería con base en *fuzzy.py*, para el tratamiento de datos con lógica difusa en el Sistema Experto; el cual se apoya del lenguaje de marcado de texto HTML (versión 5) y hojas de estilo CSS (versión 3), para el desarrollo de la interfaz de usuario, con Flask (versión 1.1.2) como microframework de python para plataformas web.

Para realizar la inferencia del diagnóstico resultante, se utilizó del método Mamdani, con la T-norma y la T-conorma, que básicamente consiste en: la fuzzificación de las variables de entrada, la aplicación de las reglas a través de valores *and* (mínimos) y *or* (máximos), el corte de las funciones de pertenencia en los consecuentes de las reglas activadas, la unión de las funciones cortadas, y la defuzzificación a través del método del centroide.

Requerimientos de hardware y software:

Tabla 14. Requerimientos para el prototipo del Sistema Experto

<b>Requerimientos</b>	<b>Hardware</b>	<b>Software</b>
<b>Mínimo</b>	Microprocesador 1GHz	S.O. Windows 7
	Memoria RAM 1GB	Python 3
	Disco Duro 20 GB	Flask 1.1.2
		Firefox 9, Chrome 16
<b>Disponible</b>	Microprocesador AMD A9, 2,9 GHz	S.O. Windows 10
	Memoria RAM 8 GB	Python 3.8.3
	Disco Duro 929 GB	Flask 1.1.2
		Firefox 82.0.2

Fuente: *Elaboración Propia*

El prototipo desarrollado, está orientado a tecnologías web, a fin de llegar a la población joven alteña en un futuro.

Este prototipo permitirá dar un diagnóstico de cada joven en base a la información proporcionada a través del test desarrollado; para que funcione adecuadamente se espera que los jóvenes, al ingresar sus respuestas sean lo más sinceras posible, en caso contrario el prototipo puede dar un diagnóstico erróneo.

El prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia realizado, consta de una página web principal, en la que se expone información acerca de la distimia:



*Figura 23. Página de inicio del prototipo del Sistema Experto  
Fuente: Elaboración propia*

Al finalizar la página de información, se encuentra el botón para iniciar el test, a través del cual se obtienen las variables de entrada.

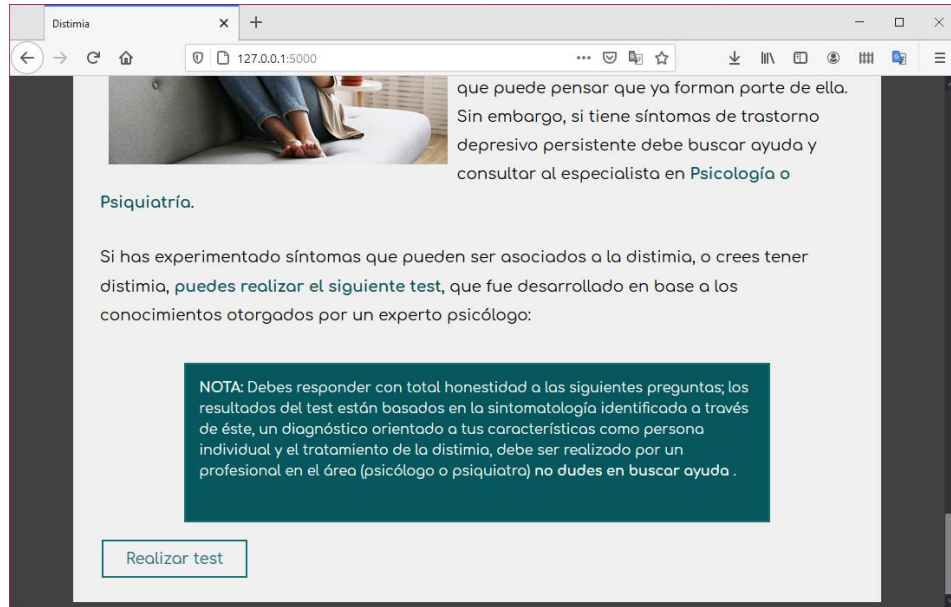


Figura 24. Enlace al test del prototipo del Sistema Experto  
Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de valores más precisos de las variables, se optó por la utilización de *sliders* en las respuestas del formulario.

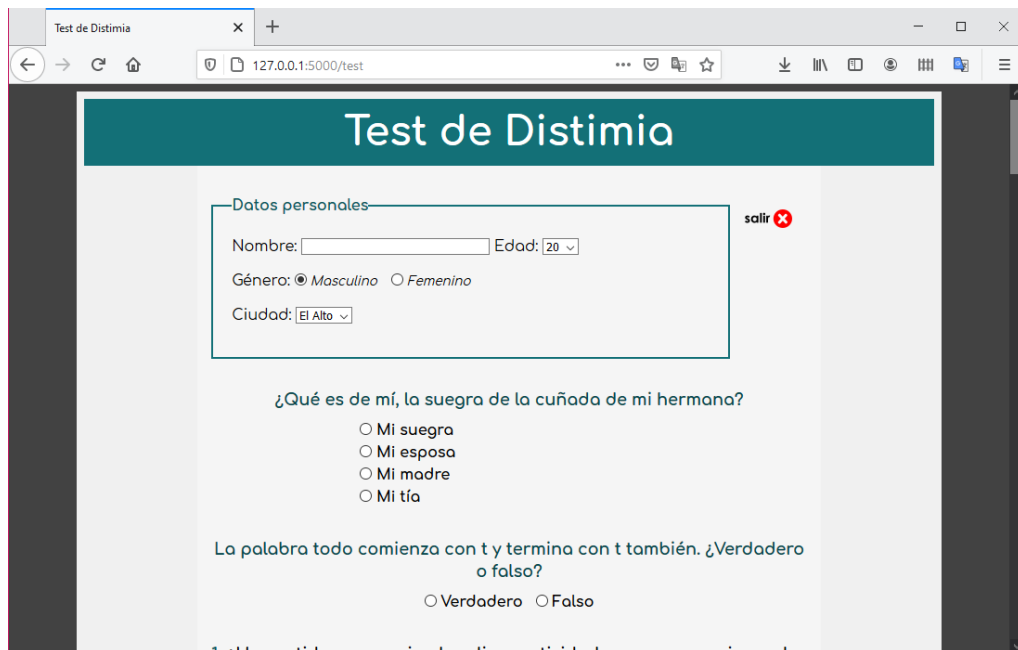


Figura 25. Test de distimia, para el prototipo del Sistema Experto  
Fuente: Elaboración propia

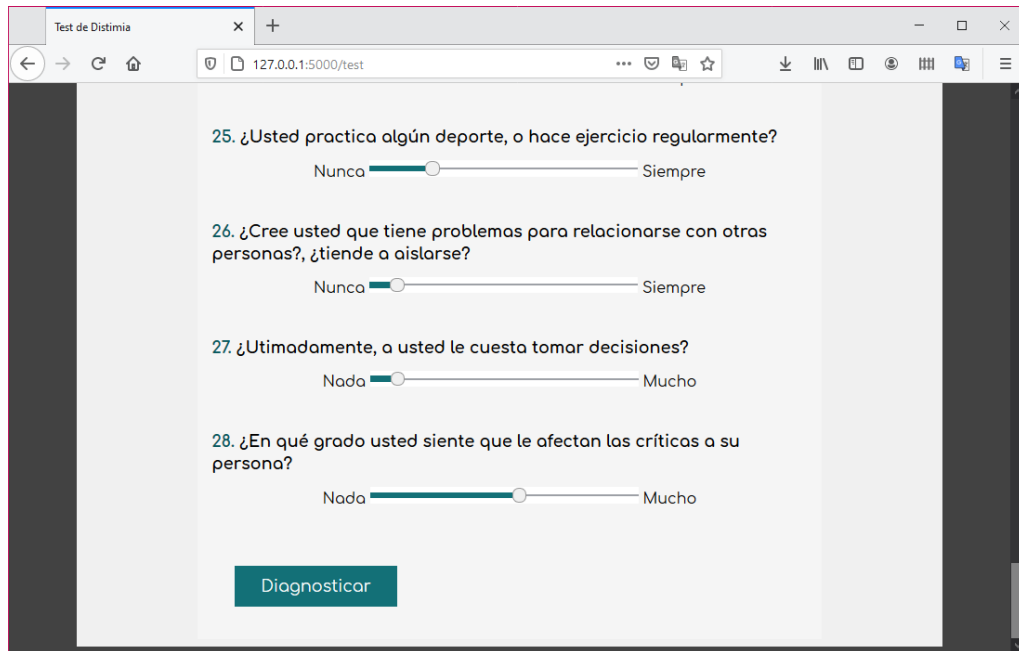


Figura 26. Botón de "diagnóstico" en el test del prototipo del Sistema Experto  
Fuente: Elaboración propia

Tras realizar el test, y hacer clic en el botón Diagnosticar, los datos pasan a ser tratados internamente, para luego de unos segundos desplegar en la pantalla el diagnóstico resultante del empleo de la lógica difusa y la inferencia Mamdani, junto con la explicación del diagnóstico obtenido.

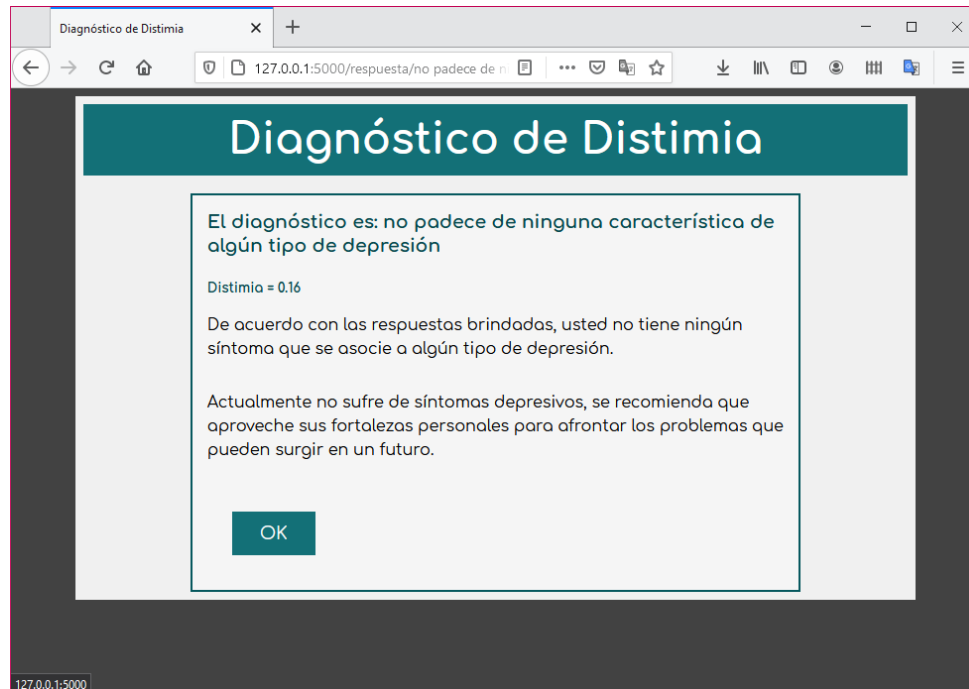


Figura 27. Diagnóstico de distimia, de acuerdo a los datos introducidos a través del test  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5. Testeo o prueba

Para la fase de pruebas del prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia, se tomaron en cuenta los casos descritos durante la etapa de identificación, para el desarrollo de pruebas de caja negra y el funcionamiento del prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia.

Se tomaron en cuenta los cinco casos posibles de diagnóstico resultado de los datos introducidos mediante el test para el diagnóstico de distimia, éstos son planteados en la *Tabla 11*, que son respaldados en los resultados del prototipo del Sistema Experto en las *Figuras: 28, 29, 30, 31 y 32*, donde se aprecian los datos de las variables:

- Síntomas: Luego de la inferencia difusa de las variables introducidas a través del test.
- Afección: Luego de la inferencia difusa de las variables introducidas a través del test.
- Tiempo: Valor ingresado a través del test.



Los datos que se visualizan después, son los valores de pertenencia de las variables: Síntomas y Afección, tras su fuzzificación para la aplicación de las reglas de diagnóstico (desplegándose las activadas), seguido del valor de defuzzificación de la variable diagnóstico bajo la etiqueta: Distimia. Por último, tras la etiqueta DIAGNÓSTICO FINAL, se muestra el grado de pertenencia al conjunto de diagnóstico identificado, seguido de una explicación de los valores de pertenencia inferidos para: síntomas, afección, tiempo y el diagnóstico (la tabla completa con cada valor de variables se aprecia en los Anexo 6).

