



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LEÓN

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DIFUSO JERÁRQUICO HACIENDO USO DE  
REGLAS PARA LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE ESTIMULACIÓN Y  
EL ESTADO EMOCIONAL EN PERSONAS CON DETERIORO COGNITIVO”

TESIS

Que presenta:

ING. ISIS DEL RAZO HERNÁNDEZ

Para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN

Con la dirección de:

DR. CARLOS LINO RÁMIREZ

Y Co-dirección de:

DR. DIEGO MARTÍNEZ CASTRO

Revisores:

DR. VICTOR MANUEL ZAMUDIO RODRÍGUEZ

DR. DAVID ASael GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ

León, Guanajuato, Agosto 2021



# EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de León

León, Guanajuato, 07/julio/2021

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
OFICIO No. DEPI-130-2021

**ING. ISIS DEL RAZO HERNÁNDEZ  
PRESENTE**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora, integrada por los: Dr. Carlos Lino Ramírez, Dr. Diego Martínez Castro, Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez considerando que llena todos los requisitos establecidos en los Lineamientos Generales para la Operación del Posgrado del Tecnológico Nacional de México, se autoriza la impresión del trabajo de tesis titulado: "Propuesta de un Sistema Difuso Jerárquico haciendo uso de reglas para la integración de un sistema de estimulación y estado emocional en personas con deterioro cognitivo". Lo que hacemos de su conocimiento para los efectos y fines correspondientes.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
Ciencia Tecnología y Libertad

**DR. DAVID ASael GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ** INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LEÓN  
**JEFE DE LA DEPI** DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



C.c.p. Expediente



RP/IL-072  
2017-04-10 - 2021-04-10

Av. Tecnológico s/n Fracc. Industrial  
Julián de Obregón C.P 37290  
León, Gto. México Tel. 01 (477) 7105200,  
e-mail: tecleon@leon.tecnm.mx  
tecnm.mx | leon.tecnm.mx



León, Gto., a 12 de julio del 2021

**C. ING. LUIS ROBERTO GALLEGOS MUÑOZ**  
**JEFE DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E**

Por este medio hacemos de su conocimiento que la tesis titulada “**Propuesta de un sistema difuso jerárquico haciendo uso de reglas para la integración de un sistema de estimulación y el estado emocional en personas con deterioro cognitivo**”, ha sido leída y aprobada por los miembros del Comité Tutorial para su evaluación por el jurado del acto de examen de grado al alumno (a) **C. Isis del Razo Hernández**, con número de control **M14980508** como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro(a) en Ciencias de la Computación (MCCOM-2011-05).

Sin otro particular por el momento, quedamos de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**COMITÉ TUTORIAL**



Dr. Carlos Lino Ramírez

**DIRECTOR**

Dr. Diego Martínez Castro

**CODIRECTOR ó REVISOR**



Dr. Victor Manuel Zamudio Rodríguez

**REVISOR (a)**



Dr. David Asael Gutiérrez Hernández

**REVISOR (a)**

## DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, Isis del Razo Hernández identificado con No. Control **M14980508**, alumno (a) del programa de la **Maestría en Ciencias de la Computación**, autor (a) de la Tesis titulada: **“Propuesta de un sistema difuso jerárquico haciendo uso de reglas para la integración de un sistema de estimulación y el estado emocional en personas con deterioro cognitivo”** DECLARO QUE:

1.- El presente trabajo de investigación, tema de la tesis presentada para la obtención del título de **MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN** es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, ni citas completas “stricto sensu”, así como ilustraciones, fotografías u otros materiales audiovisuales, obtenidas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc. en su versión digital o impresa.

2.- Declaro que el trabajo de investigación que pongo a consideración para evaluación no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni ha sido publicado en sitio alguno.

3.- Declaro que las pruebas o experimentos derivados de esta investigación fueron realizados bajo el consentimiento de los involucrados y con fines estrictamente académicos conforme a criterios éticos de confidencialidad.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades de la tesis, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Asimismo, me hago responsable ante el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a las normas establecidas en los Lineamientos y Disposiciones de la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México.

León, Guanajuato a 01 del mes de agosto de 2021



Isis del Razo Hernández

## ACUERDO PARA USO DE OBRA (TESIS DE GRADO)

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por medio del presente escrito, Isis del Razo Hernández (en lo sucesivo el AUTOR) hace constar que es titular intelectual de la obra denominada: "**Propuesta de un sistema difuso jerárquico haciendo uso de reglas para la integración de un sistema de estimulación y el estado emocional en personas con deterioro cognitivo**", (en lo sucesivo la OBRA) en virtud de lo cual autoriza al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León (en lo sucesivo TECN/IT León) para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital o impresa para asegurar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma con fines académicos y sin fines de lucro como parte del Repositorio Institucional del TECN/ITLeón.

De igual manera, es deseo del AUTOR establecer que esta autorización es voluntaria y gratuita, y que de acuerdo a lo señalado en la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de Propiedad Industrial el TECN/IT León cuenta con mi autorización para la utilización de la información antes señalada, estableciendo que se utilizará única y exclusivamente para los fines antes señalados. El AUTOR autoriza al TECN/IT León a utilizar la obra en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique se le conceda licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionada respecto a la "propiedad intelectual" de la misma OBRA; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes. Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir la OBRA se deberá reconocer y dar créditos de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el propio autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada de esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales del AUTOR.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general de cualquier parte de la OBRA son responsabilidad de AUTOR, por lo que se deslinda al (TECN/ITLeón) por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros. Finalmente, el AUTOR manifiesta que estará depositando la versión final de su documento de Tesis, OBRA, y cuenta con los derechos morales y patrimoniales correspondientes para otorgar la presente autorización de uso.

En la ciudad de León, del estado de Guanajuato a los 01 días del mes de agosto de 2021.

Atentamente,



Isis del Razo Hernández

# Agradecimientos

*Doy las gracias a mi tío Jorge, por creer en mis capacidades y apoyarme en mis momentos difíciles durante este proceso. A mis amigos, escucharme e impulsarme a dar lo mejor de mi y especialmente a Mari, quien más allá de mi compañera de generación se convirtió en una maravillosa amiga, gracias por estar conmigo a pesar de la distancia y por apoyarme siempre, no lo habría logrado sin ti.*

*Agradezco a mi asesor el Dr. Carlos Lino Ramírez por confiar en mí, por la paciencia y motivación brindada para no darme por vencida. A mi Co-Aesor Dr. Diego Martínez Castro porque a pesar de la distancia siempre se mantuvo involucrado en esta investigación. A mis revisores, el Dr. Victor Manuel Zamudio Rodríguez y Dr. David Asael Gutierrez Hernández por brindarme su apoyo y conocimiento. A los integrantes del Laboratorio de Robótica Computacional por compartir su trayectoria en la investigación y por hacer los días de trabajo más amenas. Al Departamento de Estudios de Posgrado del TecNM-León y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada en el periodo de estudios de maestría.*

*Gracias*

# Dedicatoria

*A mi madre, mi Lulusita, mi mayor ejemplo a seguir. Te dedico esto en agradecimiento de todo lo que me has brindado, más allá de lo material. Ojalá algún día pueda ser una mujer tan extraordinaria y valiente como tú, me has enseñado y ayudado a cumplir mis sueños, gracias por apoyarme en cada una de las etapas de mi vida a pesar de mis caídas.*

*Te amo más*

# Publicación

Programación Matemática y Software (2021) 13 (1): 64-72. ISSN: 2007-3283

---

## Propuesta de un sistema difuso jerárquico haciendo uso de reglas para la integración de un sistema de estimulación y el estado

Proposal for a hierarchical fuzzy system using rules for the integration of a stimulation system with emotional states in people with cognitive impairment

Isis del Razo Hernández<sup>1</sup>, Carlos Lino Ramírez<sup>1</sup>, David Asael Gutierrez Hernández<sup>1</sup>, Victor Manuel Zamudio Rodríguez<sup>1</sup>, Diego Martínez Castro<sup>2</sup>

1) División de Estudios de Posgrado e Investigación/Tecnológico Nacional de México/I.T. León, Av. Tecnológico S/N Fracc. Industrial Julián de Obregón, León Guanajuato, México, C.P. 37290

2) Universidad Autónoma de Occidente/Calle 25, Vía Cali - Puerto Tejada #115-85 Km 2, Jamundí, Cali, Valle del Cauca, Colombia

Correo-e: isisdrh@gmail.com

### PALABRAS CLAVE:

Lógica difusa, Computo afectivo, Análisis emocional, Deterioro cognitivo.

### RESUMEN

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) la población de adultos mayores es equivalente al 10.8% del total de la población en México, además de ser uno de los países latinoamericanos con mayor prevalencia, con un 7.3%, en enfermedades relacionadas al deterioro cognitivo afectando de manera directa la calidad de vida del adulto mayor (Secretaría de Salud., 2018). Se espera que para el año 2030 el número de personas con demencia aumente a poco más de 1.5 millones. Debido a dicha prevalencia es relevante desarrollar plataformas y herramientas basadas en tecnología que permitan atender la demanda de necesidades en la población con deterioro cognitivo. En este trabajo se propone un sistema jerárquico difuso que usa reglas creadas para lograr una integración entre el estado emocional y el resultado de un plan de estimulación en personas con deterioro cognitivo para de esta manera generar una mejor propuesta de tratamiento tomando en cuenta la salida correspondiente al sistema propuesto.



# Resumen

El deterioro cognitivo representa un 70% del total de demencias que afectan a las personas de edad avanzada. Es una enfermedad neurodegenerativa que ocasiona un significativo deterioro cognitivo en los pacientes y altera múltiples aspectos de la vida de las personas que lo llegan a padecer, tales como la memoria, pensamiento, comportamiento y la competencia para llevar a cabo actividades cotidianas.

Los principales referentes del estudio de las emociones (Damasio, 1994; LeDoux, 1996; Ekman, 1999) afirman la importancia que tienen las emociones en nuestra vida, ellas nos pueden ayudar con respuestas que son útiles ya que, por ejemplo, nos pueden salvar de un peligro.

Las emociones pueden tener un efecto significativo en la calidad de vida y tratamiento de los pacientes con padecimiento de DT, en el trabajo de León se menciona la importancia de realizar estudios acerca de la emoción que presentan los pacientes con DT con la finalidad de entender cómo la adaptación del paciente a través de las emociones se ve deteriorada.

El término de procesamiento de emociones se refiere a los procesos cognitivos involucrados en la capacidad de (1) comprender el estado emocional de los demás utilizando señales proporcionadas por la expresión facial o la entonación del habla (prosodia vocal) y (2) comunicar el propio estado emocional interno a través de los mismos mecanismos (expresión facial y prosodia vocal) (Heilman et al., 1993)

El cómputo afectivo (AC) define la emoción como un factor que influye en la forma en que se lleva a cabo el uso de las computadoras (Picard, R. W., 2000), esta área se explica como el análisis y la creación de sistemas y/o artefactos que pueden ser reconocidos, interpretados, procesados o estimulados por las emociones humanas, haciendo que las computadoras interactúen de forma natural e inteligente con las personas.

En la actualidad, en el campo de sistemas y herramientas que son usadas durante el tratamiento del DT no hacen uso de alguna variable que indique la emoción del paciente para incluirlo en los aspectos que se deben tomar en cuenta por un profesional al momento de realizar una recomendación para el tratamiento del paciente.

En este trabajo se propone un sistema difuso jerárquico de impacto social, representado por dos partes: (1) Las variables emocionales respecto a una conexión de salidas de un

sistema difuso el cual evalúa el estado emocional del paciente, así como (2) un plan de estimulación cognitiva, representado por un software creado para prevención, detección, evaluación y monitoreo de adultos mayores con deterioro cognitivo y demencia. Esta propuesta esta creada para lograr ofrecer al usuario un plan de tratamiento integral, es decir, que considere la parte emocional así como la parte cognitiva en la que el paciente se encuentra.

# Índice general

Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Problemática . . . . .	1
1.2. Justificación . . . . .	2
1.3. Hipótesis . . . . .	2
1.4. Objetivo General . . . . .	3
1.4.1. Objetivos Específicos . . . . .	3
1.5. Alcances y limitaciones . . . . .	4
1.5.1. Alcances . . . . .	4
1.5.2. Limitaciones . . . . .	4
<b>2. Marco teórico</b>	<b>5</b>
2.1. Lógica difusa . . . . .	5
2.2. Sistema de lógica difusa . . . . .	6
2.2.1. Fuzzificador . . . . .	7

2.2.2.	Mecanismo de inferencia difusa . . . . .	7
2.2.3.	Defuzificador . . . . .	8
2.2.4.	Reglas difusas . . . . .	8
2.3.	Conjuntos difusos . . . . .	9
2.4.	Funciones de membresía . . . . .	11
2.5.	Variables lingüísticas . . . . .	12
2.6.	Sistema difuso jerárquico . . . . .	13
2.7.	Emoción . . . . .	13
2.8.	Clasificación de las emociones . . . . .	14
2.9.	Estado emocional en adultos mayores . . . . .	14
2.10.	Deterioro cognitivo . . . . .	15
2.11.	Servicios IBM Watson . . . . .	16
2.11.1.	Watson Language Translator . . . . .	16
2.11.2.	Watson Tone Analyzer . . . . .	16
2.12.	Modelo de RULER . . . . .	17
2.13.	Agente inteligente . . . . .	17
2.14.	Computo afectivo . . . . .	18
<b>3.</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>19</b>
3.1.	Reconocimiento de las expresiones faciales emocionales en pacientes con demencia tipo Alzheimer de leve a moderada . . . . .	19
3.2.	Asistente robótico y aplicación móvil personal para pacientes con Alzheimer	21
3.3.	Modelo basado en lógica difusa para el diagnóstico cognitivo del estudiante	22

3.4. Sistema experto para el diagnóstico de la depresión de un geronte basado en lógica difusa . . . . .	23
3.5. Modelo de evaluación del aprendizaje basado en un sistema multi-agente inteligente . . . . .	24
<b>4. Propuesta del sistema</b>	<b>26</b>
4.1. Mente activa . . . . .	27
4.2. Modelado de emociones . . . . .	29
4.3. Propuesta del sistema . . . . .	36
4.3.1. Diseño . . . . .	36
4.3.2. Desarrollo de la propuesta . . . . .	39
<b>5. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>45</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	45
5.2. Trabajo a futuro . . . . .	46

# Índice de figuras

2.1. Esquema general del control difuso (Pawar, P. M., & Ganguli, R., 2007) . . . . .	6
2.2. Base de reglas difusas, elaboración propia . . . . .	9
2.3. Representación de conjuntos clásicos, elaboración propia . . . . .	10
2.4. Representación de conjuntos difusos, elaboración propia . . . . .	10
2.5. Representación de una función triangular . . . . .	11
2.6. Representación de una función trapezoidal . . . . .	11
2.7. Representación de una función gaussiana . . . . .	12
2.8. Representación de una función gaussiana . . . . .	12
2.9. Representación para el sistema difuso jerárquico . . . . .	13
4.1. Representación de los elementos del sistema difuso jerárquico . . . . .	26
4.2. Áreas del sistema Mente Activa, obtenido de Navarro, F. J., et. al, 2013 . . . . .	28
4.3. Diagrama de intección del usuario y los servicios Watson IBM . . . . .	30
4.4. Usuario en interacción con TJbot . . . . .	31
4.5. Resultados de la evaluación de emociones . . . . .	33
4.6. Representación del Modelo de RULER . . . . .	33
4.7. Sistema de inferencia difusa de energía y agrado . . . . .	34

4.8. Sistema propuesto . . . . .	36
4.9. Representación de la interacción con el sistema, (Morales, R., 2019) . . . .	37
4.10. Relación del Sistema Mente Activa, (Morales, R., 2019) . . . . .	38
4.11. Resultados de la evaluación de emociones . . . . .	40
4.12. Sistema Difuso Jerárquico propuesto . . . . .	41
4.13. Reglas difusas del sistema . . . . .	41
4.14. Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 1 . . . . .	42
4.15. Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 2 . . . . .	42
4.16. Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 3 . . . . .	43

# Índice de tablas

4.1. Frases usadas por los usuarios para la detección de emoción . . . . .	32
4.2. Resultados obtenidos de la Frase 1 . . . . .	42
4.3. Resultados obtenidos de la Frase 2 . . . . .	43
4.4. Resultados obtenidos de la Frase 3 . . . . .	44



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Problemática

La influencia de las emociones en los tratamientos en pacientes con DT pueden tener un impacto importante debido a que llegan a asistir la terapia recomendada por un profesional obteniendo así mejores avances en el paciente.

Los tratamientos para pacientes que presentan algún tipo de DT en la actualidad no toman en cuenta el estado emocional que presenta el paciente al momento de realizar alguna actividad señalada por un experto para ayudar a mejorar el estado de salud mental del paciente.

El estudio de las emociones ha tenido una mayor importancia en los últimos años en el envejecimiento, por este motivo se considera que es notable realizar una propuesta de un sistema que ayude al profesional a tomar en cuenta la emoción del paciente para generar la propuesta de tratamiento, ayudando de esta forma a generar un tratamiento integral, más preciso, ya que considera un aspecto importante del paciente, como lo es la emoción.

## **1.2. Justificación**

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) la población de adultos mayores es equivalente al 10.8 % del total de la población en México, siendo además uno de los países latinoamericanos con mayor prevalencia en enfermedades relacionadas al DT, con un 7.3 %, afectando la calidad de vida del adulto mayor. (Secretaría de Salud., 2018)

El deterioro cognitivo es una enfermedad que no se puede curar, sin embargo, existen tratamientos que ayudan a retrasar el deterioro con asistencia de terapias y ejercicios recomendados por expertos.

Para el año 2030 se espera que el número de personas con demencia aumente un poco más de 1.5 millones. Basado en dicha información es relevante la generación de sistemas que con ayuda de las nuevas tecnologías como lo es la inteligencia artificial creen impacto social en el ámbito de la salud del adulto mayor.

En el Instituto Tecnológico de México campus León a lo largo de los últimos años se han llevado a cabo proyectos de impacto social enfocados en los adultos mayores que presentan algún tipo de DT de la mano de la División de Estudios de Posgrados e Investigación, los cuales colaboran con el Instituto de la Memoria, la cual es una institución que atiende adultos mayores que presentan deterioro cognitivo para retrasar su proceso degenerativo.

## **1.3. Hipótesis**

Es posible generar un sistema difuso jerárquico que relacione el factor emocional de una persona con deterioro cognitivo y el resultado de un plan de estimulación para generar

un resultado integral que ayude a la toma de decisiones de profesionales encargados de brindar una recomendación para los adultos mayores que presentan DT.

## **1.4. Objetivo General**

Desarrollar un sistema difuso jerárquico que use reglas que logren integrar un plan de estimulación con el estado emocional de personas con deterioro cognitivo para contribuir en la recomendación de expertos con la recomendación de un nivel apropiado en el plan de estimulación tomando en cuenta la emoción que presenta el paciente con DT.

### **1.4.1. Objetivos Específicos**

- Analizar el funcionamiento del sistema que integra un plan de estimulación para personas con deterioro cognitivo.
- Examinar el modelo difuso que mida el factor emocional de un usuario a partir de la interacción con un agente inteligente.
- Realizar un estudio de las reglas difusas que se integran en la implementación del sistema difuso jerárquico.
- Implementar el sistema jerárquico difuso que hace uso de reglas para integrar el estado emocional con el resultado de un plan de estimulación en pacientes con DT.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

El establecimiento y desarrollo de un sistema difuso jerárquico que se encuentra constituido por dos entradas principales: (1) la emoción que presenta el paciente y (2) el nivel actual en el que se encuentra dentro del plan de estimulación que usa para aplazar su situación degenerativa, teniendo como salida una recomendación de nivel adecuado basado en las entradas del sistema propuesto. El sistema que se propone, se crea y desarrolla haciendo uso del Toolbox de matlab, así como los servicios de IBM Watson donde se involucra el paciente y un agente inteligente, llamado TJBot, para lograr crear la interacción entre el paciente y el sistema que se encarga de detectar la emoción presente.

### **1.5.2. Limitaciones**

El sistema actualmente carece de un público objetivo, debido a que se encuentra pensado de manera general para un público que presente cualquier tipo de DT, pudiendo así mismo enfocarse en un nivel exacto de DT para lograr mejorar las pruebas que se realicen y de esta manera lograr aumentar la efectividad del sistema.

Otra limitación importante es la falta de medición de veracidad al momento de solicitar al paciente la frase con la que se evalúa la emoción presente.

# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. Lógica difusa

La lógica difusa se ha vuelto popular debido a la gran variedad de aplicaciones, pueden ir desde el control de procesos en industrias hasta la creación de sistemas de recomendación automática.

El concepto apareció en 1965, en la universidad de California en Berkeley, introducido por el matemático, científico, informático, ingeniero eléctrico y profesor emérito de inteligencia artificial, Lofti A. Zadeh. La Lógica difusa son esencialmente lógicas multivaluadas que se extienden de la lógica clásica, esta última impone a sus enunciados exclusivamente el valor de verdadero o falso. Si bien el modelo de la lógica clásica es gran parte del razonamiento "natural", es verídico que el razonamiento humano hace uso de valores de verdad que no suelen ser tan deterministas, por ejemplo, al evaluar la altura de una persona, uno está tentado a graduar que tan alto es, en efecto, cuenta con una altura pero depende de la perspectiva el valor adecuado para determinar si la persona es alta o no.

Los valores en la lógica difusa crean aproximaciones matemáticas en la resolución de diferentes tipos de problemas. Pretende crear resultados exactos a partir de de datos que no imprecisos. (Morales-Luna,2002, Alavala, 2008)

## 2.2. Sistema de lógica difusa

Un sistema de lógica difusa (FLS) proporcionan un conjunto de herramientas comprobado para imitar el razonamiento humano, que permiten tener una imitación más cercana del razonamiento humano en términos de integrar una gran cantidad de parámetros en un solo concepto adecuado para un razonamiento de nivel superior.(Wagner, C., & Hagra, H., 2010)

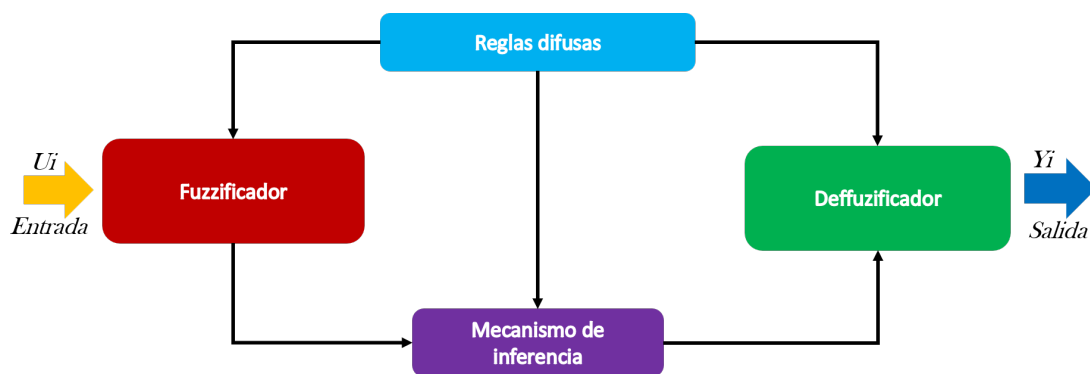


Figura 2.1: Esquema general del control difuso (Pawar, P. M., & Ganguli, R., 2007)

En la Figura 2.1 se puede observar un diagrama de bloques que contiene los componentes de un FLS en donde los conjuntos clásicos  $U_i$  y  $Y_i$  , son llamados el universo del discurso para  $u_i$  y  $y_i$  respectivamente. En particular,  $u_i \in U_i$  con  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  y  $y_i \in Y_i$  con  $i = 1, 2, \dots, m$  definen las entradas y salidas correspondientes del sistema difuso; en este punto es importante mencionar que el sistema utiliza conjuntos difusos, definidos

por reglas difusa, para cuantificar información en la base de reglas y que el mecanismo de inferencia opere sobre estos conjuntos difusos para producir nuevos conjuntos difusos, por tanto, es necesario especificar como el sistema convertirá las entradas numéricas  $u_i \in U_i$  en conjuntos difusos, con ayuda de un proceso llamado *fuzzificación*, de tal forma que los conjuntos puedan ser utilizados por el sistema difuso. De igual manera, el proceso llamado *defuzzificador* describe el mapeo de un espacio de acciones de control difuso en acciones de control no difuso. El *defuzzificador* por tanto, genera una acción de control no difusa la cual es denotada generalmente por  $y_q$  crisp y es la mejor representación de una salida difusa inferida.

### 2.2.1. Fuzzificador

Consiste en una transformación de un dato o de un conjunto clásico a su correspondiente conjunto difuso, o se produce mediante el uso del operador de fuzzificación  $F$ , Passino, definido por  $F:U_i \rightarrow U_i^*$  en donde  $F(u_i) = A_{fuz}$

Usualmente se encuentra dado por un valor numérico y para que este pueda ser procesado por el sistema es necesario convertirlo a un *lenguaje* que pueda ser interpretado por el mismo, esta es la función del *fuzzificador*, toma los valores numéricos de entrada y los convierte en valores *difusos*. (Zimmermann, H. J., 2011)

### 2.2.2. Mecanismo de inferencia difusa

Es el núcleo de cualquier controlador difuso. Su comportamiento dinámico es en general caracterizado por un conjunto de reglas difusas de la forma: *Si  $x$  es  $A$  entonces  $y$  es  $B$*  en donde  $A$  y  $B$  son valores lingüísticos definidos por un conjunto difuso en un universo

X y Y respectivamente. La cláusula Si, un antecedente, es una condición en el dominio de aplicación; la cláusula entonces, una consecuencia, es una acción de control dado al proceso bajo control.

Teniendo los niveles de pertenencia obtenidos por el *fuzzificador*, estos mismos son procesados para generar una salida difusa. El mecanismo de inferencia toma los niveles de pertenencia y genera la salida del sistema difuso basado en las reglas difusas. (Zadeh, L. A., 1996)

### 2.2.3. Defuzzificador

Presentado como un mapeo de un conjunto difuso  $B'$  en  $V \subset R$ , que es la salida del mecanismo de inferencia, a un elemento de un conjunto clásico  $Y^{crisp} = y^* \in V$ . Podría decirse que la tarea del *defuzzificador* es especificar un punto, elemento de V, que refleje la mejor representación del conjunto difuso  $B'$ .