*Tabla 15. Casos de diagnóstico de distimia.*

<b>Variables</b>			<b>DIAGNÓSTICO</b>	<b>Cumplimiento</b>	
<b>SÍNTOMAS</b>	<b>AFECCIÓN</b>	<b>TIEMPO</b>			
<b>Muchos</b>	Alta	Demasiado	Distimia Grave	Cumple	Figura 28
<b>Ninguno</b>	Ninguna	Muy poco	Sin síntomas depresivos	Cumple	Figura 29
<b>Bastante</b>	Baja	Poco	Distimia Moderada	Cumple	Figura 30
<b>Poco</b>	Media	Poco	Distimia Leve	Cumple	Figura 31
<b>Muchos</b>	Baja	Muy poco	Otro tipo de depresión	Cumple	Figura 32

Fuente: *Elaboración propia*

A continuación se aprecian las capturas del tratamiento de los datos ingresados:

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - py sistema.py
-----
Síntomas: 6.753836566175897
Afección: 6.748330074942977
Tiempo: 30.0
-----
**** Fuzzificación de Sintomas ****
Ninguno: 0.0
Poco: 0.0
Bastante: 0.0
Mucho 1.0
**** Fuzzificación de Afeccion ****
Ninguna: 0.0
Baja: 0.0
Media: 0.0
Alta: 1.0
-----
*** REGLAS ACTIVADAS ***
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'síntomas_mucho']
[1.0, 'afeccion_alta']
[1.0, 'distimia_grave']
[1.0, 'distimia_grave']
-----
-- Distimia: 8.470321948582818
-----
DIAGNOSTICO FINAL: 1.0
Ya que:
  Síntomas: Mucho
  Afección: Alta
  Tiempo: Mucho
Distimia grave
127.0.0.1 - - [06/Nov/2020 18:31:57] "[32mPOST /datos HTTP/1.1[0m" 302 -
127.0.0.1 - - [06/Nov/2020 18:31:57] "[37mGET /respuesta/distimia%20grave/tiene%20muc
```

Figura 28. Caso de Distimia Grave  
Fuente: Elaboración propia

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - py sistema.py
-----
Síntomas: 1.3974553444542117
Afección: 0.1335387776065742
Tiempo: 0.0
-----
**** Fuzzificacion de Sintomas ****
Ninguno: 0.0
Poco: 1.0
Bastante: 0.0
Mucho 0.0
**** Fuzzificacion de Afeccion ****
Ninguna: 0.7329224447868516
Baja: 0.0
Media: 0.0
Alta: 0.0
-----
*** REGLAS ACTIVADAS ***
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_ninguno']
[0.9, 'sintomas_poco']
[1.0, 'afeccion_ninguna']
[1.0, 'afeccion_ninguna']
[1.0, 'afeccion_ninguna']
[1.0, 'afeccion_ninguna']
[1.0, 'afeccion_ninguna']
[0.7329224447868516, 'ninguno']
-----
-- Distimia: 0.14780850862325157
-----
DIAGNOSTICO FINAL: 0.7043829827534969
Ya que:
  Síntomas: Poco
  Afección: Ninguna
  Tiempo: Muy poco
Ningún sintoma de depresión

```

Figura 29. Caso con resultado: Ningún síntoma de depresión

Fuente: Elaboración propia

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - py sistema.py
-----
Síntomas: 3.9999999999999982
Afección: 1.9574455126403176
Tiempo: 10.0
-----
**** Fuzzificacion de Sintomas ****
Ninguno: 0.0
Poco: 0.0
Bastante: 1.0
Mucho 0.0
**** Fuzzificacion de Afeccion ****
Ninguna: 0.0
Baja: 1.0
Media: 0.0
Alta: 0.0
-----
*** REGLAS ACTIVADAS ***
[0.3333333333333333, 'sintomas_bastante']
[1.0, 'afeccion_baja']
[1.0, 'distimia_moderada']
-----
-- Distimia: 5.999793856936715
-----
DIAGNOSTICO FINAL: 1.0
Ya que:
  Síntomas: Bastante
  Afección: Baja
  Tiempo: Poco
Distimia moderada

```

Figura 30. Caso de Distimia Moderada

Fuente: Elaboración propia

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - py sistema.py
-----
Síntomas: 1.6378324871475558
Afección: 3.674788680081924
Tiempo: 4.0
-----
**** Fuzzificacion de Sintomas ****
Ninguno: 0.0
Poco: 1.0
Bastante: 0.0
Mucho 0.0
**** Fuzzificacion de Afeccion ****
Ninguna: 0.0
Baja: 0.16260565995903797
Media: 1.0
Alta: 0.0
-----
*** REGLAS ACTIVADAS ***
[0.04999999999999982, 'sintomas_poco']
[0.05000000000000044, 'afeccion_baja']
[0.16666666666666666, 'afeccion_media']
[0.16260565995903797, 'distimia_leve']
[0.6666666666666666, 'distimia_leve']
-----
-- Distimia: 3.250073066586829
-----
DIAGNOSTICO FINAL: 1.0
Ya que:
  Síntomas: Poco
  Afección: Media
  Tiempo: Poco
Distimia leve
127.0.0.1 - - [06/Nov/2020 19:13:35] "[32mPOST /datos HTTP/1.1[0m" 302 -