La salida que genera el mecanismo de inferencia es una salida difusa puede ser interpretada por un elemento externo que solo manipule información numérica. Para interpretar la salida del sistema difuso, es necesario convertir la salida difusa de mecanismo de inferencia; este proceso lo realiza el *defuzzificador*. (Zimmermann, H. J., 2011)

### 2.2.4. Reglas difusas

Permiten crear relación entre las variables, regularmente creadas por expertos; es un conjunto de reglas *SI-ENTONCES* que pueden ser expresadas de la siguiente manera:  $R_m : SI\ u_1\ es\ A_{1m}\ y\ u_2\ es\ A_{2m}\ y... \ u_p\ es\ A_{pm},\ ENTONCES\ v\ es\ B_m$  con  $m = 1, 2, 3, \dots, M$  y donde  $A_{im}$  y  $B_m$  son conjuntos difusos en  $U_i \subset R$  y  $V \subset R$ .



Las reglas difusas son la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico permitiendo resolver el problema para el cual fue diseñado. Una regla de la base de reglas o base de conocimiento esta formada por dos partes, el antecedente y la conclusión, como se observa en la Figura 4.13

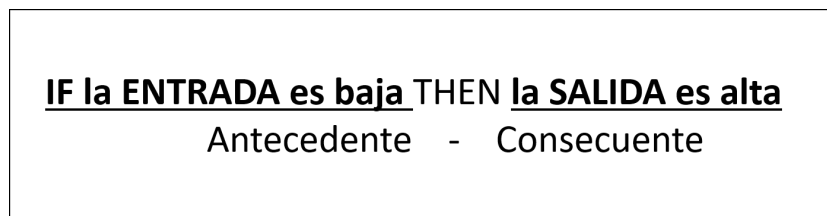


Figura 2.2: Base de reglas difusas, elaboración propia

## 2.3. Conjuntos difusos

En nuestra vida diaria encontramos fenómenos que tienen algún grado de difusidad, ya sea por su forma, color o tamaño. Zadeh propuso extender la noción de membresía binaria a membresía difusa en donde se pueden tener varios grados de membresía en el intervalo continuo real  $[0, 1]$ , a diferencia de los conjuntos clásicos, en donde cada valor es representado en un conjunto como verdadero o falso, 0, 1, pertenece o no pertenece, como se representa en la Figura 2.3. (Raju, G. V. S., et.al., 1991)

Los conjuntos difusos, como se observa en la Figura 2.4 se integran por tres propiedades importantes: (1) El rango de valores que se van a mapear en el conjunto, el eje de membresía, el cual asigna un grado que mide el dominio del valor de membresía en un conjunto y (3) la superficie del conjunto difuso.

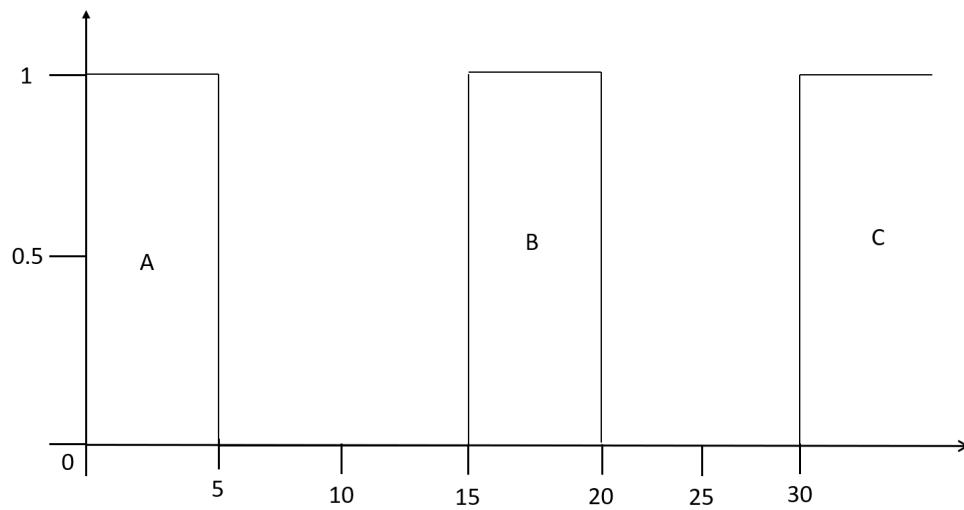


Figura 2.3: Representación de conjuntos clásicos, elaboración propia

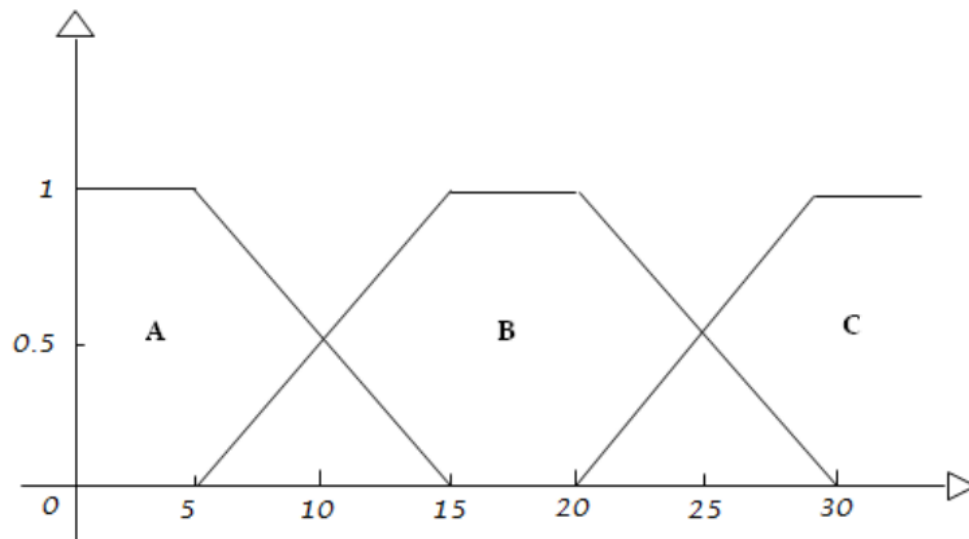


Figura 2.4: Representación de conjuntos difusos, elaboración propia

## 2.4. Funciones de membresía

Todos los conjuntos difusos que nos permiten medir el grado de pertenencia de los valores son llamados funciones de membresía, estas pueden ser representadas de distintas maneras: triangulares, trapezoidales y gaussianas, ver Figuras 2.5, 2.6 y 2.7. (Klir, G. J., et.al., 1996)

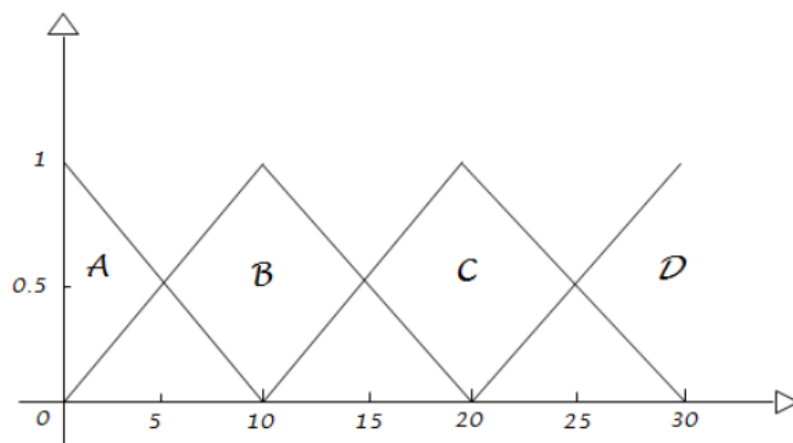


Figura 2.5: Representación de una función triangular

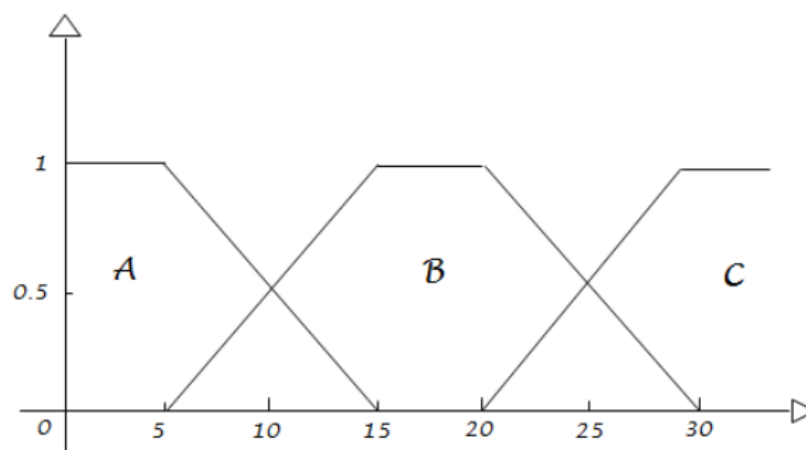


Figura 2.6: Representación de una función trapezoidal

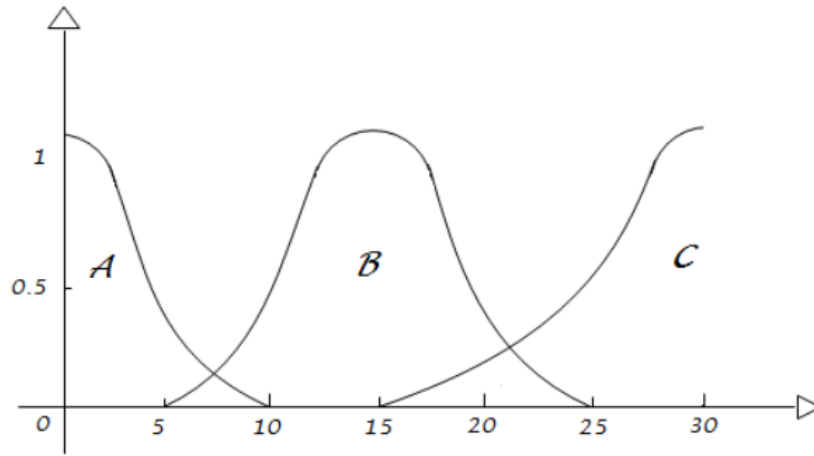


Figura 2.7: Representación de una función gaussiana

## 2.5. Variables lingüísticas

Una variable lingüística es aquella variable que tiene valores que son expresados en un lenguaje natural. Por ejemplo, “Temperatura” es una variable lingüística, si sus valores son “Muy alta”, “Alta”, “Baja” y “Muy baja”, ver la Figura 2.8, siendo éstos valores denominados como etiquetas lingüísticas.

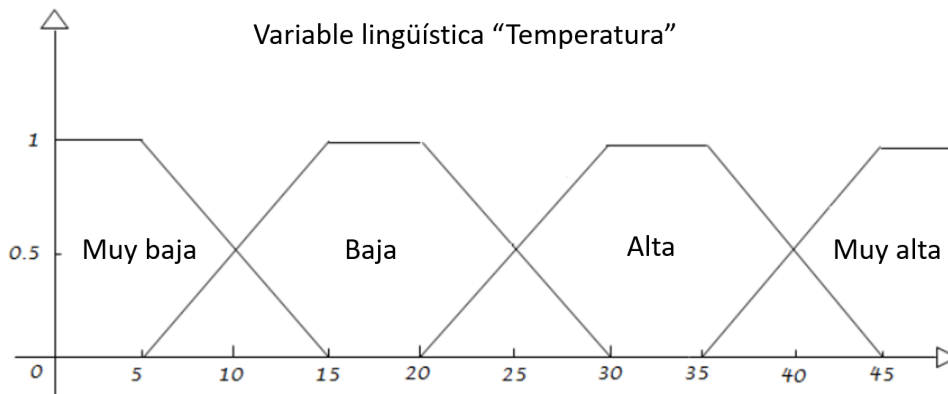


Figura 2.8: Representación de una función gaussiana

## 2.6. Sistema difuso jerárquico

Consisten de un número de sistemas difusos de baja dimensión distribuidos de forma jerárquica, los cuales, poseen la ventaja de que el número total de reglas de su mecanismo de conocimiento aumentan de forma lineal con el número de las variables de entradas implicadas (Pawar, P. M. et al, 2007).

Esto se representa en la Figura 2.9 donde 4 ( $n = 4$ ) son variables de entradas y 5 ( $m = 5$ ) son funciones de membresía, se obtiene que cada sistema difuso de baja dimensión consiste de  $5^2$  ( $m^2$ ) reglas y por tanto el número total de reglas es  $3 \times 5^2 = 75$  [ $(n-1) m^2$ ], la cual representa una función lineal de las  $n$  variables de entrada.