```

Figura 31. Caso de Distimia Leve  
Fuente: Elaboración propia

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - py sistema.py
-----
Síntomas: 6.570482603815935
Afección: 2.125944701397418
Tiempo: 0.54
-----
**** Fuzzificacion de Sintomas ****
Ninguno: 0.0
Poco: 0.0
Bastante: 0.0
Mucho 1.0
**** Fuzzificacion de Afeccion ****
Ninguna: 0.0
Baja: 0.937027649301291
Media: 0.12594470139741798
Alta: 0.0
-----
*** REGLAS ACTIVADAS ***
[0.16666666666666666, 'sintomas_mucho']
[0.2000000000000004, 'sintomas_mucho']
[0.26666666666666666, 'afeccion_baja']
[0.10000000000000009, 'afeccion_baja']
[0.937027649301291, 'inicio_distimia']
[0.12594470139741798, 'inicio_distimia']
-----
-- Distimia: 1.4055117233554133
-----
DIAGNOSTICO FINAL: 1.0
Ya que:
  Síntomas: Mucho
  Afección: Baja
  Tiempo: Muy poco
Otro tipo de depresión
127.0.0.1 - - [06/Nov/2020 19:19:02] "[32mPOST /datos HTTP/1.1[0m" 302 -

```

Figura 32. Caso de otro tipo de depresión  
Fuente: Elaboración propia

- **Pruebas de funcionalidad del prototipo del Sistema Experto**

Las siguientes pruebas se realizaron en base a los principales casos de uso identificados: Ingresar al sistema, Realizar test, Ver diagnóstico (ver anexo).

a) Ingresar al sistema

*Tabla 16. Escenario del caso de uso: Ingresar al sistema*

<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	<b>Expectativas de respuesta del Sistema</b>	<b>Cumple/Falla</b>
<b>1</b>	Abrir el navegador		
<b>2</b>	Ingresar a página principal (local: <a href="https://127.0.0.1/5000/home">https://127.0.0.1/5000/home</a> )	Despliegue de página principal <i>home</i>	Cumple

Fuente: *Elaboración propia*

b) Realizar test

Escenario 1: Se cumple con el proceso realización del test

*Tabla 17. Escenario 1 para el caso de uso: Realizar test*

<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	<b>Expectativas de respuesta del Sistema</b>	<b>Cumple/Falla</b>
<b>1</b>	Hacer clic en el botón Realizar test	Despliegue del test	Cumple
<b>2</b>	Ingresar de datos	Validación de campos del tipo: texto, rango de edad, género y ciudad	Cumple
<b>3</b>	Responder cada pregunta	Validación de la cantidad mínima de preguntas respondidas	Cumple

Fuente: *Elaboración propia*

## Escenario 2: Se interrumpe la realización del test

Tabla 18. Escenario 2 para el caso de uso: Realizar test

Paso	Acción	Expectativas de respuesta del Sistema	Cumple/Falla
1	Hacer clic en el botón Realizar test	Despliegue del test	Cumple
2	Hacer clic en el botón Salir para cerrar el test	Regresa a la página principal	Cumple

Fuente: *Elaboración propia*

### c) Ver diagnóstico

Tabla 19. Caso de prueba para el escenario del caso de uso Ver diagnóstico

Paso	Acción	Expectativas de respuesta del Sistema	Cumple/Falla
1	Hacer clic en el botón Diagnosticar	Presentar el diagnóstico inferido por el prototipo del Sistema Experto	Cumple
5	Hacer clic en botón OK	Regresa a la página principal	Cumple

Fuente: *Elaboración propia*

## 3.2. Framework para la mejora de la calidad

Para el control de la calidad del software desarrollado, se optó por aplicar el Framework para la mejora de la calidad de software en el Nivel 3, cuyas actividades se han cumplido durante el desarrollo del prototipo del Sistema Experto.

Se hizo el relevamiento de los requerimiento, priorizando los principales, en este caso:

- Posibilidad de alcance masivo en jóvenes de la población alteña.
- Ingreso sencillo de datos.
- Implementación de un prototipo en base a la experiencia de un experto psicólogo.
- Lenguaje de programación que permita la realización del prototipo dirigido a la web.

Para lo cual se optó por el desarrollo del prototipo del Sistema Experto con el lenguaje Python orientado a la web, con el ingreso de los síntomas (datos) del usuario a través de un test, para ser evaluados por las reglas definidas en base a la experiencia del experto psicólogo, a través de la inferencia difusa, para la cual se desarrolló una librería en el lenguaje Python.

Se identificó los principales casos de uso para el funcionamiento del prototipo del Sistema Experto que fueron validados como principales: Ingresar al sistema, realizar test y ver diagnóstico.

Para la comprobación de la funcionalidad del prototipo, se realizó el testeo de funcional del prototipo del Sistema Experto de acuerdo a los casos de uso, que puede verse reflejado en la fase de testeo de la metodología Buchanan.

Siguiendo los lineamientos del Framework para la mejora de la calidad de software, se desarrolló el prototipo del Sistema Experto tomando base del estándar de escritura de código python PEP 8<sup>9</sup>, una guía para las buenas prácticas en python. En la siguiente tabla se puede apreciar la aplicación del Framework para la mejora de la calidad durante las fases de la metodología de desarrollo Buchanan:

*Tabla 20. Aplicación del Framework para la mejora de la calidad en el desarrollo del prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia*

<b>NIVEL DE CALIDAD 3</b>					
<b>Actividades del Framework para la mejora</b>	<b>Fases de la metodología Buchanan</b>				<b>Testeo o prueba</b>
	<b>Identificación</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Formalización</b>	<b>Implementación</b>	
Relevar requerimientos y priorizarlos	x				
Generar casos de uso y priorizarlos		x			
Validar requerimientos		x			
Validar casos de uso			x		
Test de los casos de uso					x

<sup>9</sup> El **PEP 8** es una guía de estilo de Python, que facilita la lectura del código y la consistencia entre programas de distintos usuarios.

Test funcional del sistema	x
Test de aceptación	x
Establecimiento de cubrimiento (de requerimientos y casos de uso)	x
Cantidad de fallas/Casos de prueba (de requerimientos y casos de uso)	x
Cubrimiento (de requerimientos y casos de uso)	x
Seguimiento de un estándar de codificación	x

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.3. Evaluación de costos

#### 3.3.1. Método de Puntos de función

Como se trata del desarrollo de un prototipo, para el cálculo de esfuerzo, se optó por el método de Puntos de Función. A continuación se describe la evaluación de los costos para el prototipo del Sistema Experto para el Diagnóstico de Distimia.

Aplicando las ecuaciones y tablas para el cálculo de variables:

- Puntos de Función sin ajuste (PFSA)

Tabla 21. Cálculo de los Puntos de función sin ajuste

Parámetros significativos	Complejidad Baja		Complejidad Media		Complejidad Alta		Total parámetro
Entrada Externa		x 3		x 4	1	x 6	6
Salida Externa	1	x 4	2	x 5		x 7	14
Archivo lógico interno	1	x 7	2	x 10	1	x 15	42
Archivo lógico externo	3	x 5	1	x 7		x 10	22
Consulta externa		x 3	1	x 4		x 6	3
<b>Puntos de función no ajustados (PFSA)</b>							<b>88</b>

Fuente: *Elaboración propia*



- Valor del factor de ajuste o grado total de influencia, (GTI):

*Tabla 22. Cálculo del valor de ajuste GTI*

<b>Nro.</b>	<b>Factor de complejidad</b>	<b>Valor</b>
1	Comunicación de datos	3
2	Proceso distribuido	2
3	Rendimiento	2,5
4	Utilización con otros sistemas	2,5
5	Tasa de transacciones	3
6	Entrada de datos en línea	2,5
7	Eficiencia con el usuario final	3,5
8	Actualizaciones en línea	3
9	Lógica del Proceso Interno Compleja	3,5
10	Reusabilidad del código	2,5
11	Contempla la conversión e instalación	2,5
12	Facilidad de operación	5
13	Instalaciones múltiples	2,5
14	Facilidad de cambios	2,5
<b>Factor de Complejidad Total (GTI)</b>		<b>40,5</b>

Fuente: *Elaboración propia*

- Puntos de función ajustados

- FAV (Factor de ajuste)

$$FAV = (GTI * 0.01) + 0,65$$

$$FAV = (43,5 * 0,01) + 0,65$$

$$FAV = 1,1$$

- Puntos de Función ajustados (PF)

$$PF = FAV * PFSA$$

$$PF = 1,06 * 88$$

$$PF = 93,28$$

- Cálculo del esfuerzo en meses-hombre

$$Esfuerzo = \frac{PF}{\frac{\text{personas}}{\text{horas por PF}}} [horas-hombre]$$

Tabla 23. Valores de esfuerzo

Esfuerzo		
Entorno y Lenguaje	Líneas de código por PF	Horas por PF
Lenguajes 2GL	300	20 a 30
Lenguajes 3GL	100	10 a 20
Lenguajes 4GL	20	5 a 10

Fuente: *Elaboración propia*

$$\text{Esfuerzo} = 93.28 / (1/20)$$

$$\text{Esfuerzo} = 932.8 \text{ [horas-hombre]}$$

- Cálculo de duración en horas

$$\text{Duración en meses} = \frac{\text{Esfuerzo}}{100 \left[ \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right]}$$

$$\text{Duración en meses} = 932,8 / 100$$

$$\text{Duración en meses} = 9,328 \approx 9,33$$

Duración = Aproximadamente 9 meses con una semana

- Costo total

$$\text{Costo total} = \text{sueldo1participante} * \text{\#personas} * \text{duraciónMeses} + \text{otrosCostos}$$

- Sueldo de un participante: el sueldo de un ingeniero en sistemas con experiencia de un año, en Bolivia es en promedio: 4000 Bs.
- Costo de energía eléctrica de las horas de trabajo por mes: 116,8 Bs.
- Costo de depreciación del equipo del ingeniero del conocimiento por mes: 87,5 Bs.

$$\text{costoEnergía} = 9,33 * 116,8 = 1089,74 \text{ Bs.}$$

$$\text{costoDepreciaciónEquipo} = 9,33 * 87,5 = 816,38 \text{ Bs.}$$

$$\text{otrosCostos} = \text{costoEnergía} + \text{costoDepreciaciónEquipo}$$

$$\text{otrosCostos} = 1225,96 + 816,38 = 1906,12 \text{ Bs.}$$

$$\text{Costo total} = 4000 * 1 * 9.33 + 1906,12$$

$$\text{Costo total} = 39226,12 \approx 39226 \text{ Bs.}$$

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para el presente capítulo se realiza el cálculo de la prueba de Hipótesis planteada para el prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, cuyo nivel de confiabilidad alcanza al 90%.

#### 4.1. Formulación de la hipótesis

Se traslada la estructura gramatical, lógica y científica hacia la hipótesis estadística, que para el caso del Prueba de bondad de ajuste de chi-cuadrado, se espera probar la veracidad de la hipótesis  $H_0$ , donde:

$H_0$ : Hipótesis del investigador

$H_1$ : Hipótesis alterna

Siendo:

$H_i$  El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

$H_0$  El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia no proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

Se tiene entonces:

$H_0$ : El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

$H_1$ : El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia NO proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.

#### 4.2. Nivel de significancia

La magnitud del error que se está dispuesto a correr de rechazar la hipótesis de trabajo verdadera para una confianza del 90% es:

$$\alpha = 10\% = 0,1$$

### 4.3. Estimación de la muestra

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando el tamaño de la población se desconoce o es infinita, es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

En donde

Z : Coeficiente de confianza para un nivel de confianza determinado

p : probabilidad de éxito, o proporción esperada

q : probabilidad de fracaso

e : error máximo admisible

Cálculo de la muestra:

Z = 1,645 para un nivel de confianza del 90%

p = 0,16 jóvenes de 20 a 26 años de edad con algún tipo de depresión diagnosticado (16%)

q = 1 - 0,16 = 0,84

e = 0.1

Aplicando la fórmula:

$$n = \frac{(1,645)^2 * 0,16 * 0,84}{0,1^2}$$

$$n = 36.368976 \approx 36$$

Para la prueba de hipótesis se obtuvo una muestra de 36 jóvenes seleccionados de forma aleatoria. Estas personas fueron sometidas a evaluaciones tanto del sistema experto como del médico especialista. Como se ve en la Tabla 15 a continuación:

Tabla 24. Muestra, diagnóstico de Distimia

<b>CASO</b>	<b>Diagnóstico Psicólogo</b>	<b>Diagnóstico Sistema Experto</b>
1	Distimia Leve	Distimia Moderada
2	Distimia Leve	Distimia Leve
3	Depresión Mayor	Otro tipo de depresión
4	Distimia Leve	Distimia Leve
5	Distimia Moderada	Distimia Moderada
6	No presenta depresión	Otro tipo de depresión
7	Distimia Leve	Distimia Leve
8	Depresión Mayor	Distimia Leve
9	No presenta depresión	Ningún síntoma asociado a la depresión
10	No presenta depresión	Otro tipo de depresión
11	Distimia Leve	Distimia Leve
12	Episodio Depresivo	Distimia Leve
13	Distimia Leve	Distimia Leve
14	No presenta depresión	Ningún síntoma asociado a la depresión
15	No presenta depresión	Ningún síntoma asociado a la depresión
16	Distimia Leve	Distimia Leve
17	Distimia Moderada	Distimia Moderada
18	Depresión Mayor	Otro tipo de depresión
19	Distimia Leve	Distimia Leve
20	Distimia Moderada	Distimia Leve
21	Distimia Grave	Distimia Grave
22	Distimia Moderada	Distimia Moderada
23	Distimia Moderada	Distimia Leve
24	Episodio Depresivo	Otro tipo de depresión
25	Distimia Leve	Distimia Leve
26	No presenta depresión	Otro tipo de depresión
27	Distimia Grave	Distimia Grave
28	Episodio Depresivo	Otro tipo de depresión
29	Distimia Leve	Distimia Leve
30	No presenta depresión	Distimia Leve
31	Episodio Depresivo	Ningún síntoma asociado a la depresión
32	No presenta depresión	Ningún síntoma asociado a la depresión
33	Distimia Moderada	Distimia Grave
34	Distimia Leve	Distimia Leve
35	Episodio Depresivo	Ningún síntoma asociado a la depresión
36	Distimia Leve	Distimia Leve

Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.4. Prueba de bondad de ajuste de chi-cuadrado

Para estimar la confiabilidad se utiliza la distribución Chi – Cuadrado ( $\chi^2$ ), esta prueba consiste en que si las frecuencias observadas se acercan a las correspondientes frecuencias esperadas, el valor de  $\chi^2$  será pequeño, lo que indica un buen ajuste. Si las frecuencias observadas difieren considerablemente de las frecuencias esperadas, el valor  $\chi^2$  será grande y el ajuste será muy pobre. Un buen ajuste conduce a la aceptación de  $H_0$ , mientras que un mal ajuste conduce a su rechazo. (Merlo, 2014)

Una vez obtenida la tabla de la evaluación del experto, se realiza la tabla de frecuencias observadas obtenidas del número de diagnósticos realizados, por el psicólogo especialista, por el prototipo del Sistema Experto y las frecuencias esperadas con la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia esperada} = \frac{\text{totalDeLaColumna} * \text{totalDeLaFila}}{\text{granTotal}}$$

Aplicando la fórmula se obtiene la Tabla 16, donde el valor esperado se encuentra entre paréntesis y es de color azul:

Tabla 25. Tabla de contingencia Chi-cuadrado

Diagnóstico	Experto Especialista	Sistema Experto	Total (F <sub>i</sub> )
No presenta síntomas	9 (8)	7 (8)	16
Otro tipo de depresión	9 (8,5)	8 (8,5)	17
Distimia Leve	10 (12)	14 (12)	24
Distimia Moderada	6 (5)	4 (5)	10
Distimia Grave	2 (2,5)	3 (2,5)	5
<b>Total (C<sub>i</sub>)</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</b>

Fuente: *Elaboración propia*

Una vez obtenidas las frecuencias, se aplica la siguiente fórmula, para hallar el valor del estadístico de prueba:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

O<sub>i</sub>: Frecuencia observada en cada celda.

E<sub>i</sub>: Frecuencia esperada en cada celda

Cálculo de  $X^2$ :

$$X^2 = \frac{(9-8)^2}{8} + \frac{(9-8,5)^2}{8,5} + \frac{(10-12)^2}{12} + \frac{(6-5)^2}{5} + \frac{(2-2,5)^2}{2,5} + \frac{(7-8)^2}{8} + \frac{(8-8,5)^2}{8,5} + \frac{(14-12)^2}{12} + \frac{(4-5)^2}{5} + \frac{(3-2,5)^2}{2,5}$$
$$X^2 = 1,575$$

Cálculo de los grados de libertad de acuerdo a la fórmula:

$$gl = (f - 1) (c - 1)$$

$$gl = (5 - 1) (2 - 1)$$

$$gl = 4$$

#### 4.5. Valor crítico

Utilizando la tabla de Chi-cuadrado, con el nivel de significancia de  $\alpha = 0,1$  y  $gl=4$ , se tiene:

$$x_{\alpha}^2 = x_{0,1}^2 = 7,78$$

Según los resultados obtenidos se tiene:

$$X^2 < x_{0,1}^2$$