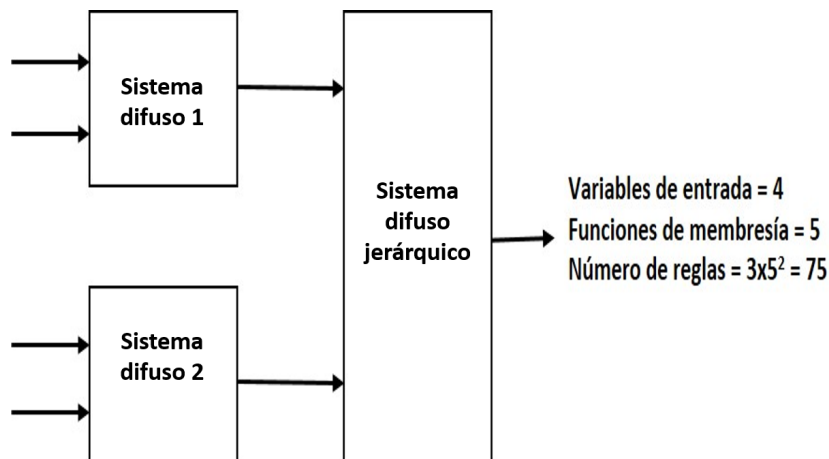


Figura 2.9: Representación para el sistema difuso jerárquico

## 2.7. Emoción

La emoción es definida como una “conmoción de corto periodo que activan y dirigen nuestra conducta” Esto se relaciona con la comprensión de una situación o al acontecimiento que se vive de diferentes sentimientos, por ejemplo, el enojo, el temor, la alegría

o la sorpresa. Estas emociones estimulan e intervienen en la conducta, que provoca alteraciones de comportamiento y fisiológicos; además, tiene su complejidad al predecir la conducta que es estimulada por una emoción particular (Morris y Maisto, 2005)

## **2.8. Clasificación de las emociones**

En el enfoque categórico de diferentes trabajos de investigación se ha propuesto un grupo reducido de emociones básicas y su combinación con otras emociones. (Meftah, Le Thanh y Ben Amar, 2012)

Paul Ekman, un psicólogo que ha sido pionero dentro del estudio de las emociones y la relación que el da con las expresiones faciales habla sobre el reconocimiento multicultural que representan las expresiones emocionales, maneja seis emociones principales: felicidad, tristeza, miedo, sorpresa, ira y disgusto, con las cuales se trabaja en el presente trabajo. (Mallitasig Arellano, H. W., 2018)

## **2.9. Estado emocional en adultos mayores**

Cartense en 1995, explica que las personas mayores utilizan un proceso selectivo que lleva a mantener las relaciones que para ellos tienen relevancia, y a dejar de lado las relaciones que no perciben como trascendentes, dicho esto se puede concluir que conforme va avanzando la edad se llegan a comprender mejor las relaciones sociales y la importancia que tienen en la vida afectiva. Por otro lado, existe otra teoría que habla de un enfoque de tipo neuropsicológico, donde el procesamiento de información con contenido emocional se relaciona con áreas cerebrales concretas, el procesamiento de esa información se consigue

partiendo de la identificación del contenido emocional que provocaría un estímulo, y éste en consecuencia producirá una respuesta de tipo adaptativo ante ese estímulo. Las emociones positivas tienen efectos saludables sobre el sistema cardiovascular e inmunológico, relacionados con una mayor longevidad. Con la aparición de las emociones positivas se ha demostrado entre otros efectos positivos, que una mayor frecuencia al experimentarlas se relaciona con un menor riesgo a padecer accidentes cerebrovasculares. Las emociones negativas en las personas mayores y siguiendo la línea de las consecuencias que éstas tienen para la salud, se ha demostrado que el aumento de activación emocional negativa favorece la aparición de efectos dañinos en personas mayores, en el sistema inmunológico y cardiovascular, en comparación a personas jóvenes. (García Martínez, M., 2017)

## **2.10. Deterioro cognitivo**

El deterioro cognitivo refleja una disminución del rendimiento de, al menos una de las capacidades mentales tales como memoria, orientación, pensamiento abstracto, lenguaje, capacidad de juicio y razonamiento. El declive intelectual asociado a la edad se suele presentar como un trastorno aparentemente leve de la memoria para hechos recientes, cuyas manifestaciones clínicas varían en un amplio rango, desde los olvidos cotidianos y transitorios meramente subjetivos, hasta un serio trastorno de la capacidad de recordar en la zona fronteriza de la demencia. (Pérez Martínez, V. T., 2005)

## **2.11. Servicios IBM Watson**

IBM es una empresa internacional que provee soluciones de hardware, entre los que se incluyen computadoras portátiles y de escritorio, y sistemas de mainframes, servidores y almacenamiento, así como software, servicios financieros y una gama de servicios de tecnología de información.

Watson es un sistema creado por IBM que usa inteligencia artificial para proporcionar diferentes tipos de servicios, entre los cuales están: text to speech, language translator, tone analyzer, personality insights, natural language classifier.

### **2.11.1. Watson Language Translator**

El servicio Language Translator permite traducir un texto plano de un idioma a otro, esto para lograr que el idioma de origen del usuario no afecte al sistema al momento de procesarlo con los servicios de IBM Watson. Crea una traducción que toma en cuenta los términos usados en la frase a traducir del idioma de origen para que no pierda el contexto al ser traducidos. (Mostafa, Mohamed y col., 2016)

### **2.11.2. Watson Tone Analyzer**

Tone Analyzer, de IBM Watson, ayuda a identificar las emociones del usuario. Realiza inferencias de las emociones presentes en un texto introducido y usa el análisis lingüístico cuyo principal objetivo es asimilar la manera en que las palabras del texto reflejan emociones. Este servicio contiene tres tipos de tonos los cuales puede analizar: 1) Las emociones, 2) Tendencias sociales y 3) El estilo de redacción. (Mostafa, Mohamed y col., 2016)



## 2.12. Modelo de RULER

Es un modelo de inteligencia emocional por medio de habilidades emocionales obtenidas para incorporar el conocimiento social y emocional de una persona. Su objetivo es que se use este modelo y se practique de tal manera que se logre mejorar el ambiente basado en las emociones. Fue creado en el Yale Center for Emotional Intelligence, de la Universidad de Yale. (Denzin, N. K., Lincoln, Y. S. (Eds.), 2011)

## 2.13. Agente inteligente

Un agente inteligente es una entidad capaz de percibir su entorno, procesar tales percepciones, y actuar en consecuencia de manera racional sobre el mismo. (Demazeau, Y., et. al., 2019)

El agente se basa en su propio conocimiento realizando una serie de operaciones destinadas a satisfacer las necesidades específicas de un usuario u otro programa.

Cuenta con algunas propiedades importante:

- *Autonomía*: Actuar sin intervención humana de manera directa y controlar sus actos.
- *Sociabilidad*: Tener comunicación por medio de un lenguaje común con otros agentes, incluso humanos.
- *Capacidad de reacción*: Percibir su entorno y reaccionar para adaptarse a él.
- *Iniciativa*: Emprender acciones para resolución de problemas.

(Hípola, P., & Vargas-Quesada, B., 1999)

## **2.14. Computo afectivo**

El computo afectivo es un término empleado por primera vez por Rosalinda Picard, para describir al cómputo que se relaciona con la influencia de las emociones. Su estudio se ha relacionado en el reconocimiento, procesamiento e interpretación y simulación de emociones, con la intención de dotar a una máquina con capacidades de comunicación e interpretación afectiva para el usuario. (Picard, R. W., 2003)

# Capítulo 3

## Estado del arte

En esta sección se lleva a cabo un análisis de algunos trabajos que se encuentran relacionados, en diferentes áreas con el presente trabajo, con la finalidad de conocer los avances que han acontecido en reconocimiento de emociones, terapias en adultos mayores con deterioro cognitivo y computo afectivo.

### **3.1. Reconocimiento de las expresiones faciales emocionales en pacientes con demencia tipo Alzheimer de leve a moderada**

En la actualidad se han llevado a cabo investigaciones acerca del deterioro cognitivo y las emociones, una de ellas es el trabajo de Luis Felipe Zapata Yance, donde presenta un análisis de la expresión facial con Demencia Tipo Alzheimer (DTA) frente a personas sanas y determina si se presentan alteraciones en este tipo de reconocimiento en los pacientes

con dicha demencia.

Para realizar su investigación se crearon dos grupos de personas, 22 de ellas pacientes de DTA moderado o leve y las 22 personas que no presentan algún tipo de demencia. En el primer grupo se usó el Minimal State Examination , prueba que consta de varios ítem distribuidos en diferentes áreas con el fin de diagnosticar el grado de severidad de la demencia, leve o moderada; para el reconocimiento de la expresión emocional facial, se utiliza como instrumento el Test Pictures of Facial Affect (POFA) de Paul Ekman, el cual consta de 105 fotografías en blanco y negro de 7 emociones como alegría, miedo, rabia, tristeza, sorpresa, asco y expresiones neutras. Escogiendo 25 fotografías que según la prueba eran las que mejor expresaban las emociones a estudiar: 5 fotos de alegría, 5 de miedo, 5 fotos de rabia, 5 fotos de tristeza y 5 de expresiones neutras. Dentro de los resultados que se obtuvieron al realizar esta investigación se encuentra que no existieron diferencias estadísticamente significativas en la edad ni en la escolaridad (p: 0.480 y 0.469, respectivamente); los pacientes con DTA presentan limitaciones para el reconocimiento de las emociones (p: 0.000) con respecto a los controles en el Test Pictures of Facial Affect (POFA) de Paul Ekman, también se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en el reconocimiento de la emoción de tristeza, rabia y neutras (p0.05), por otro lado no se presentan diferencias significativas en el reconocimiento de la emoción de felicidad y miedo (p 0,05).(*Zapata, L.F.*, 2008)

## **3.2. Asistente robótico y aplicación móvil personal para pacientes con Alzheimer**

El trabajo de Antonio Álvarez, et. al., se propone un sistema que utiliza un robot móvil que sigue a corta distancia al paciente con Alzheimer, un equipo de cómputo que recibe información sobre la localización de un robot y de sensores en puntos de interés de la vivienda, la información obtenida es procesada para buscar anomalías en las tareas antes designadas, si el sistema encuentra anomalías se envía un mensaje mediante notificaciones a sus familiares o a médicos encargados del paciente.

Para realizar el desarrollo del sistema se diseña un mapa de sensores en electrodomésticos y mobiliario, claves de las actividades diarias en la casa del paciente, además se diseña un robot de baja velocidad para el acompañamiento a una distancia establecida, el robot cuenta con navegación GPS para conocer la ubicación de los sensores de proximidad y así registrar la actividad que realizan los pacientes en casa.

Los datos obtenidos mediante el robot y los sensores que lo integran se envían mediante geolocalización establecida entre el robot y un servicio de tipo REST donde se guardan para su consulta futura con ayuda de una aplicación móvil.

Dentro de las conclusiones que se obtuvieron en el trabajo, se obtienen los registros de las visitas, así como su ubicación y el tiempo que dedica a realizar actividades mediante sensores ubicados estratégicamente en aparatos electrodomésticos y así determinar si se trata de alguna anomalía. (Álvarez, A., et. al.)

### **3.3. Modelo basado en lógica difusa para el diagnóstico cognitivo del estudiante**

Constanza R. Huapaya hace un desarrollo de sistema asistente que colabora para realizar una estimación del estado cognitivo en la que se encuentra el estudiante. Creado con una integración de las Nuevas Tecnologías de la Información y la lógica difusa cuya finalidad es cooperar con docentes para la toma de decisiones sobre la aprobación de materias en nivel universitario.

Para el modelo de diagnóstico se toma en cuenta la nota de 0 a 10 donde los estudiantes con una nota mayor o igual a 5 se consideran aprobados, de lo contrario reprueba. Se realiza una estimación acerca del nivel del conocimiento que alcanzo el estudiante, posteriormente se analiza la información por medio del sistema tomando en cuenta la calificación de exámenes parciales, finales, y pruebas específicas.

El sistema tiene como entrada tres variables lingüísticas 1) progresión de notas, 2) nivel de aprobación de las pruebas y 3) nota final respecto a la media del curso. Donde:

- La progresión de las notas se refiere a la evolución obtenida por el estudiante, un aumento en las notas indica un mejoramiento del aprendizaje mientras que una disminución representa lo contrario. Se calcula basado en las calificaciones de todas las pruebas y sus términos son: creciente, estable y decreciente.
- Nivel de aprobación de las pruebas es la información relevante para decidir el nivel de conocimiento de cada estudiante, donde entran también los resultados de las pruebas almacenadas en el sistema. Usa los términos: no satisfactorio, satisfactorio y muy satisfactorio.

- En la nota final se compara el rendimiento individual de cada alumno a través de su nota con respecto al desempeño promedio de todos los estudiantes del curso. Tomando los términos: debajo de la media, alrededor de la media y arriba de la media.

Teniendo como variable de salida "Nivel de aprobación" que toma los términos bajo, medio y alto, la cual indica la categoría en la que se encuentra el estudiante dependiendo la información que se analiza. La salida auxilia al evaluador en la toma de decisión respecto al estudiante. (Huapaya, C. R., et. al., 2012)

### **3.4. Sistema experto para el diagnóstico de la depresión de un geronte basado en lógica difusa**

La creación de sistemas expertos que ayude a la evaluación de algún tipo de depresión que presenta un geronte es lo que se realiza en el trabajo de David Fernando Nogales, el sistema se encuentra enfocado en el área de psicología. Se solicitó la ayuda de un experto y fuentes de información confiables para la adquisición de conocimiento.

El sistema cuenta de 85 síntomas generales que se presenta mediante encuesta donde el paciente responde SI/NO a cada una de ellas.

La función de pertenencia que se usa es:

- Depresión distimia: Determina la gravedad del tipo de depresión que presenta el paciente, con los términos: leve, moderado y grave. Se considera leve cuando el geronte presenta cinco síntomas de los evaluados, moderado si además el paciente presenta 10 síntomas evaluados y grave si presenta 11 o más de los síntomas evaluados.

La base de hechos cuenta con 85 reglas para el diagnóstico de la depresión del geronte.

Se realizan 180 experimentos con pacientes del Asilo de ancianos "San Ramón", evaluando su depresión con ayuda del sistema creado y evaluado de la manera tradicional por el experto en psicología. Se encuentra que el sistema creado es funcional, cuenta con una interfaz de fácil entendimiento para el usuario final, el paciente.

El sistema analiza y estructura los síntomas y determina el diagnóstico de la depresión que presenta el geronte. Se demuestra que la lógica difusa permite al sistema experto dar un diagnóstico sobre la depresión con un nivel de confianza del 95 % . (Nogales Castedo, D. F., 2015)

### **3.5. Modelo de evaluación del aprendizaje basado en un sistema multi-agente inteligente**

La propuesta de Jesús Miguel García nos muestra una clasificación del alumno usando un modelo difuso que se adapta a las diferentes asignaturas con ayuda de un sistema multi-agente que permite la integración con la herramienta MOODLE, que es una plataforma para la gestión de cursos, para lograr una mejoría en la evaluación del alumno haciéndola más eficaz.

Cada alumno se clasifica mediante la etiqueta bajo, medio o excelente dependiendo los criterios de evaluación de cada asignatura, cabe mencionar que la clasificación en este punto se realiza mediante el profesor. Una vez que se realiza la clasificación se introduce la información en el sistema para las 3 variables de entrada: Calificación del examen, duración del examen y repaso de material. Una vez procesadas las entradas, el agente genera 10 reglas para indicar la clasificación del alumno, a continuación se presenta un



ejemplo de las reglas: 1) Si la calificación del examen es insuficiente y la duración del examen es larga y los repastos al material son bajos, entonces el desempeño es bajo.

Al realizar la experimentación se obtuvo que los alumnos que usaron el sistema obtuvieron una clasificación de desempeño mayor, obteniendo un promedio de 95.7 con desviación estándar de 10.4. Los resultados obtenidos al realizar una encuesta de satisfacción muestran que el 80% del grupo indica que utilizar los exámenes electrónicos de MOODLE y el modelado del estudiante son una mejor forma de evaluar en comparación a la tradicional. (Gorrostieta, J. M. G., et al.)

# Capítulo 4

## Propuesta del sistema

El desarrollo de la propuesta de sistema difuso jerárquico consta de tres bloques principales para lograr su funcionamiento los cuales se pueden observar en la Figura 4.1

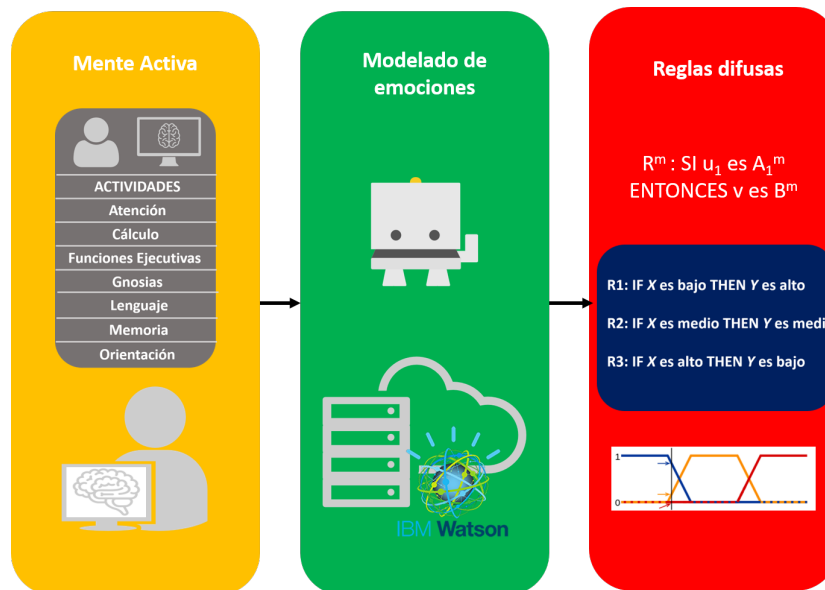


Figura 4.1: Representación de los elementos del sistema difuso jerárquico

## 4.1. **Mente activa**

Mente activa es un programa desarrollado por la División de Estudios de Posgrados e Investigación del Tecnológico Nacional de México campus León en colaboración con el Instituto de la memoria.

El sistema usa terapias basadas en juegos para adultos mayores para la prevención, detección, evaluación y monitoreo de adultos mayores con deterioro cognitivo y demencia, permite la estimulación cognitiva a través del uso de juegos interactivos que tienen diferentes niveles de dificultad.

El diseño, planeación y desarrollo del sistema requirió de un equipo multidisciplinario formado por 5 psicólogos, un neuropsicólogo, un neurólogo, un diseñador gráfico y dos expertos en educación.

Las áreas que incluyen el sistema se describen a continuación:

- **Atención:** Un objeto se sitúa en el foco de la conciencia, distinguiéndose del resto, por desplazamiento, por atenuación o por inhibición de estímulos irrelevantes.
- **Memoria:** Facultad del cerebro que permiten registrar experiencias nuevas y recordar otras pasadas.
- **Lenguaje:** Código de sonidos o gráficos que se usan para la comunicación social entre seres humanos.
- **Gnosis:** Conocimientos que se obtienen mediante la elaboración de experiencias sensoriales.
- **Funciones ejecutivas:** Procesos que asocian ideas, movimientos y acciones simples y ayuda a orientar la solución de conductas complejas.

- Cálculo: Aspectos de conceptos básicos matemáticos, desarrollo cognitivo, desempeño operacional, razonamiento, deducción y habilidades de percepción.
- Orientación: Habilidad para crear relaciones entre eventos y objetos en el espacio.

En la Figura 4.2 se muestra un ejemplo de cada una de las áreas que componen el sistema.

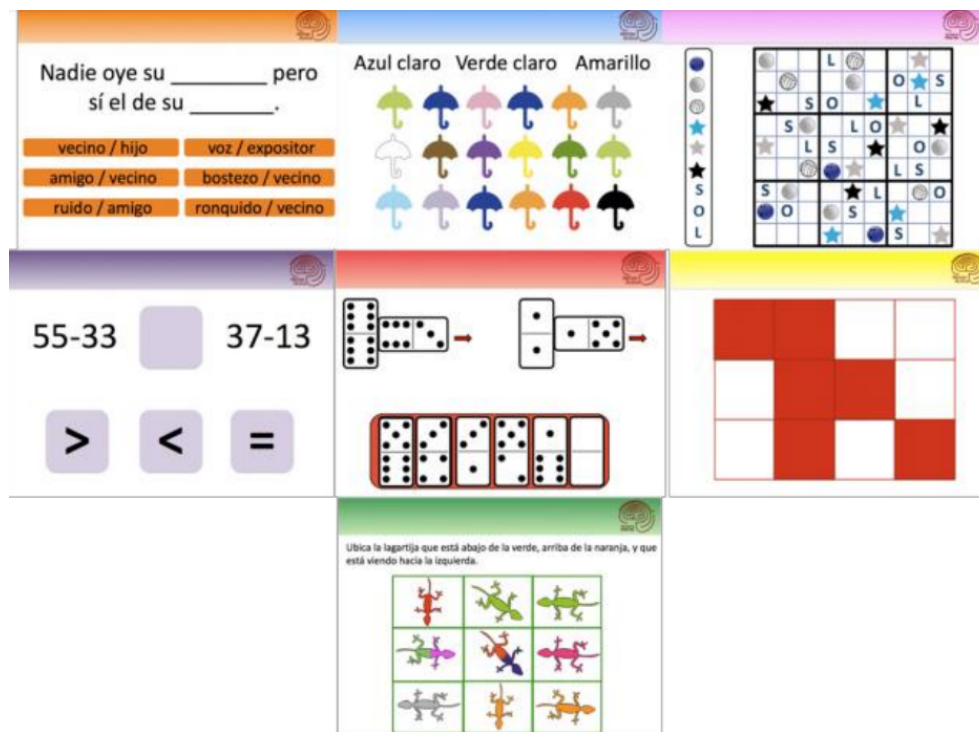


Figura 4.2: Áreas del sistema Mente Activa, obtenido de Navarro, F. J., et. al, 2013

El sistema se emplea para para detectar cambios en el rendimiento del usuario lo cual ayuda con la detección precoz de la demencia y el Alzheimer. La evaluación de desempeño del usuario implica el análisis y evaluación de diferentes algoritmos de Inteligencia Artificial que permiten monitorear las características del usuario y su desempeño en los

ejercicios. Se reúnen dos características principales durante las interacciones del usuario:  
1) el número de errores por actividad y 2) el tiempo necesario para completar cada juego.

Los módulos integrados dentro del sistema se describen a continuación:

- Módulo del usuario: Administra la información relacionada a cada usuario/paciente como lo son sus datos personales, información adicional, medicación, historial clínico y diagnóstico.
- Módulo de grupos: Administra grupos que se crean por parte del administrador del sistema.
- Módulo de previsualización: Muestra los diferentes ejercicios basados en cierto criterios como su función cognitiva, tipo de actividad y el nivel de dificultad.
- Módulo de plantillas: Se crean planes de ejercicios que se pueden usar en diferentes planes de estimulación.
- Módulo juegos: Se ejecutan los ejercicios definidos en el plan de estimulación por parte del experto.

(Navarro, F. J., et. al, 2013)

## **4.2. Modelado de emociones**

En el modelado de emociones se crea mediante una interacción entre el paciente, el adulto mayor con deterioro cognitivo, y sus resultados en el plan de estimulación basado en juegos, como se puede observar en la Figura 4.3

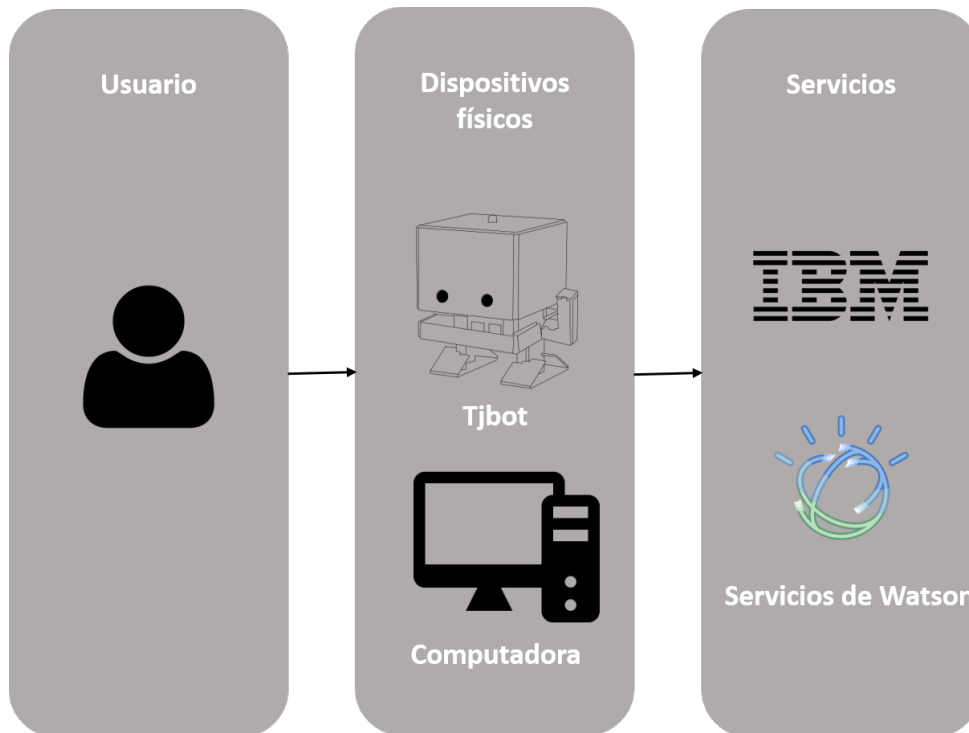


Figura 4.3: Diagrama de interacción del usuario y los servicios Watson IBM

El usuario interactúa con Tjbot por medio del teclado, donde introduce una oración representativa de su día o de algún acontecimiento importante que le haya sucedido; el agente inteligente, Tjbot, con ayuda de una placa raspberry pi 3, se comunica con los servidores de IBM para trabajar con la plataforma IBM Watson. Se utilizan dos servicios: 1)Language translator 2)Tone analyzer.

El servicio language translator se usa para traducir la oración ingresada por el usuario a un lenguaje que los servicios de Watson IBM puedan interpretar, en este caso la traducción se hace al idioma inglés. Una vez que se tiene la oración en inglés, se usa Tone analyzer que realiza un análisis lingüístico para detectar emociones predominantes en el texto evaluado y de esta manera se realiza una interacción humano-computadora para la detección de las

emociones.

Los experimentos de este modelo se realizaron a un grupo de 10 personas entre hombres y mujeres de entre 27 y 68 años. Se realiza la interacción con TJbot cuando el usuario teclea una oración representativa de su día, ver Figura 4.4, una vez obtenida esa información TJbot usa los servicios de Watson para devolver valores de pertenencia respecto a las emociones presentes, entre las cuales se puede destacar la predominante, que es la que tiene el puntaje más alto.