#### 4.6. Decisión

Dado que 1,575 es menor que el valor crítico 7,78 obtenido mediante el grado de libertad 4 y el margen de error 0.1 en la tabla de Chi-cuadrado, se llega a la aceptación de  $H_0$ , además de que existe un buen ajuste en la tabla de frecuencias observadas y esperadas de la comparación de diagnósticos. Concluyendo de esta manera la aceptación de la hipótesis:

***“El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia proporciona un diagnóstico con un nivel de confianza del 90%.”***

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para el presente capítulo se describen las conclusiones a las que se llegó con el presente trabajo de investigación, alcanzando los objetivos planteados, además se describen las recomendaciones necesarias para futuras investigaciones en el área.

#### **5.1. Conclusiones**

En el trabajo de investigación se construyó el prototipo de un Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, obteniendo como resultado diagnósticos de distimia confiables; éste prototipo fue desarrollado principalmente en el lenguaje de programación python orientado a la web, posibilitando de esta forma su alcance a jóvenes de 20 a 26 años de edad de la ciudad de El Alto.

Para el desarrollo de la tesis se aplicó técnicas de relevamiento de información, siendo las entrevistas realizadas a expertos psicólogos, las principales, profundizando así el entendimiento del trastorno depresivo persistente, durante todo el proceso de elaboración del trabajo de grado.

En esta tesis se realizó ingeniería del conocimiento logrando representar de manera óptima el conocimiento heurístico del experto (psicólogo), a través de la identificación de variables y el desarrollo de reglas difusas, que son la base del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia.

En este trabajo de investigación se diseñó el prototipo del Sistema Experto basado en lógica difusa, utilizando la metodología Buchanan, que permitió un desarrollo centrado principalmente en el conocimiento adquirido del experto, lo que contribuyó bastante en el nivel de confianza obtenido en los resultados de diagnóstico en las pruebas del prototipo.



Lo más importante de la construcción del prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, es la aplicación de la Inteligencia Artificial, en el área de la psicología puesta al servicio de la población.

## **5.2. Recomendaciones**

La Distimia es un trastorno depresivo profundo que comúnmente convive con otros trastornos mentales, en el trabajo de investigación, no se pudo abarcar las distintas especificaciones que puede conllevar el diagnóstico de distimia, un claro ejemplo es la especificación de tipo de distimia: de inicio temprano o inicio tardío, en este contexto, se recomienda la ampliación del tema de investigación tomando en cuenta las especificaciones propuestas por el DSM 5.

El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia, puede ser utilizado tanto para jóvenes como para adultos debido a la sintomatología que éstos comparten, por lo que se recomienda el desarrollo de software de diagnóstico de distimia que sea beneficioso para otros grupos poblacionales que también podrían sufrir de este trastorno: niños y adolescentes.

El bienestar mental en la ciudad de El Alto y en todo el país, suele ser relegado a un segundo plano, siendo que éste es igual de importante que el tener bienestar físico y social, en este aspecto, se recomienda la aplicación de ingeniería del conocimiento para el desarrollo de software que colabore en el campo de la salud mental.

## BIBLIOGRAFÍA

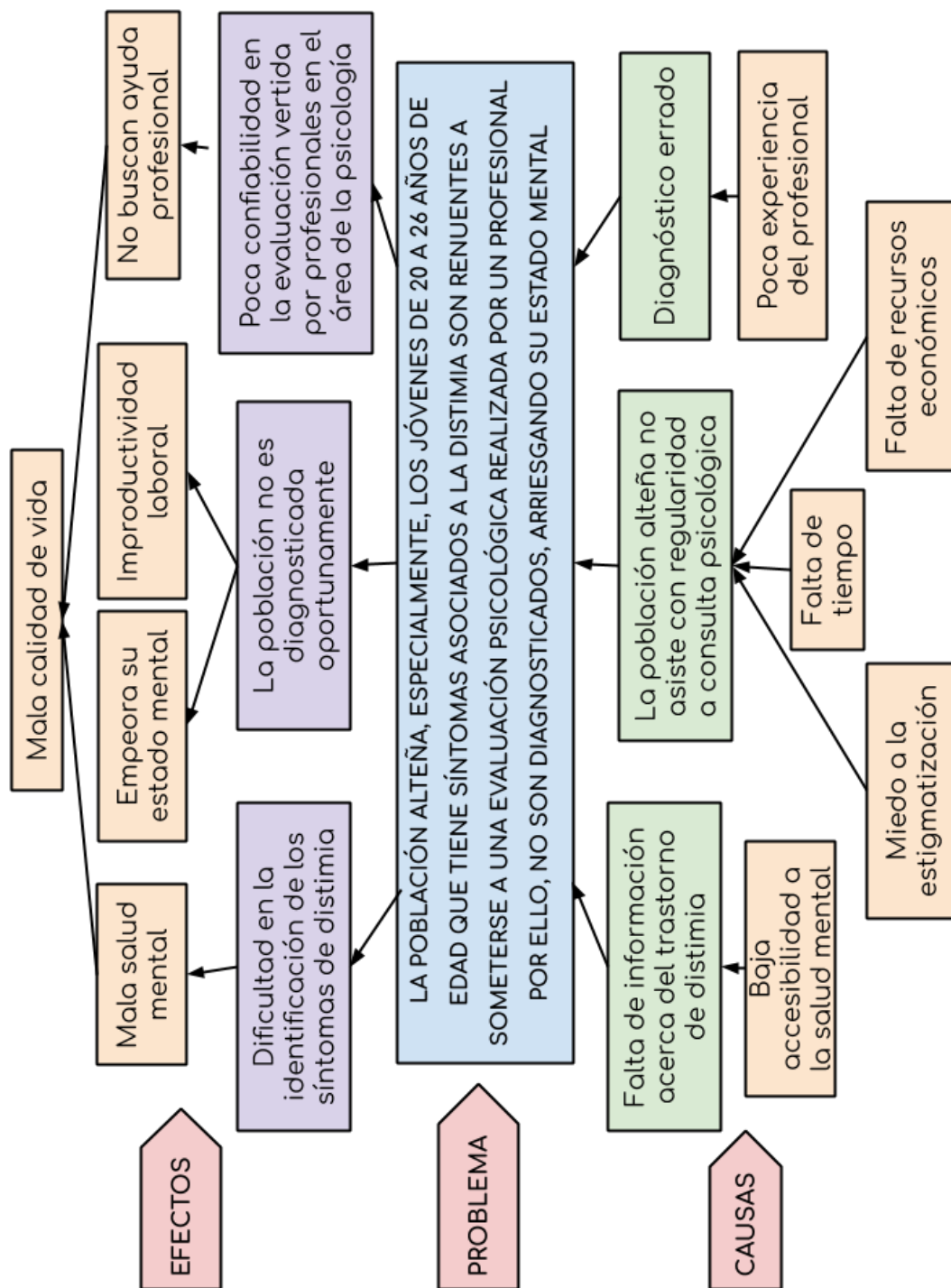
- Antúnez, T., Valdovinos, R., Marcial, J., Ramos, M., & Herrera, E. (marzo de 2016). Estimación de costos de desarrollo, caso de estudio: Sistema de Gestión de Calidad del Reactor TRIGA Mark III. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas La Habana*, 10(1). Recuperado el 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-18992016000100018](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992016000100018)
- Apaza, W. (2015). *SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO DE LA HERNIA DISCAL LUMBAR BASADO EN LOGICA DIFUSA*.
- Apuntes del FIC (Facultad de Informática de A Coruña). (3 de junio de 2010). *Verificación y validación de sistemas inteligentes*. Obtenido de [http://quegrande.org/apuntes/EI/4/IA/teoria/09-10/tema\\_8\\_-\\_factores\\_de\\_certidumbre.pdf](http://quegrande.org/apuntes/EI/4/IA/teoria/09-10/tema_8_-_factores_de_certidumbre.pdf)
- Baekeland, C. (11 de marzo de 2014). *Consulta Baekeland*. Obtenido de <https://www.consultabaekeland.com>
- CEPAL,OIJ, SEGIB. (2008). *CEPAL*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org>
- CIE. (abril de 2019). *CIE-11*. Obtenido de <https://icd.who.int>
- Clínica de la Familia. (s.f.). *Fundación Clínica de la Familia*. Obtenido de <https://www.fundacionclinicadelafamilia.org>
- Coryell, W. (mayo de 2018). *Manual MSD version para profesionales*. Obtenido de <https://www.msmanuals.com>
- Diciembre, S. (2 de octubre de 2017). *Universitat Jaume I*. Obtenido de Repositorio Institucional: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173788/TFG\\_2017\\_DiciembreSanahuja\\_Samuel.pdf?sequence=1](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173788/TFG_2017_DiciembreSanahuja_Samuel.pdf?sequence=1)
- Eslava, V. (2012). *HTML, presente y futuro de la web*. España. etapasdesarrollohumano. (s.f.). *etapasdesarrollohumano*. Obtenido de <https://www.etapasdesarrollohumano.com/>
- G. Schulz, R. (2008). *Diseño Web con CSS*.
- Gallardo, G., Jiménez, M., González, A., & Villaseñor, T. (julio - agosto de 2013). La distimia como entidad nosológica. Algunas consideraciones clínicas, epidemiológicas, etiológicas y de utilidad diagnóstica. *Revista Mexicana de Neurociencia*(4), 215 - 216. Obtenido de <https://www.medigraphic.com>

- Goena, J., & Molero, P. (25 de septiembre de 2019). Distimia. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12, 5037. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>
- González, C. (3 de noviembre de 2013). *ESI - Escuela Superior de Informática*. Obtenido de [https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011\\_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf](https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf)
- Hipertextual SL. (13 de agosto de 2014). *Hipertextual SL*. Obtenido de <https://hipertextual.com/archivo/2014/08/flask-python/>
- Itelligent. (5 de diciembre de 2018). *Itelligent*. Obtenido de <https://www.itelligent.es/es/que-es-python/>
- Jiménez, M., Gallardo, G., Villaseñor, T., & González, A. (12 de noviembre de 2013). La distimia en el contexto clínico. *Revista colombiana de Psiquiatría*, 213-214. Obtenido de [www.elsevier.es/rcp](http://www.elsevier.es/rcp)
- Krauskopf, D. (junio de 2015). Los marcadores de juventud: la complejidad de las edades. *Última década*, 23(42), 6.
- León, T. (2007). *Sistemas Expertos y sus aplicaciones*. Estado de Hidalgo, México. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sistemas%20expertos%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>
- Medycyna Praktyczna. (s.f.). *empendium*. Obtenido de <https://empendium.com>
- Merlo, W. (2014). *Sistema experto para el diagnóstico de la gastritis basado en conjuntos difusos*. La Paz.
- Mozilla. (2005). *Mozilla*. Obtenido de <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>
- Nina, G. (2009). *Sistema experto para el diagnóstico de la depresión*. La Paz, Murillo, Bolivia.
- Nogales, D. (2015). *Sistema experto para el diagnóstico de la depresión de un geronte basado en lógica difusa*.
- Olmo, A. (2008). *DMATIC*. Obtenido de Departamento de Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/tutorial\\_fuzzy/contenido3.html](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/contenido3.html)

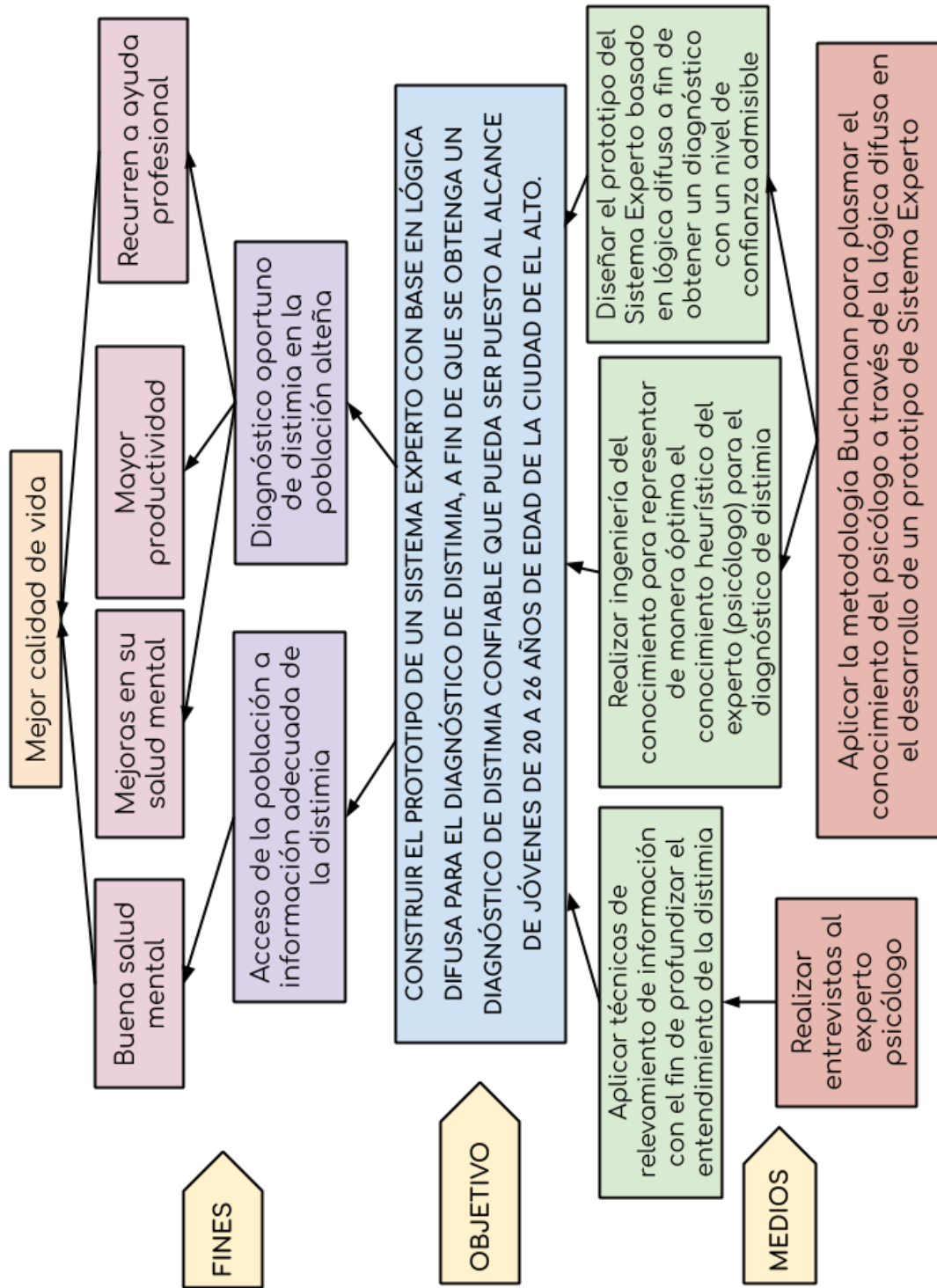
- Organización Mundial de la Salud. (30 de enero de 2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression>
- Organización Panamericana de la Salud. (9 de octubre de 2012). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7305:2012-dia-mundial-salud-mental-depresion-trastorno-mental-mas-frecuente&Itemid=1926&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=7305:2012-dia-mundial-salud-mental-depresion-trastorno-mental-mas-frecuente&Itemid=1926&lang=es)
- Palma, J. T., Paniagua, E., Martín, F., & Marín, R. (2000). Ingeniería del conocimiento. De la extracción al modelado del conocimiento. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/925/92541105.pdf>
- Perez, R. (21 de enero de 2005). *TDX (Tesis Doctoral Xarxa)*. Recuperado el 27 de julio de 2020, de <https://www.tdx.cat/handle/10803/6887>
- Ponce, P. (2010). *Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería*. México DF: Alfaomega.
- Pruebas de Caja Negra y Caja Blanca. (3 de junio de 2009). Obtenido de <http://ingenierogestion.blogspot.com/2009/06/pruebas-de-caja-negra-y-caja-blanca.html>
- UNESCO. (s.f.). *UNESCO*. Recuperado el 23 de junio de 2020, de <https://es.unesco.org>
- Vallespir, D. (2006). *Mejora de la Calidad de los Prototipos desarrollados en un contexto académico*. Tesis de maestría, Universidad de la república, Facultad de Ingeniería, Montevideo . Obtenido de <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/biblio/24465/diegovallespir-maestria.pdf>
- Vildósola, E. (2015). Relación entre la frecuencia de actividad física y los niveles de depresión en adultos jóvenes universitarios de entre 21 a 25 años de la ciudad de Chillán. Chile.
- Widemann, P. (22 de marzo de 2010). *Universidad de Magallanes*. Obtenido de <http://www.umag.cl/>

# ANEXOS

## Anexo 1: Árbol de problemas

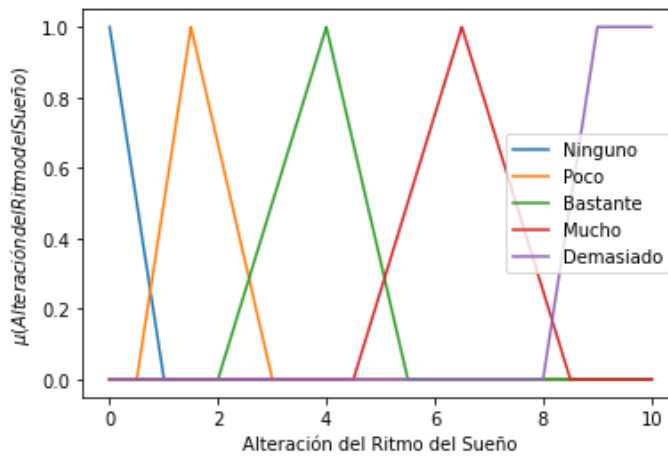


## Anexo 2: Árbol de objetivos

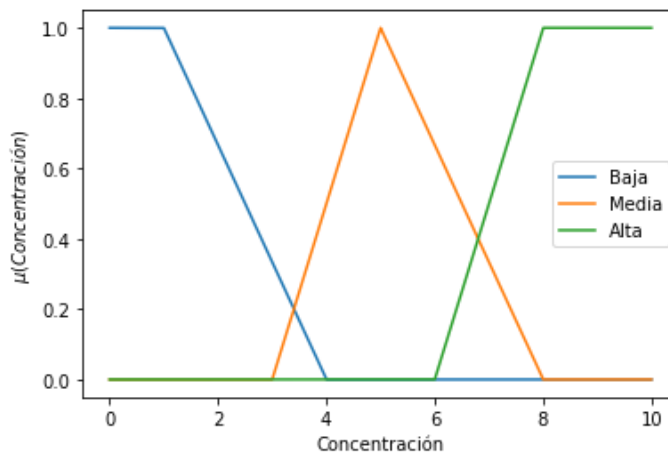


### Anexo 3: Conjuntos difusos para las variables:

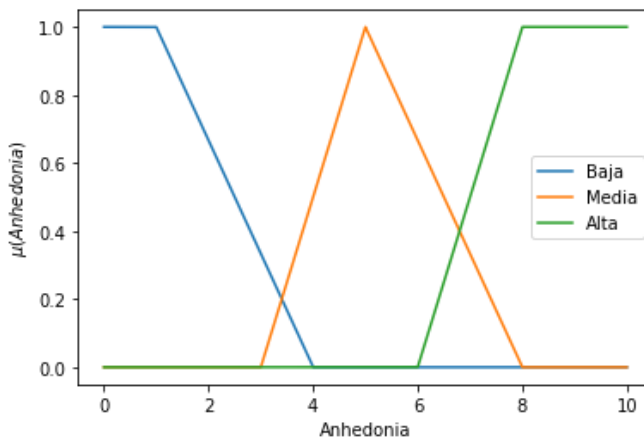
- Alteración del Ritmo del Sueño



- Concentración

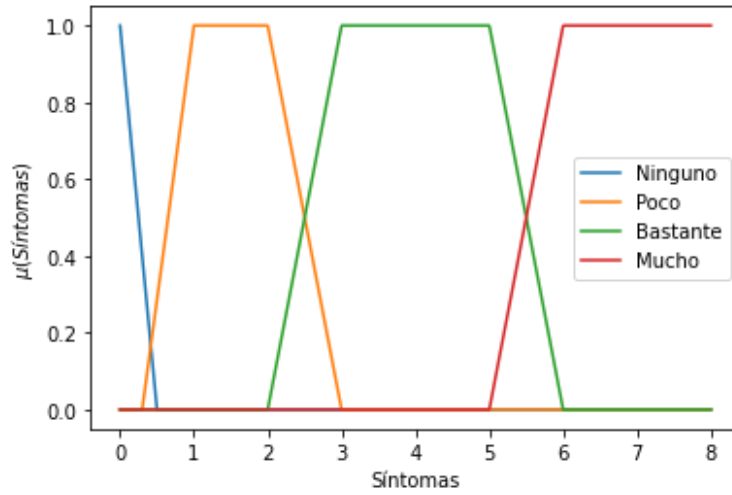


- Anhedonia

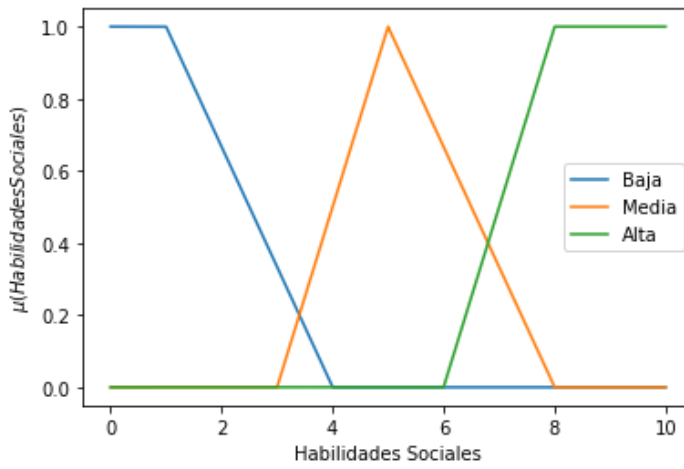




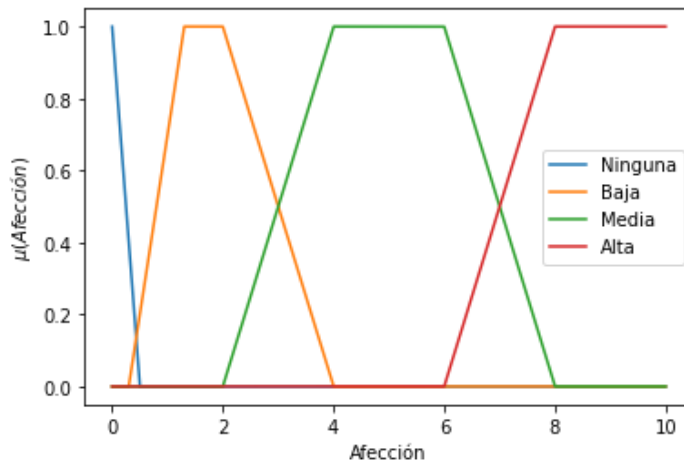
- Síntomas



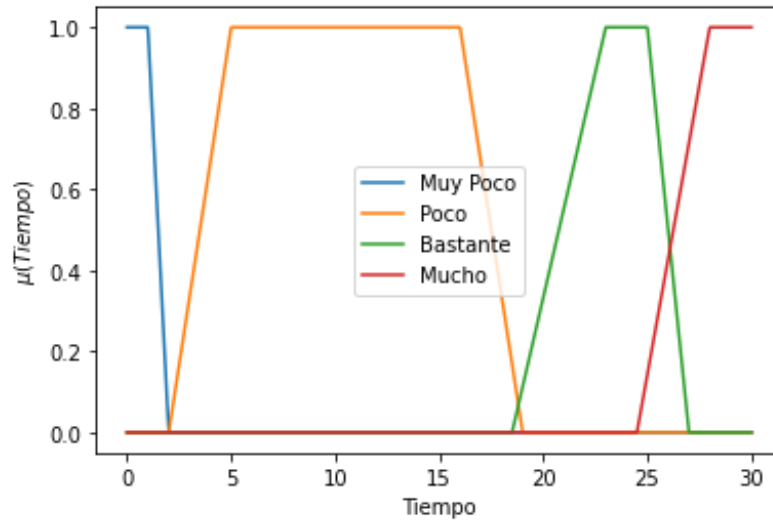
- Habilidades Sociales



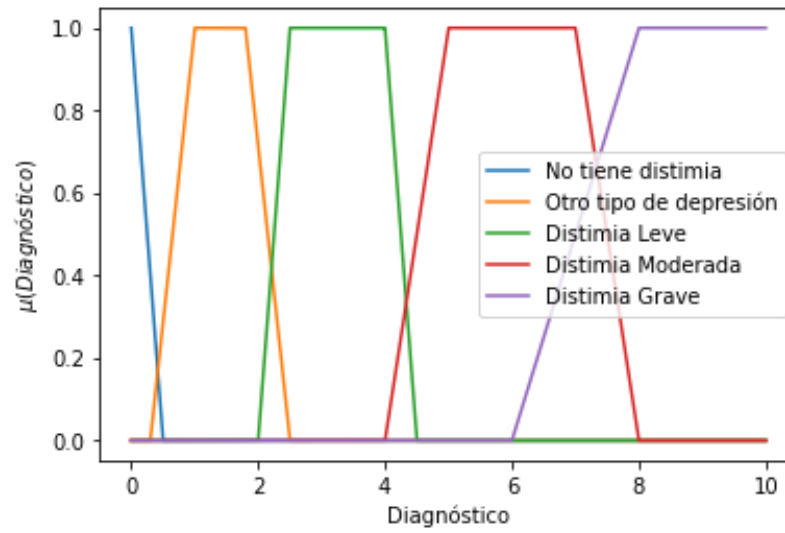
- Afección



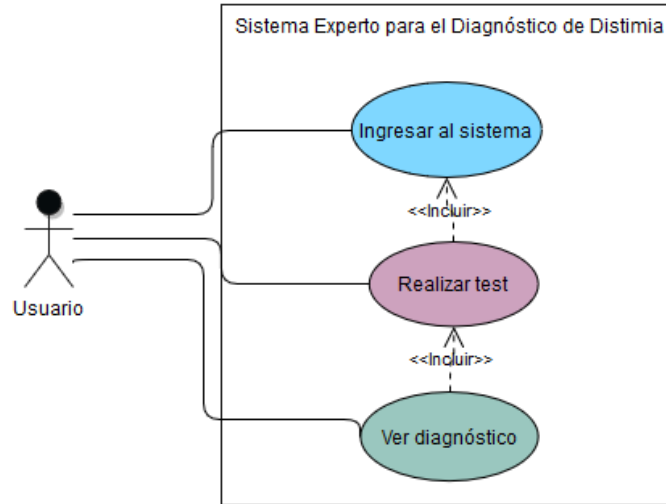
- Tiempo



- Diagnóstico



## Anexo 4: Casos de Uso – Usuario



### a) Ingresar al sistema

Caso de uso	Ingresar al Sistema Experto
Actores	Usuario
Resumen	El usuario ingresa al Sistema Experto mediante la web para revisar información acerca de la distimia.
Precondiciones	--
Postcondiciones	El usuario tiene acceso a la información de la distimia, y puede realizar un test de diagnóstico si lo desea.
Incluye	--
Extiende	--
Hereda de	--
Flujo de eventos	
Actores	Sistema
1. El usuario ingresa a la página principal del Sistema (home)	2. El sistema despliega la información por medio de un archivo html (home).

b) Realizar test

Caso de uso	<b>Realizar test</b>
Actores	Usuario
Resumen	El usuario solicita realizar el test de diagnóstico de distimia, al presionar un botón en la página inicial del sistema; llena el formulario y envía éste para su diagnóstico
Precondiciones	El usuario debe ingresar a la página inicial del Sistema para acceder al botón para el despliegue del test
Postcondiciones	El usuario envía para su diagnóstico sus respuestas al test para su diagnóstico.
Incluye	Ingresar al Sistema Experto
Extiende	--
Hereda de	--
<b>Flujo de eventos</b>	
Actores	Sistema
1. El usuario hace clic en el botón de Realizar test. 3. El usuario responde a las preguntas del test. 4. El usuario hace clic en el botón Diagnosticar.	2. El sistema despliega el test a través de un formulario html. 5. El sistema almacena las respuestas en variables (hechos), para inferir el diagnóstico de distimia.

c) Ver diagnóstico

Caso de uso	<b>Ver diagnóstico</b>
Actores	Usuario
Resumen	El usuario solicita ver el diagnóstico de distimia en base a sus respuestas en el test realizado.
Precondiciones	El usuario debe responder al test y enviar sus respuestas
Postcondiciones	El usuario envía para su diagnóstico sus respuestas al test para su diagnóstico.
Incluye	Realizar test
Extiende	--
Hereda de	--
<b>Flujo de eventos</b>	
Actores	Sistema
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario hace clic en el botón de Diagnosticar.</li> <li>3. El usuario visualiza el diagnóstico inferido por el sistema.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. El sistema realiza la inferencia difusa Mamdani.</li> <li>3. El sistema ejecuta el módulo de explicación.</li> <li>4. El sistema envía y despliega los resultados del diagnóstico a través de un archivo html.</li> </ol>

**Anexo 5:** Tabla Mamdani para la variable diagnóstico

Sintomas	Afeccion	Tiempo	Diagnostico
Poco	Baja	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Poco	Baja	Poco	Distimia Leve
Poco	Baja	Bastante	Distimia Leve
Poco	Baja	Mucho	Distimia Leve
Poco	Media	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Poco	Media	Poco	Distimia Leve
Poco	Media	Bastante	Distimia Leve
Poco	Media	Mucho	Distimia Leve
Poco	Alta	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Poco	Alta	Poco	Distimia Leve
Poco	Alta	Bastante	Distimia Leve
Poco	Alta	Mucho	Distimia Moderada
Bastante	Baja	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Bastante	Baja	Poco	Distimia Moderada
Bastante	Baja	Bastante	Distimia Moderada
Bastante	Baja	Mucho	Distimia Moderada
Bastante	Media	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Bastante	Media	Poco	Distimia Moderada
Bastante	Media	Bastante	Distimia Moderada
Bastante	Media	Mucho	Distimia Moderada
Bastante	Alta	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Bastante	Alta	Poco	Distimia Grave
Bastante	Alta	Bastante	Distimia Grave
Bastante	Alta	Mucho	Distimia Grave
Mucho	Baja	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Mucho	Baja	Poco	Distimia Moderada
Mucho	Baja	Bastante	Distimia Moderada
Mucho	Baja	Mucho	Distimia Moderada
Mucho	Media	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Mucho	Media	Poco	Distimia Grave
Mucho	Media	Bastante	Distimia Grave
Mucho	Media	Mucho	Distimia Grave
Mucho	Alta	MuyPoco	Otro tipo de depresión
Mucho	Alta	Poco	Distimia Grave
Mucho	Alta	Bastante	Distimia Grave
Mucho	Alta	Mucho	Distimia Grave

Adicionalmente se tienen las reglas para el diagnóstico:

- **IF** síntomas es ninguno **or** afeccion es ninguna **THEN** diagnostico es ningunSintoma
- **IF** síntomas es ninguno **or** tiempo es ninguno **THEN** diagnostico es ningunSintoma

## Anexo 6: Tabla de pruebas

- Síntomas

Síntomas							SÍNTOMAS
condMot	autoestima	concentracion	indefension	anhedonia	altAp	altRS	
Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Demasiado	Demasiado	<b>Muchos</b>
Alta	Alta	Alta	Baja	Baja	Ninguno	Ninguno	<b>Ninguno</b>
Media	Media	Baja	Media	Media	Bastante	Bastante	<b>Bastante</b>
Alta	Baja	Alta	Baja	Media	Poco	Bastante	<b>Poco</b>
Media	Baja	Alta	Media	Media	Bastante	Bastante	<b>Muchos</b>

- Afección

Afección					AFECCIÓN
funcFam	habSoc	areaLab	dimAc	dimSent	
Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	<b>Alta</b>
Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	<b>Ninguna</b>
Media	Media	Media	Media	Media	<b>Baja</b>
Baja	Baja	Alta	Media	Alta	<b>Media</b>
Media	Media	Media	Media	Baja	<b>Baja</b>

- Diagnóstico

Variables			DIAGNÓSTICO
SÍNTOMAS	AFECCIÓN	TIEMPO	
<b>Muchos</b>	<b>Alta</b>	<b>Demasiado</b>	<b>Distimia Grave</b>