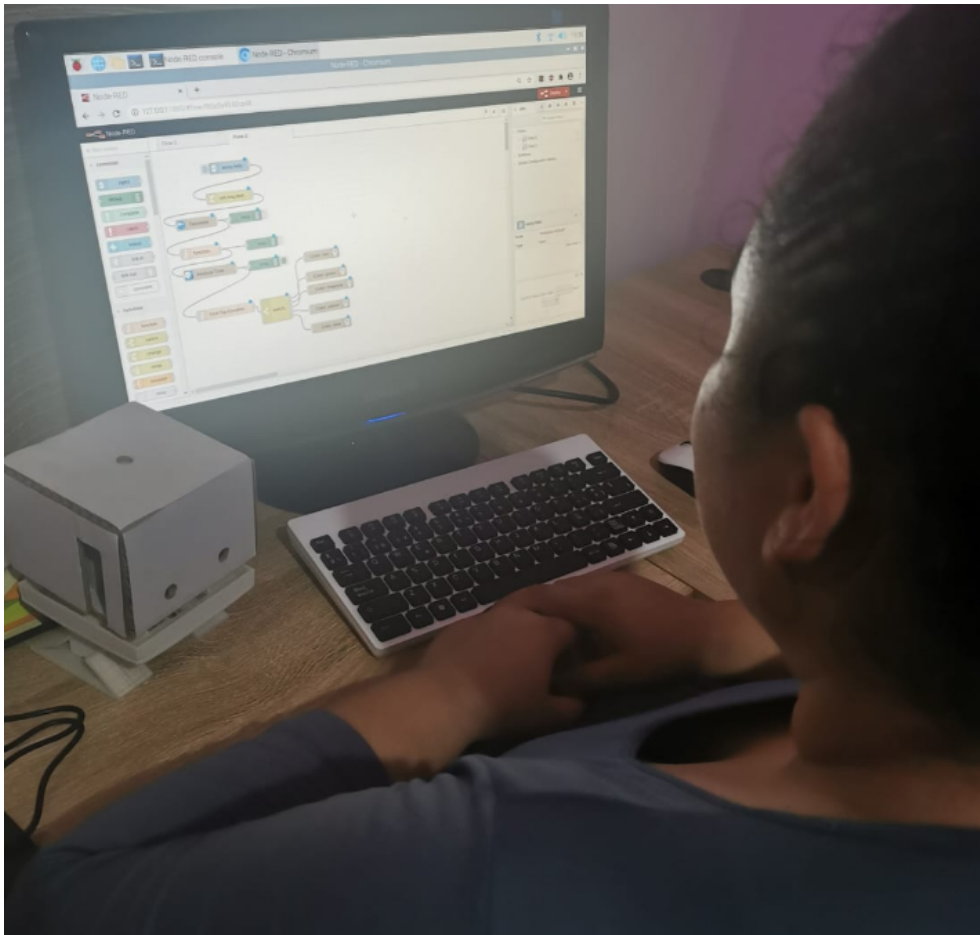


Figura 4.4: Usuario en interacción con TJbot

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos.

Frase original	Frase traducida a Inglés	Alegría	Tristeza	Enojo	Miedo	Disgusto
"Hoy estoy feliz porque me di un baño caliente y pude comer sentada a la mesa de mi casa"	"Today i am happy because I had a hot bath and I was able to eat sitting at the table in my house"	0.82	0	0	0	0
."Abrumada porque tuve que tomar una pastilla para dormir ayer"	."Overwhelmed because I had to take a sleeping pill yesterday"	0	0	0	0.535131	0.724236
"Frustrada porque no encuentro mis lentes para leer"	"Frustrated because I can't find my reading glasses"	0	0	0.868199	0	0.920855
Çontenta porque comí mis chocolates favoritos"	"Happy because I ate my favorite chocolates"	0.961069	0	0	0	0
."Dolorida de mi pierna porque me lastimaron cuando me llevaron a mis análisis"	"Sore in my leg because they hurt me when they took me to my tests"	0	0	0	0.634584	0.532616
"Preocupada porque no he comido a tiempo las últimas dos semanas"	"Worried that I haven't eaten on time for the last two weeks"	0	0.50667	0	0.531866	0
."Emocionada porque compré una tele nueva para mi sala"	."Excited because I bought a new TV for my living room"	0.767047	0	0	0	0
"Feliz porque vi una película de cantinflas despues de muchos años"	"Happy because I saw a cantinflas movie after many years"	0.87555	0	0	0	0
Ínquieto porque ya casi me ponen la vacuna"	Restless because they almost gave me the vaccine"	0	0	0	0.762356	0
"Triste porque extraño tomar café por las tardes"	"Sad because I miss having coffee in the afternoon"	0	0.897604	0	0	0.724236

Tabla 4.1: Frases usadas por los usuarios para la detección de emoción

El modelado de emociones devuelve una lista que muestra los valores pertenecientes a las emociones encontrados en la frase, como se puede observar en la Figura 4.7



```

{
  "document_tone": {
    "tones": [
      {
        "score": 0.596587,
        "tone_id": "fear",
        "tone_name": "Fear"
      },
      {
        "score": 0.724236,
        "tone_id": "analytical",
        "tone_name": "Analytical"
      }
    ]
  }
}

```

Figura 4.5: Resultados de la evaluación de emociones

Una vez obtenidos los valores de la emoción que presenta el usuario se introducen para lograr obtener su valor de *Energía y agrado* con ayuda del modelo de RULER, que fungen como entrada en el sistema difuso jerárquico que se propone en este trabajo.

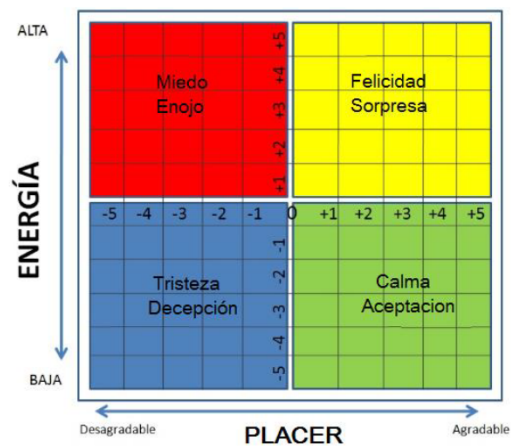


Figura 4.6: Representación del Modelo de RULER

El modelo de RULER, ver Figura 4.6 trabaja por medio de cuatro cuadrantes, representados por cuatro colores diferentes que muestran emociones con un valor perteneciente a cada una de ellas, en un rango de -5 a 5, donde en el eje vertical es representado por *energía* y el eje horizontal por *agrado*. Los colores en los cuadrantes se simbolizan por el tipo de emociones que los integran, por ejemplo:

- Rojo: Representado por emociones con energía alta, pero con agrado bajo, como el miedo o el enojo.
- Amarillo: Representado por emociones con energía alta que además tiene un agrado alto, como la felicidad o la sorpresa.
- Azul: Representado por emociones con baja energía y bajo nivel de agrado, como la tristeza o decepción.
- Verde: Representado por emociones con energía baja y un nivel de agrado alto, como la calma o la aceptación.

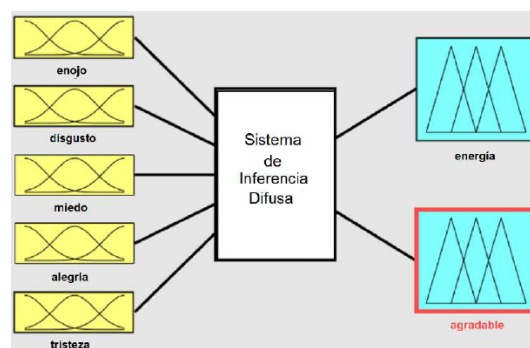


Figura 4.7: Sistema de inferencia difusa de energía y agrado

Algunas de las reglas usadas para el Sistema de inferencia se enlistan a continuación:

1. SI *Enojo* ES MuyBajo Y *Disgusto* ES MuyBajo Y *Miedo* ES MuyBajo Y *Alegría* ES Alto Y *Tristeza* ES MuyBajo ENTONCES *Energía* ES Alto - *Agrado* ES MuyAlto
2. SI *Enojo* ES MuyBajo Y *Disgusto* ES MuyBajo Y *Miedo* ES MuyBajo Y *Alegría* ES Medio Y *Tristeza* ES MuyBajo ENTONCES *Energía* ES MuyAlto - *Agrado* ES MuyAlto
3. SI *Enojo* ES MuyBajo Y *Disgusto* ES MuyBajo Y *Miedo* ES MuyBajo Y *Alegría* ES Medio Y *Tristeza* ES MuyBajo ENTONCES *Energía* ES Alto - *Agrado* ES Alto
4. SI *Enojo* ES MuyBajo Y *Disgusto* ES MuyBajo Y *Miedo* ES MuyBajo Y *Alegría* ES Medio Y *Tristeza* ES MuyBajo ENTONCES *Energía* ES Medio - *Agrado* ES MuyAlto
5. SI *Enojo* ES MuyBajo Y *Disgusto* ES MuyBajo Y *Miedo* ES MuyBajo Y *Alegría* ES Bajo Y *Tristeza* ES MuyBajo ENTONCES *Energía* ES Medio - *Agrado* ES Alto

## 4.3. Propuesta del sistema

### 4.3.1. Diseño

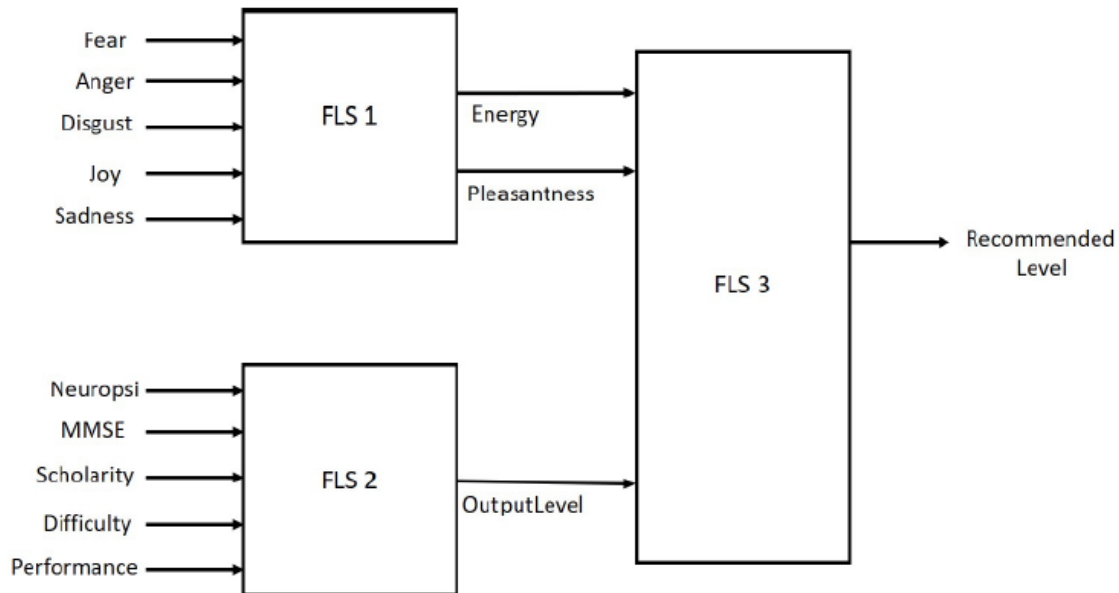


Figura 4.8: Sistema propuesto

Para el funcionamiento de la propuesta presentada en este trabajo, como se muestra en la Figura 4.8 se requiere de la variable *nivel de dificultad*, obtenida del Sistema Mente Activa, representado en la Figura como FLS2 y los valores correspondientes a *energía y agrado* obtenidas del modelado de emociones, representado como FLS1, para de esta manera al relacionar las dos entradas con ayuda del sistema propuesto y dar como salida un nivel recomendado, ya sea, para mantener, subir o bajar el nivel de dificultad del usuario tomando en cuenta su estado emocional.

En la Figura 4.9 se puede observar de una manera gráfica la manera en la que van a trabajar los dos sistemas.



Figura 4.9: Representación de la interacción con el sistema, (Morales, R., 2019)

El primer bloque contiene a los usuarios, los cuales son pacientes del Instituto de la Memoria, la cual es una institución que trata a adultos mayores que presentan deterioro cognitivo para retrasar su proceso degenerativo, contando con programas que favorecen la calidad de vida de los pacientes y sus familiares.

El segundo bloque contiene el Sistema Mente Activa, descrito en el punto 4.1 del presente trabajo, el cual nos brinda una evaluación actual del desempeño del paciente para que con ayuda del sistema propuesto se pueda recomendar un nuevo nivel para el usuario tomando en cuenta su estado emocional.

El tercer bloque se encuentran los datos del Sistema Mente Activa, el cual los guarda en una base de datos que puede ser consultada para futuras revisiones por parte de los profesionales de la salud. Así como los servicios de IBM Watson, a los cuales se tiene acceso por medio

remoto con ayuda de conexión a internet.

El cuarto bloque se encuentra representado por el proceso que cada uno de los dos sistemas va a llevar a cabo para logara obtener las salidas correspondientes.

El Quinto bloque tiene las salidas del sistema, el nivel actual de dificultad en el que se encuentra el usuario y la emoción predominante del mismo, las cuales representan las entradas al sistema propuesto, el Sistema Mente Activa y el modelado de emociones.

La relación del nivel de dificultad actual y el desempeño del usuario se muestra en la Figura 4.10, donde se puede observar que por ejemplo, si tenemos al Usuario 1, el cual tiene de desempeño *bueno* y un nivel de dificultad actual *fácil* el experto recomendaría siempre una subida de nivel, en este caso el nuevo nivel del usuario sería *medio*.

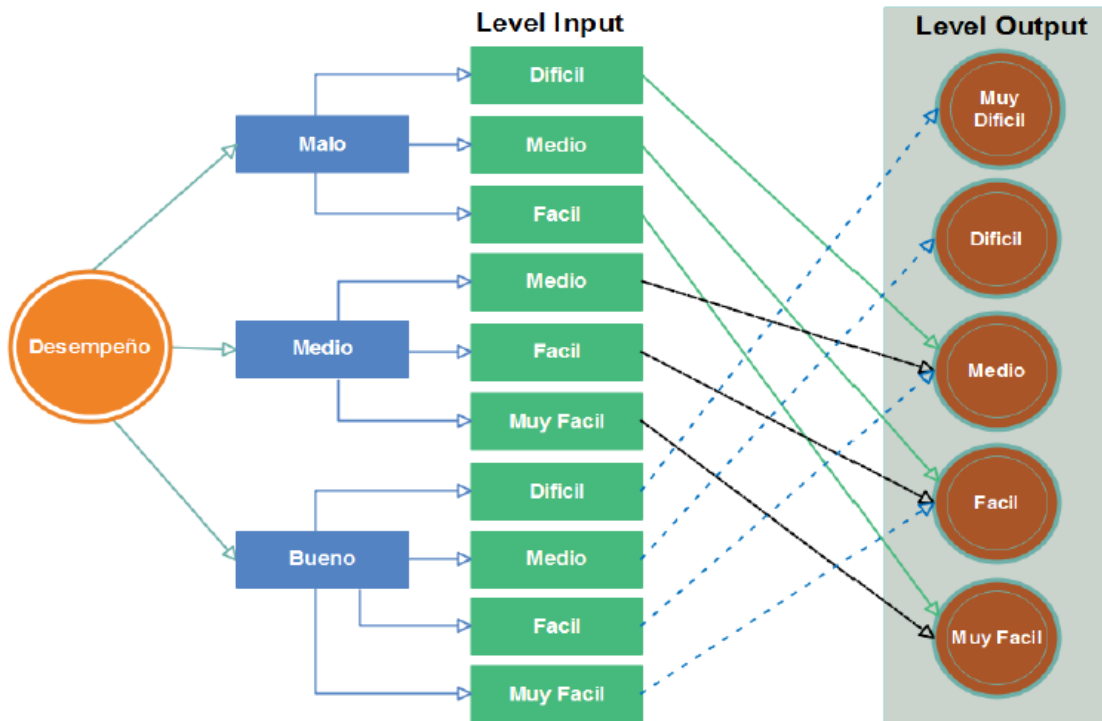


Figura 4.10: Relación del Sistema Mente Activa, (Morales, R., 2019)

### 4.3.2. Desarrollo de la propuesta

El sistema propuesto consta de 2 entradas, la primera es el valor obtenido del modelado de emociones y el segundo el nivel actual en el que se encuentra dentro del sistema *Mente Activa* para que con ayuda del sistema difuso jerárquico propuesto se establezca la conexión entre dichos valores y de esta manera poder recomendar al experto un nivel adecuado dependiendo para el paciente dependiendo la conexión encontrada.

Se uso el software Matlab para la creación del sistema, así como 100 reglas difusas que se integran para recomendar un nivel adecuado tomando en cuenta la emoción del usuario.

En la Figura 4.11 se muestra el usuario haciendo uso del sistema *Mente activa* después de la interacción con TJbot.

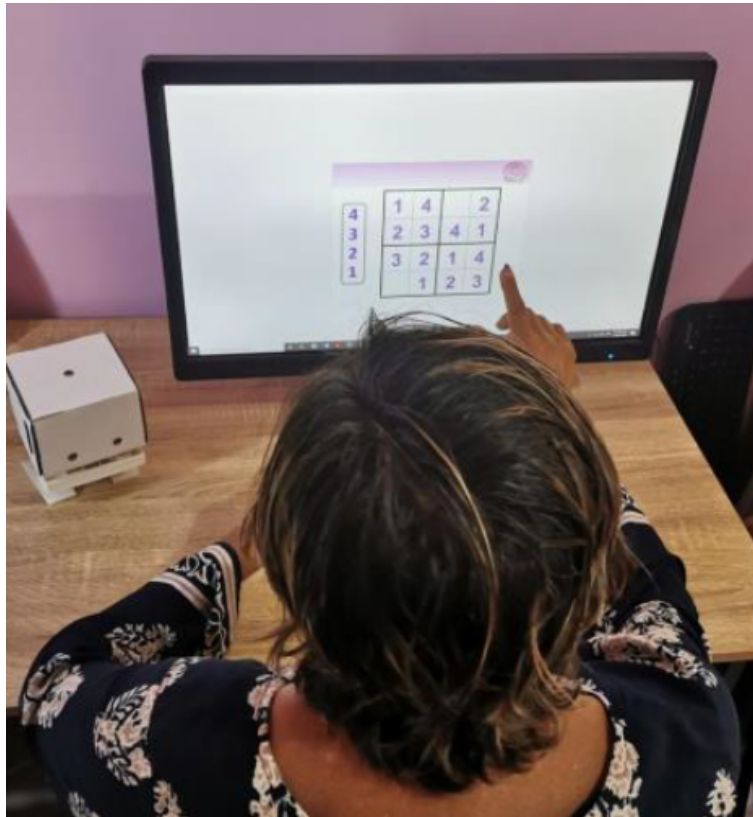


Figura 4.11: Resultados de la evaluación de emociones

Una vez finalizada la prueba del sistema *Mente Activa* y obtenidos los datos de la emoción, se ingresan al sistema, ver Figura 4.12, donde se pueden observar las entradas al sistema, el bloque difuso con las reglas, y por último el nivel recomendado como salida del sistema, pudiendo ser este: Mantener nivel, subir nivel o bajar nivel.



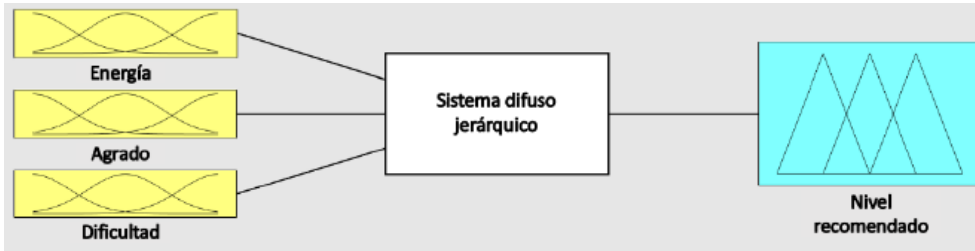


Figura 4.12: Sistema Difuso Jerárquico propuesto

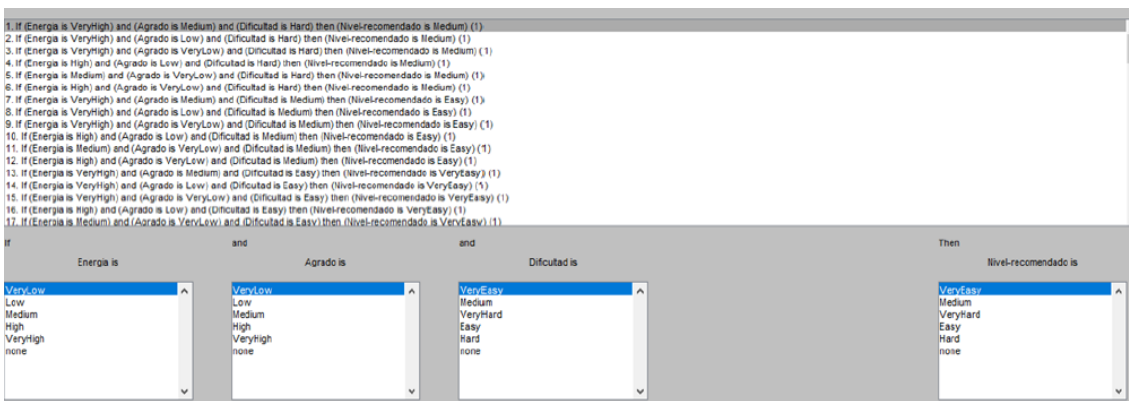


Figura 4.13: Reglas difusas del sistema

Para el uso correcto del sistema el usuario declara una oración sobre algo relevante de su día, por ejemplo, el usuario manifiesta la Frase 1: *“Aturdida porque me dieron muchos regalos en mi cumpleaños”*, paso siguiente el agente inteligente, los servicios de IBM Watson y el modelado de las emociones nos devuelven los valores correspondientes a la energía y agrado del usuario.

Una vez teniendo los valores de energía y agrado de la frase y el nivel de dificultad del usuario se ingresan al sistema propuesta para obtener, como se observa en la Figura 4.14, el nivel de dificultad recomendado para el usuario tomando en cuenta tanto la parte cognitiva como la emocional.

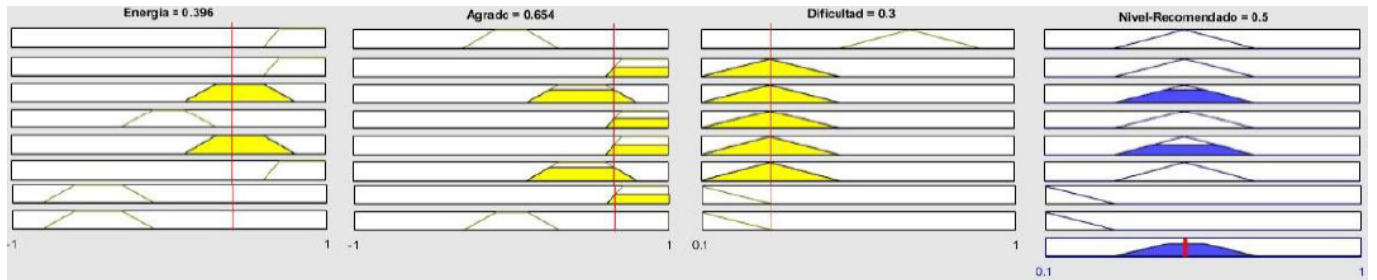


Figura 4.14: Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 1

En la Tabla 4.2 se muestran los valores completos obtenidos de la Frase 1.

Valores del usuario	Entrada al sistema	Salida del sistema
Energía	0.396	
Agrado	0.654	
Dificultad actual	0.3	
Emoción predominante	Felicidad	
Nivel recomendado		0.5

Tabla 4.2: Resultados obtenidos de la Frase 1

Frase 2: *“Mi amigo me dijo mentiras el día de hoy”*

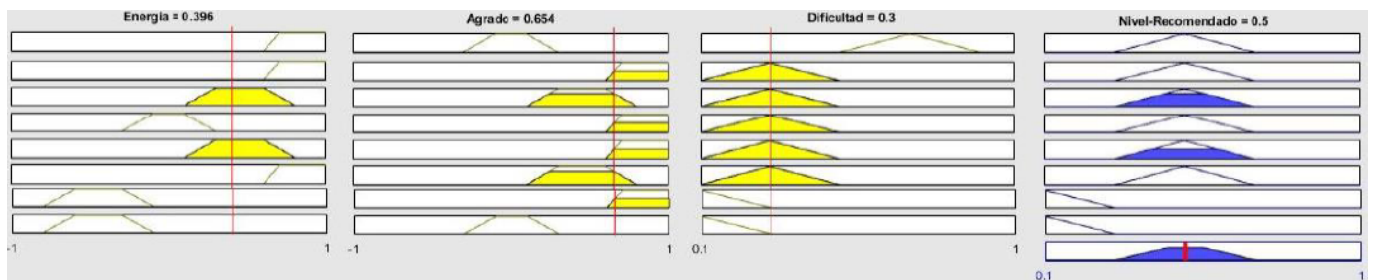


Figura 4.15: Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 2

Valores del usuario	Entrada al sistema	Salida del sistema
Energía	6,81 E-18	
Agrado	-0.45	
Dificultad actual	0.671	
Emoción predominante	Miedo y enojo	
Nivel recomendado		0.614

Tabla 4.3: Resultados obtenidos de la Frase 2

Frase 3: “Moralmente pues ayer veces a ratos en que me ataca la tristeza porque recuerdo todos los momentos en que trabajaba y yo me sentía agusto”

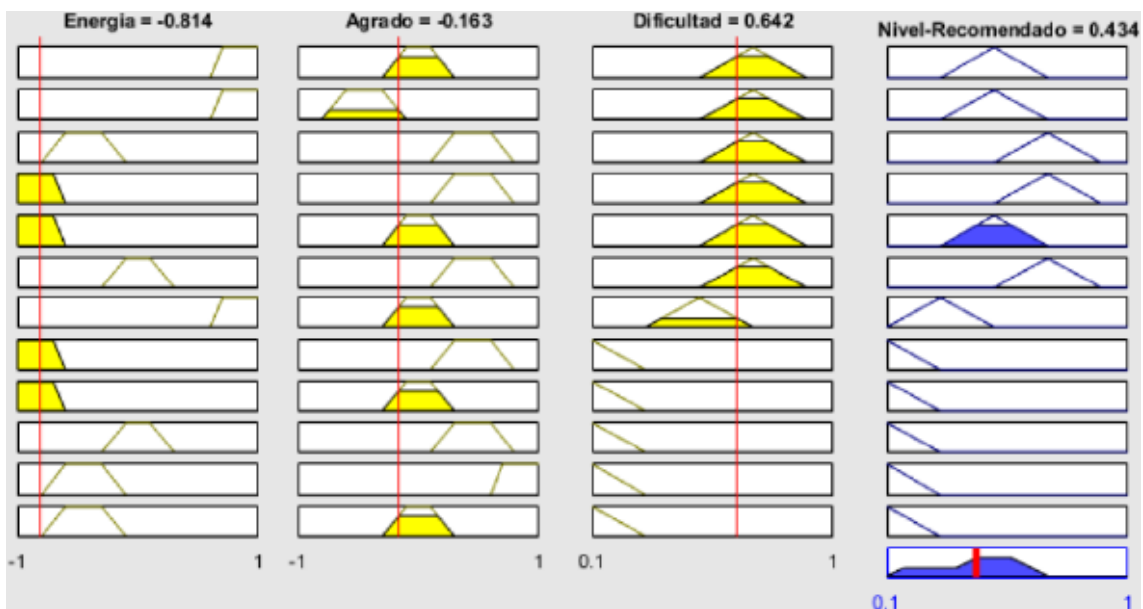


Figura 4.16: Sistema propuesto con los valores obtenidos de la Frase 3

<b>Valores del usuario</b>	<b>Entrada al sistema</b>	<b>Salida del sistema</b>
Energía	-0.813	
Agrado	-0.163	
Dificultad actual	0.642	
Emoción predominante	Disgusto y tristeza	
Nivel recomendado		0.434

Tabla 4.4: Resultados obtenidos de la Frase 3

# Capítulo 5

## Conclusiones y trabajo futuro

### 5.1. Conclusiones

En el presente trabajo de tesis se presenta una propuesta de un sistema difuso jerárquico que realiza una conexión entre el resultado de un plan de estimulación con el estado emocional en personas con deterioro cognitivo, con el objetivo de complementar la evaluación del experto encargado de proponer el nivel de dificultad para el plan de estimulación del paciente.