<b>Ninguno</b>	<b>Ninguna</b>	<b>Muy poco</b>	<b>Sin síntomas depresivos</b>
<b>Bastante</b>	<b>Baja</b>	<b>Poco</b>	<b>Distimia Moderada</b>
<b>Poco</b>	<b>Media</b>	<b>Poco</b>	<b>Distimia Leve</b>
<b>Muchos</b>	<b>Baja</b>	<b>Muy poco</b>	<b>Otro tipo de depresión</b>

## Anexo 7:

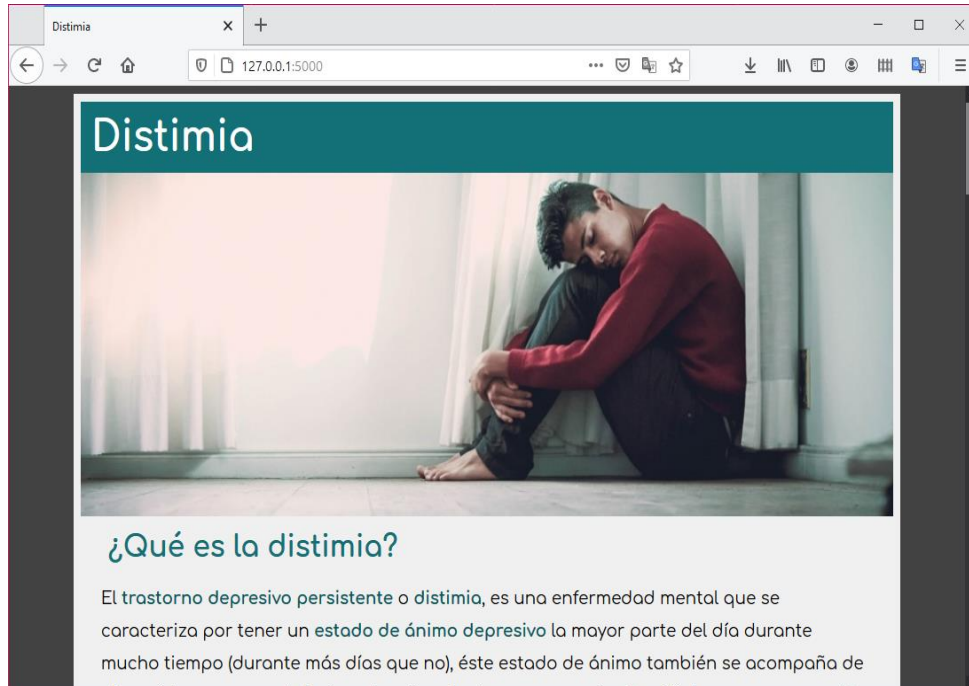
### Prototipo del sistema experto MANUAL DE USUARIO

#### I. OBJETIVO:

El prototipo del Sistema Experto con base en Lógica Difusa para el Diagnóstico de Distimia desarrollado en Python para la web, tiene como fin, realizar el diagnóstico de distimia en base a un test realizado en línea, proporcionando a su vez información sobre el trastorno depresivo persistente (distimia); de manera tal que esta información pueda llegar a la población alteña joven y adulta, permitiendo así, que casos de distimia puedan ser tratados en un futuro, a través de la concientización de la población ante el posible padecimiento de este mal.

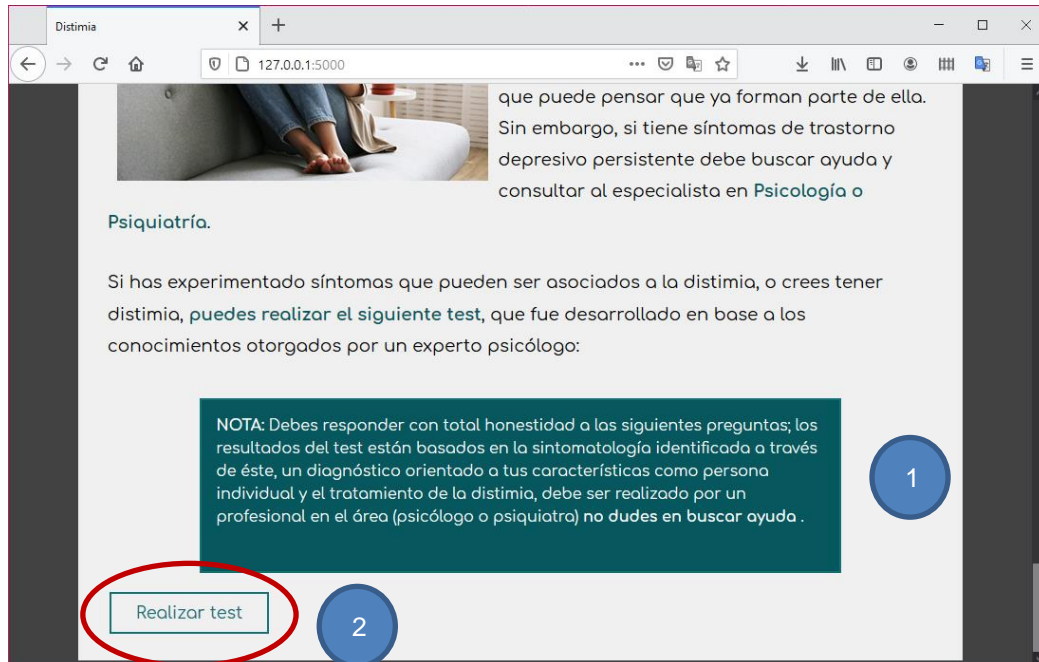
#### II. GUÍA DE USO:

**1. Ingreso al sistema:** Ingresar a la página principal del sistema web a través de un navegador, donde se observará información acerca de la distimia.





**2. Ingreso al test:** Luego de ingresar a la página principal del sistema web, al finalizar la lectura de la información y la nota adjunta, se encontrará el botón para Realizar el test para poder acceder al test de distimia.

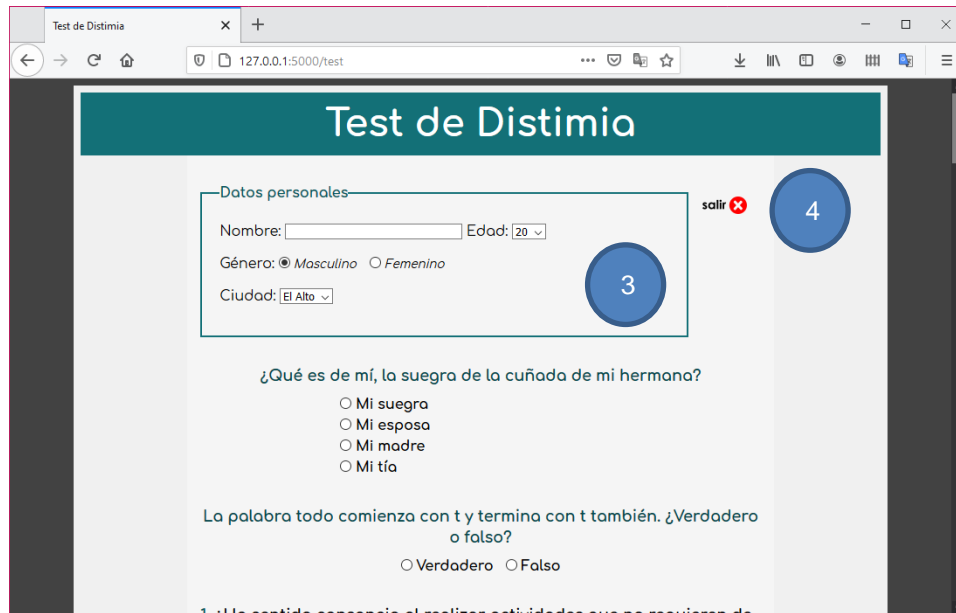


Nota dirigida a las personas que deseen realizar el test.



Botón realizar test.

Luego de hacer clic en el botón **Realizar test**, inmediatamente se cargará el test para el diagnóstico de distimia:



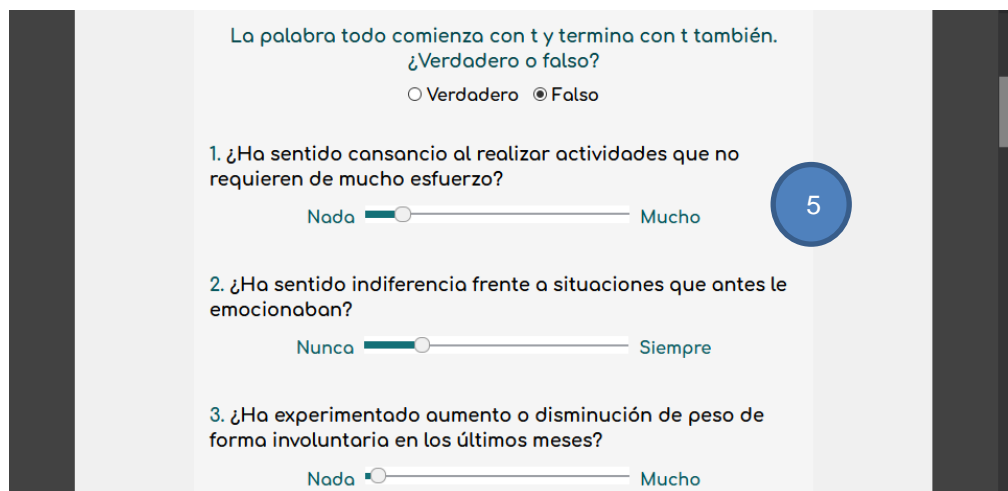
Datos personales de la persona a realizar el test.



Botón **Salir**, si se desea salir del test.

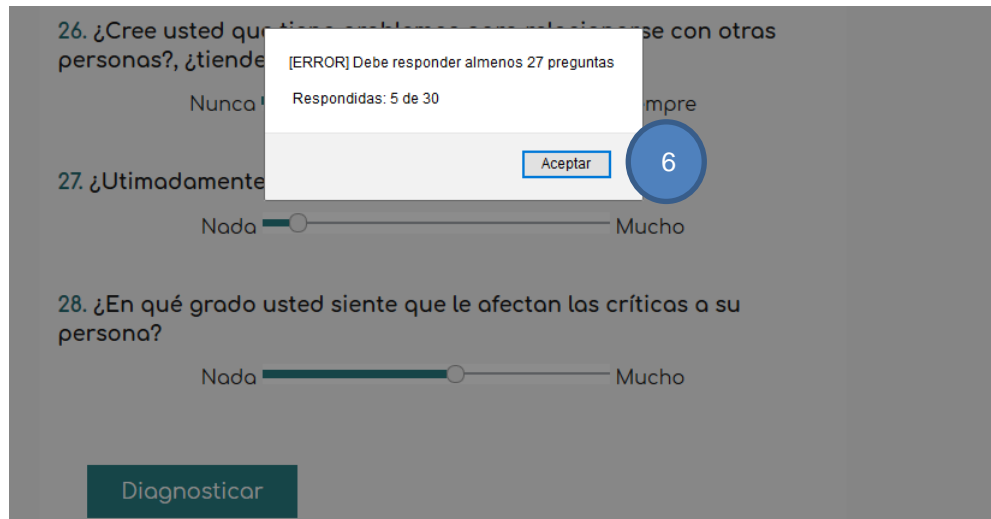
En la página del test se deben llenar los campos de datos personales, en caso de querer salir del test, se debe hacer clic en el botón **Salir**.

Si se desea realizar el test, se debe continuar contestando a éste, de la pregunta 1 a la 28 se debe mover los sliders en cada pregunta, aproximándose a los valores de los extremos de acuerdo a su respuesta.



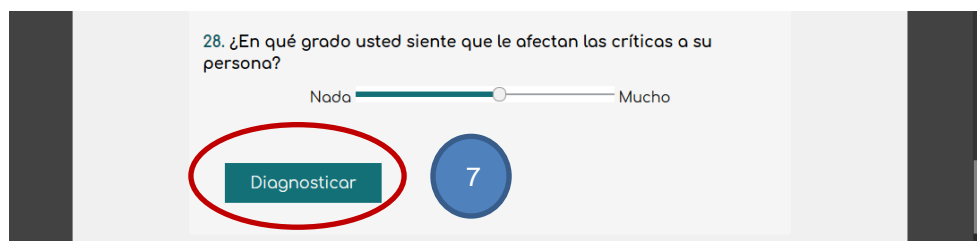
5 Preguntas del test.

Debe responder al menos 27 de las 30 preguntas planteadas, si aparece el mensaje de error, debe hacer clic en **Aceptar** y continuar respondiendo.



6 Mensaje de error, al hacer clic en el botón **Diagnosticar** sin contestar al menos 27 preguntas.

Tras responder al menos 27 preguntas, debe hacer clic en el botón **Diagnosticar** para obtener los resultados del test.



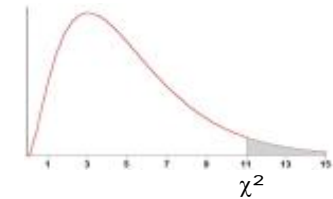
7 Botón **Diagnosticar**, para obtener el diagnóstico en base al test realizado.

Luego de hacer clic en el botón **Diagnosticar**, se cargará la página con el diagnóstico inferido en base a las respuestas del test:



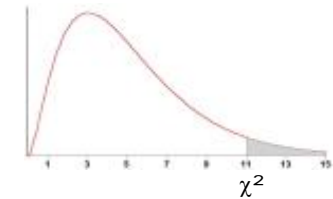
- 8 Diagnóstico obtenido.
- 9 Valor del cálculo de la variable Distimia (grado de distimia, en este caso 0.16/10)
- 10 Explicación del resultado, y recomendaciones de acciones a tomar.
- 11 Botón **OK**, para volver a la página principal.

**Tabla D.7: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN JI CUADRADA**



	0,001	0,005	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
g.d.l																g.d.l
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706	2,072	1,642	1,323	1,074	0,873	0,708	1
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605	3,794	3,219	2,773	2,408	2,100	1,833	2
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251	5,317	4,642	4,108	3,665	3,283	2,946	3
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779	6,745	5,989	5,385	4,878	4,438	4,045	4
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236	8,115	7,289	6,626	6,064	5,573	5,132	5
6	22,458	18,548	16,812	15,033	14,449	13,968	13,198	12,592	10,645	9,446	8,558	7,841	7,231	6,695	6,211	6
7	24,322	20,278	18,475	16,622	16,013	15,509	14,703	14,067	12,017	10,748	9,803	9,037	8,383	7,806	7,283	7
8	26,124	21,955	20,090	18,168	17,535	17,010	16,171	15,507	13,362	12,027	11,030	10,219	9,524	8,909	8,351	8
9	27,877	23,589	21,666	19,679	19,023	18,480	17,608	16,919	14,684	13,288	12,242	11,389	10,656	10,006	9,414	9
10	29,588	25,188	23,209	21,161	20,483	19,922	19,021	18,307	15,987	14,534	13,442	12,549	11,781	11,097	10,473	10
11	31,264	26,757	24,725	22,618	21,920	21,342	20,412	19,675	17,275	15,767	14,631	13,701	12,899	12,184	11,530	11
12	32,909	28,300	26,217	24,054	23,337	22,742	21,785	21,026	18,549	16,989	15,812	14,845	14,011	13,266	12,584	12
13	34,528	29,819	27,688	25,472	24,736	24,125	23,142	22,362	19,812	18,202	16,985	15,984	15,119	14,345	13,636	13
14	36,123	31,319	29,141	26,873	26,119	25,493	24,485	23,685	21,064	19,406	18,151	17,117	16,222	15,421	14,685	14
15	37,697	32,801	30,578	28,259	27,488	26,848	25,816	24,996	22,307	20,603	19,311	18,245	17,322	16,494	15,733	15
16	39,252	34,267	32,000	29,633	28,845	28,191	27,136	26,296	23,542	21,793	20,465	19,369	18,418	17,565	16,780	16
17	40,790	35,718	33,409	30,995	30,191	29,523	28,445	27,587	24,769	22,977	21,615	20,489	19,511	18,633	17,824	17
18	42,312	37,156	34,805	32,346	31,526	30,845	29,745	28,869	25,989	24,155	22,760	21,605	20,601	19,699	18,868	18
19	43,820	38,582	36,191	33,687	32,852	32,158	31,037	30,144	27,204	25,329	23,900	22,718	21,689	20,764	19,910	19
20	45,315	39,997	37,566	35,020	34,170	33,462	32,321	31,410	28,412	26,498	25,038	23,828	22,775	21,826	20,951	20
21	46,797	41,401	38,932	36,343	35,479	34,759	33,597	32,671	29,615	27,662	26,171	24,935	23,858	22,888	21,991	21
22	48,268	42,796	40,289	37,659	36,781	36,049	34,867	33,924	30,813	28,822	27,301	26,039	24,939	23,947	23,031	22
23	49,728	44,181	41,638	38,968	38,076	37,332	36,131	35,172	32,007	29,979	28,429	27,141	26,018	25,006	24,069	23
24	51,179	45,559	42,980	40,270	39,364	38,609	37,389	36,415	33,196	31,132	29,553	28,241	27,096	26,063	25,106	24
25	52,620	46,928	44,314	41,566	40,646	39,880	38,642	37,652	34,382	32,282	30,675	29,339	28,172	27,118	26,143	25
26	54,052	48,290	45,642	42,856	41,923	41,146	39,889	38,885	35,563	33,429	31,795	30,435	29,246	28,173	27,179	26
27	55,476	49,645	46,963	44,140	43,195	42,407	41,132	40,113	36,741	34,574	32,912	31,528	30,319	29,227	28,214	27
28	56,892	50,993	48,278	45,419	44,461	43,662	42,370	41,337	37,916	35,715	34,027	32,620	31,391	30,279	29,249	28
29	58,301	52,336	49,588	46,693	45,722	44,913	43,604	42,557	39,087	36,854	35,139	33,711	32,461	31,331	30,283	29
30	59,703	53,672	50,892	47,962	46,979	46,160	44,834	43,773	40,256	37,990	36,250	34,800	33,530	32,382	31,316	30
31	61,098	55,003	52,191	49,226	48,232	47,402	46,059	44,985	41,422	39,124	37,359	35,887	34,598	33,431	32,349	31
32	62,487	56,328	53,486	50,487	49,480	48,641	47,282	46,194	42,585	40,256	38,466	36,973	35,665	34,480	33,381	32
33	63,870	57,648	54,776	51,743	50,725	49,876	48,500	47,400	43,745	41,386	39,572	38,058	36,731	35,529	34,413	33
34	65,247	58,964	56,061	52,995	51,966	51,107	49,716	48,602	44,903	42,514	40,676	39,141	37,795	36,576	35,444	34
35	66,619	60,275	57,342	54,244	53,203	52,335	50,928	49,802	46,059	43,640	41,778	40,223	38,859	37,623	36,475	35
40	73,402	66,766	63,691	60,436	59,342	58,428	56,946	55,758	51,805	49,244	47,269	45,616	44,165	42,848	41,622	40
60	99,607	91,952	88,379	84,580	83,298	82,225	80,482	79,082	74,397	71,341	68,972	66,981	65,227	63,628	62,135	60
80	124,839	116,321	112,329	108,069	106,629	105,422	103,459	101,879	96,578	93,106	90,405	88,130	86,120	84,284	82,566	80
90	137,208	128,299	124,116	119,648	118,136	116,869	114,806	113,145	107,565	103,904	101,054	98,650	96,524	94,581	92,761	90
100	149,449	140,169	135,807	131,142	129,561	128,237	126,079	124,342	118,498	114,659	111,667	109,141	106,906	104,862	102,946	100