En esta propuesta se usa un agente inteligente creado por IBM, llamado TJbot, cuya función es generar una relación humano-computadora con el paciente de la mano del cómputo afectivo. Por otro lado, se cuenta con el Sistema Mente Activa el cual cuenta con 7 áreas de estimulación cognitiva creado para mejorar el proceso degenerativo de los pacientes, adultos mayores con deterioro cognitivo, las cuales cuentan con un nivel de dificultad recomendado por un experto; el TJbot junto con el sistema de inferencia difusa para detectar la emoción predominante que presenta el paciente al momento de hacer

uso del Sistema Mente Activa, son las entradas que hacen que la propuesta presentada tenga como salida, con ayuda de 100 reglas difusas, un nuevo nivel de dificultad para el paciente, siendo así un apoyo para el experto que realiza los nuevos planes futuros tomando en cuenta la emoción.

El objetivo es aportar un valor importante que en ocasiones es ignorado, que son las emociones en los adultos mayores, ya que estas pueden llegar a hacer la diferencia en los resultados obtenidos al realizar su tratamiento usando el plan de estimulación, generando de esta manera una propuesta integral para obtener un mejor rendimiento en los planes futuros.

## **5.2. Trabajo a futuro**

Se propone realizar pruebas de manera presencial con pacientes pertenecientes al Instituto de la Memoria, en León, Gto., para verificar los valores en tiempo real, es decir, realizando el procedimiento con un mismo paciente y obtener así datos suficientes para medir el impacto de la propuesta del sistema presentada en este trabajo. También se plantea la integración del sistema propuesto al Sistema Mente Activa para lograr una interacción más cómoda y rápida con el usuario.

# Anexos

Reglas que integran el sistema de inferencia difusa

# Ruler	Variable de Salida THEN	Energia					Agrado					Medidor Emocional	Emocion predominante	
		VL	L	M	H	VH	VL	L	M	H	VH			
1	ENERGY IS MEDIUM PLEASANTNESS IS MEDIUM			X					X				SOSEGADO	Sin emocion predominante
2	ENERGY IS VERYLOW PLEASANTNESS IS VERYHIGH	X									X		SERENO	
3	ENERGY IS LOW PLEASANTNESS IS HIGH		X						X				COMODO	
4	ENERGY IS VERYLOW PLEASANTNESS IS HIGH	X							X				ACOGEDOR	
5	ENERGY IS VERYLOW PLEASANTNESS IS MEDIUM	X							X				TRANQUILO	
6	ENERGY IS MEDIUM PLEASANTNESS IS HIGH			X						X			SATISFECHO	
7	ENERGY IS LOW PLEASANTNESS IS VERYHIGH		X								X		CUIDADO	
8	ENERGY IS VERYHIGH PLEASANTNESS IS VERYHIGH					X					X		EXALTADO	FELICIDAD
9	ENERGY IS HIGH PLEASANTNESS IS HIGH				X					X			INSPIRADO	
10	ENERGY IS MEDIUM PLEASANTNESS IS VERYHIGH			X							X		EXITADO	
11	ENERGY IS HIGH PLEASANTNESS IS VERYHIGH				X						X		JUBILOSO	
12	ENERGY IS VERYHIGH PLEASANTNESS IS HIGH					X				X			EUFORICO	
13	ENERGY IS VERYHIGH PLEASANTNESS IS MEDIUM					X				X			ESTRESADO	MIEDO & ENOJO
14	ENERGY IS LOW PLEASANTNESS IS MEDIUM		X							X			PACIFICO	Sin emocion predominante
15	ENERGY IS VERYLOW PLEASANTNESS IS LOW	X							X				DESESPERANZADO	DISGUSTO & TRISTEZA
16	ENERGY IS LOW PLEASANTNESS IS LOW		X						X				DESPRESIVO	
17	ENERGY IS VERYLOW PLEASANTNESS IS VERYLOW	X						X					DESESPERADO	MIEDO & ENOJO
18	ENERGY IS HIGH PLEASANTNESS IS MEDIUM				X				X				FRUSTRADO	
19	ENERGY IS VERYHIGH PLEASANTNESS IS LOW					X			X				APANICADO	DISGUSTO & TRISTEZA
20	ENERGY IS MEDIUM PLEASANTNESS IS LOW			X					X				MISERABLE	
21	ENERGY IS LOW PLEASANTNESS IS VERYLOW		X					X					DESALENTADO	MIEDO & ENOJO
22	ENERGY IS VERYHIGH PLEASANTNESS IS VERYLOW					X	X						ENFURECIDO	
23	ENERGY IS HIGH PLEASANTNESS IS LOW				X			X					FURIOSO	
24	ENERGY IS MEDIUM PLEASANTNESS IS VERYLOW			X				X					IRACUNDO	
25	ENERGY IS HIGH PLEASANTNESS IS VERYLOW				X			X					LIVIDO	







# Bibliografía

1. Alavala, Chennakesava R (2008). Fuzzy logic and neural networks: basic concepts application. New Age International.
2. Álvarez, A., Santiago, C., Rubina, G., Pérez, J., Moren, H., & López, J. Asistente Robótico y Aplicación Móvil Personal Para Pacientes de Alzheimer.
3. Brage, L. B., & Cañellas, A. J. C. (2006). Lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación. *Revista de educación*, 340, 995-1008.
4. Cepeda-Negrete, J. (2011). Modelado de Sistemas Difusos de múltiples entradas y salidas (Doctoral dissertation, Universidad de Guanajuato DICIS).
5. de Arce, J. L. Y. (2005). Inteligencia Emocional en el Adulto Mayor. Avances y desafíos para un enfoque integral. [portaldoenvelhecimento.org.br](http://portaldoenvelhecimento.org.br/). [Internet].
6. Demazeau, Y., Matson, E., Corchado, J. M., & De la Prieta, F. (Eds.). (2019). *Advances in Practical Applications of Survivable Agents and Multi-Agent Systems: The PAAMS Collection: 17th International Conference, PAAMS 2019, Ávila, Spain, June 26–28, 2019, Proceedings (Vol. 11523)*. Springer.
7. Denzin, N. K., Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The Sage handbook of qualitative research*. sage.
8. Eduardo, C., & De Vito, E. L. (2006). Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 6(3), 126-136.
9. García Martínez, M. (2017). *Las emociones y el bienestar en las personas mayores*.
10. Gorrostieta, J. M. G., Gómez, C. E. R., & López, S. G. Modelo de Evaluación del Aprendizaje basado en un Sistema Multi-Agente Inteligente.
11. Gutiérrez-Robledo, L. M., & Arrieta-Cruz, I. (2015). Demencias en México: la necesidad de un Plan de Acción. *Gaceta médica de México*, 151(5), 667-673.
12. Heilman, K.M., Bowers, D., & Valenstein, E. (1993). Emotional disorders associated with neurological diseases. In K.M. Heilman & E. Valenstein (Eds.), *Clinical neuropsychology* (3rd ed., pp. 461–497). New York: Oxford University Press.
13. High, R. (2013). *La Era de los Sistemas Cognitivos: Una mirada al interior de IBM Watson y ¿Cómo funciona?*. IBM. Redbooks.

14. Hípola, P., & Vargas-Quesada, B. (1999). Agentes inteligentes: definición y tipología: los agentes de la información. *El profesional de la información*,8(4), 13-21.
15. Huapaya, C. R., Lizarralde, F. A., & Arona, G. M. (2012). Modelo basado en lógica difusa para el diagnóstico cognitivo del estudiante. *Formación universitaria*,5(1), 13-20.
16. Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. *Possibility Theory versus Probab. Theory*, 32(2), 207-208.
17. León, F. G., Hernández, L. M., Martínez, J. M. A., & Meilán, J. J. G. (2011). La influencia de la emoción en la memoria como índice para el diagnóstico temprano del Alzheimer. *Alzheimer: Realidades e investigación en demencia*, (48), 33-38.
18. López-Pérez, B., Fernández-Pinto, I., & Márquez-González, M. (2017). Educación emocional en adultos y personas mayores. *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, 6(15), 501-522.
19. Mallitasig Arellano, H. W. (2018). PAUL EKMAN Y LAS MICROEXPRESIONES FACIALES DE LAS EMOCIONES.
20. Meftah, I. T., Le Thanh, N., & Amar, C. B. (2012, November). Detecting depression using multimodal approach of emotion recognition. In *2012 IEEE International Conference on Complex Systems (ICCS)* (pp. 1-6). IEEE.
21. Morales, R. (2019). Evaluación de modelos jerárquicos difusos utilizando conceptos compuestos difusos en sistemas expertos (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de León, Guanajuato, México.
22. Morales-Luna, Guillermo (2002). Introducción a la lógica difusa. En: Centro de Investigación y Estudios Avanzados. México.
23. Morris, C.G. y A.A. Maisto (2005). Introducción a la psicología. Pearson Educación. ISBN: 9789702606468. URL: <https://books.google.com.mx/books?id=PLDQoRgu5ZYC>.
24. Mostafa, Mohamed y col. (2016). «Incorporating emotion and personality-based analysis in user-centered modelling». En: *Research and Development in Intelligent Systems XXXIII: Incorporating Applications and Innovations in Intelligent Systems XXIV* 33, 383–389. URL: <https://arxiv.org/pdf/1608.03061.pdf>.
25. Navarro, F. J., Zamudio, V., Baltazar, R., Lino, C., Díaz, C., & Faiyaz, D. (2013). Towards Game Based Monitoring and Cognitive Therapy for Elderly using a Neural-Fuzzy approach. In *Workshops Proceedings in the Mexican International Conference on Computer Science* (pp. 1-6).

26. Nogales Castedo, D. F. Sistema experto para el diagnóstico de la depresión de un geronte basado en lógica difusa (Doctoral dissertation).
27. Núñez Flórez, E. R., Vergara Ortiz, R., & Bocanegra García, J. J. (2014). Sistema experto basado en lógica difusa tipo 1 para determinar el grado de riesgo de preeclampsia.
28. Pawar, P. M., & Ganguli, R. (2007). Fuzzy-logic-based health monitoring and residual-life prediction for composite helicopter rotor. *Journal of Aircraft*, 44(3), 981-995.
29. Pedro, C. P., Zamudio, V., Navarro, J., Doctor, F., Carlos, L. I. N. O., Andez, D. G. E. H., & Baltazar, R. (2018). Identification and analysis of emotions in a game-based therapy for patients with cognitive impairment. In *Intelligent environments 2018* (pp. 506-515). IOS Press.
30. Pérez Martínez, V. T. (2005). El deterioro cognitivo: una mirada previsor. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 21(1-2), 0-0.
31. Picard, R. W. (2000). *Affective computing*. MIT press.
32. Picard, R. W. (2003). Affective computing: challenges. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), 55-64.
33. Raju, G. V. S., Zhou, J., & Kisner, R. A. (1991). Hierarchical fuzzy control. *International journal of control*, 54(5), 1201-1216.
34. Salovey, P., & Mayer, J. D. (1990). Emotional intelligence. *Imagination, cognition and personality*, 9(3), 185-211.
35. Secretaría de Salud. (2018). Envejecimiento y Demencias en México desde una perspectiva de género. *Género y salud en cifras*, 15(3), 18. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment\\_data/filer/originals/2018/03/15-3-1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/filer/originals/2018/03/15-3-1.pdf)
36. Silva, M. J. G., Rodríguez, V. M. Z., Soberanes, H. J. P., Valadez, J. M. C., & del Rosario Baltazar-Flores, M. (2015). Monitoreo de emociones aplicadas a terapias basadas en juegos y lógica difusa para adultos mayores. *Res. Comput. Sci.*, 92, 81-90.
37. Tabernerero, M. E., & Politis, D. G. (2013). Reconocimiento de emociones básicas y complejas en la variante conductual de la demencia frontotemporal. *Neurología Argentina*, 5(2), 57-65.

38. Wagner, C., & Hagraas, H. (2010, August). Fuzzy composite concepts based on human reasoning. In 2010 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration (pp. 308-313). IEEE.
39. Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets. In Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh (pp. 394-432).
40. Zapata, L. F. (2008). Reconocimiento de las expresiones faciales emocionales en pacientes con demencia tipo Alzheimer de leve a moderada. *Psicología desde el Caribe*, (21), 64-84.
41. Zimmermann, H. J. (2011). Fuzzy set theory—and its applications. Springer Science Business Media.