120	173,617	163,648	158,950	153,918	152,211	150,780	148,447	146,567	140,233	136,062	132,806	130,055	127,616	125,383	123,289	120
140	197,451	186,847	181,840	176,471	174,648	173,118	170,624	168,613	161,827	157,352	153,854	150,894	148,269	145,863	143,604	140

**Tabla D.7: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN JI CUADRADA**



	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,975	0,98	0,99	0,995	
<b>g.d.l</b>																<b>g.d.l</b>
1	0,571	0,455	0,357	0,275	0,206	0,148	0,102	0,064	0,036	0,016	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000	1
2	1,597	1,386	1,196	1,022	0,862	0,713	0,575	0,446	0,325	0,211	0,103	0,051	0,040	0,020	0,010	2
3	2,643	2,366	2,109	1,869	1,642	1,424	1,213	1,005	0,798	0,584	0,352	0,216	0,185	0,115	0,072	3
4	3,687	3,357	3,047	2,753	2,470	2,195	1,923	1,649	1,366	1,064	0,711	0,484	0,429	0,297	0,207	4
5	4,728	4,351	3,996	3,655	3,325	3,000	2,675	2,343	1,994	1,610	1,145	0,831	0,752	0,554	0,412	5
6	5,765	5,348	4,952	4,570	4,197	3,828	3,455	3,070	2,661	2,204	1,635	1,237	1,134	0,872	0,676	6
7	6,800	6,346	5,913	5,493	5,082	4,671	4,255	3,822	3,358	2,833	2,167	1,690	1,564	1,239	0,989	7
8	7,833	7,344	6,877	6,423	5,975	5,527	5,071	4,594	4,078	3,490	2,733	2,180	2,032	1,646	1,344	8
9	8,863	8,343	7,843	7,357	6,876	6,393	5,899	5,380	4,817	4,168	3,325	2,700	2,532	2,088	1,735	9
10	9,892	9,342	8,812	8,295	7,783	7,267	6,737	6,179	5,570	4,865	3,940	3,247	3,059	2,558	2,156	10
11	10,920	10,341	9,783	9,237	8,695	8,148	7,584	6,989	6,336	5,578	4,575	3,816	3,609	3,053	2,603	11
12	11,946	11,340	10,755	10,182	9,612	9,034	8,438	7,807	7,114	6,304	5,226	4,404	4,178	3,571	3,074	12
13	12,972	12,340	11,729	11,129	10,532	9,926	9,299	8,634	7,901	7,042	5,892	5,009	4,765	4,107	3,565	13
14	13,996	13,339	12,703	12,078	11,455	10,821	10,165	9,467	8,696	7,790	6,571	5,629	5,368	4,660	4,075	14
15	15,020	14,339	13,679	13,030	12,381	11,721	11,037	10,307	9,499	8,547	7,261	6,262	5,985	5,229	4,601	15
16	16,042	15,338	14,655	13,983	13,310	12,624	11,912	11,152	10,309	9,312	7,962	6,908	6,614	5,812	5,142	16
17	17,065	16,338	15,633	14,937	14,241	13,531	12,792	12,002	11,125	10,085	8,672	7,564	7,255	6,408	5,697	17
18	18,086	17,338	16,611	15,893	15,174	14,440	13,675	12,857	11,946	10,865	9,390	8,231	7,906	7,015	6,265	18
19	19,107	18,338	17,589	16,850	16,109	15,352	14,562	13,716	12,773	11,651	10,117	8,907	8,567	7,633	6,844	19
20	20,127	19,337	18,569	17,809	17,046	16,266	15,452	14,578	13,604	12,443	10,851	9,591	9,237	8,260	7,434	20
21	21,147	20,337	19,548	18,768	17,984	17,182	16,344	15,445	14,439	13,240	11,591	10,283	9,915	8,897	8,034	21
22	22,166	21,337	20,529	19,729	18,924	18,101	17,240	16,314	15,279	14,041	12,338	10,982	10,600	9,542	8,643	22
23	23,185	22,337	21,510	20,690	19,866	19,021	18,137	17,187	16,122	14,848	13,091	11,689	11,293	10,196	9,260	23
24	24,204	23,337	22,491	21,652	20,808	19,943	19,037	18,062	16,969	15,659	13,848	12,401	11,992	10,856	9,886	24
25	25,222	24,337	23,472	22,616	21,752	20,867	19,939	18,940	17,818	16,473	14,611	13,120	12,697	11,524	10,520	25
26	26,240	25,336	24,454	23,579	22,697	21,792	20,843	19,820	18,671	17,292	15,379	13,844	13,409	12,198	11,160	26
27	27,257	26,336	25,437	24,544	23,644	22,719	21,749	20,703	19,527	18,114	16,151	14,573	14,125	12,879	11,808	27
28	28,274	27,336	26,419	25,509	24,591	23,647	22,657	21,588	20,386	18,939	16,928	15,308	14,847	13,565	12,461	28
29	29,291	28,336	27,402	26,475	25,539	24,577	23,567	22,475	21,247	19,768	17,708	16,047	15,574	14,256	13,121	29
30	30,307	29,336	28,386	27,442	26,488	25,508	24,478	23,364	22,110	20,599	18,493	16,791	16,306	14,953	13,787	30
31	31,323	30,336	29,369	28,409	27,438	26,440	25,390	24,255	22,976	21,434	19,281	17,539	17,042	15,655	14,458	31
32	32,339	31,336	30,353	29,376	28,389	27,373	26,304	25,148	23,844	22,271	20,072	18,291	17,783	16,362	15,134	32
33	33,355	32,336	31,337	30,344	29,340	28,307	27,219	26,042	24,714	23,110	20,867	19,047	18,527	17,074	15,815	33
34	34,371	33,336	32,322	31,313	30,293	29,242	28,136	26,938	25,586	23,952	21,664	19,806	19,275	17,789	16,501	34
35	35,386	34,336	33,306	32,282	31,246	30,178	29,054	27,836	26,460	24,797	22,465	20,569	20,027	18,509	17,192	35
40	40,459	39,335	38,233	37,134	36,021	34,872	33,660	32,345	30,856	29,051	26,509	24,433	23,838	22,164	20,707	40
60	60,713	59,335	57,978	56,620	55,239	53,809	52,294	50,641	48,759	46,459	43,188	40,482	39,699	37,485	35,534	60
80	80,927	79,334	77,763	76,188	74,583	72,915	71,145	69,207	66,994	64,278	60,391	57,153	56,213	53,540	51,172	80
90	91,023	89,334	87,666	85,993	84,285	82,511	80,625	78,558	76,195	73,291	69,126	65,647	64,635	61,754	59,196	90
100	101,115	99,334	97,574	95,808	94,005	92,129	90,133	87,945	85,441	82,358	77,929	74,222	73,142	70,065	67,328	100
120	121,285	119,334	117,404	115,465	113,483	111,419	109,220	106,806	104,037	100,624	95,705	91,573	90,367	86,923	83,852	120
140	141,441	139,334	137,248	135,149	133,003	130,766	128,380	125,758	122,748	119,029	113,659	109,137	107,815	104,034	100,655	140

# APÉNDICE

El Alto, 19 de noviembre de 2020

Señor:

Ing. David Carlos Mamani Quispe  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**

Presente. -

**REF.: AVAL DE CONFORMIDAD DE TESIS DE GRADO**

Distinguido ingeniero:

Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad con el contenido de fondo y forma de la Tesis de Grado titulada "**SISTEMA EXPERTO CON BASE EN LÓGICA DIFUSA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DISTIMIA**", que propone la postulante **Elizabeth Zulma Mamani Choque** con **C.I.: 7046442 LP** y **R.U.: 13001328**, para su defensa pública, evaluación correspondiente a la materia de Taller de Licenciatura II, de acuerdo a reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Con este motivo, le saludo con la mayor atención.

Atentamente:

  
.....  
Ing.: Marisol Arguedas Balladares  
**TUTOR METODOLÓGICO**



El Alto, 19 de noviembre de 2020

Señor:

Ing. David Carlos Mamani Quispe  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**  
**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**

Presente. -

**REF.: AVAL DE CONFORMIDAD DE TESIS DE GRADO**

Distinguido ingeniero:

Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad con el contenido de fondo y forma de la Tesis de Grado titulada "**SISTEMA EXPERTO CON BASE EN LÓGICA DIFUSA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DISTIMIA**", que propone la postulante **Elizabeth Zulma Mamani Choque** con **C.I.: 7046442 LP** y **R.U.: 13001328**, para su defensa pública, evaluación correspondiente a la materia de Taller de Licenciatura II, de acuerdo a reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Con este motivo, le saludo con la mayor atención.

Atentamente:



.....  
Ing.: Freddy Felix Medina Miranda  
C.I. 672709 OR  
**TUTOR REVISOR**

El Alto, 19 de noviembre de 2020

Señor:

Ing. David Carlos Mamani Quispe  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**

Presente. -

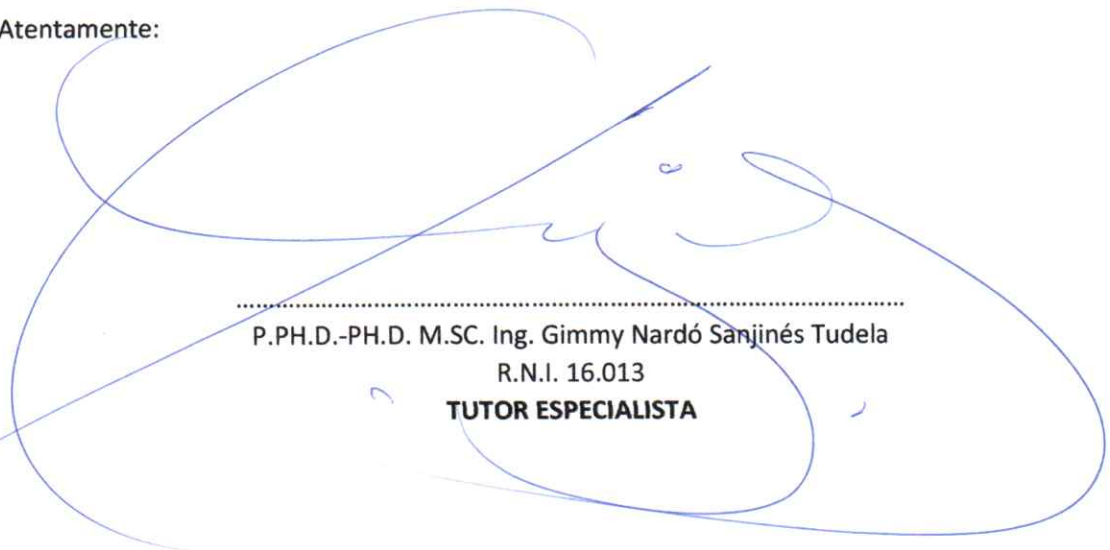
**REF.: AVAL DE CONFORMIDAD DE TESIS DE GRADO**

Distinguido ingeniero:

Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad con el contenido de fondo y forma de la Tesis de Grado titulada "**SISTEMA EXPERTO CON BASE EN LÓGICA DIFUSA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DISTIMIA**", que propone la postulante **Elizabeth Zulma Mamani Choque** con **C.I.: 7046442 LP** y **R.U.: 13001328**, para su defensa pública, evaluación correspondiente a la materia de Taller de Licenciatura II, de acuerdo a reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Con este motivo, le saludo con la mayor atención.

Atentamente:



.....  
P.PH.D.-PH.D. M.SC. Ing. Gimmy Nardó Sanjinés Tudela  
R.N.I. 16.013  
**TUTOR ESPECIALISTA**