



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LEÓN

División de Estudios de Posgrado e Investigación

”MEDICIÓN DE ESTADO EMOCIONAL EMPLEANDO TÉCNICAS
DE LÓGICA DIFUSA Y CÓMPUTO AFECTIVO EN UN
AMBIENTE INMERSIVO BASADO EN REALIDAD AUMENTADA”

TESIS

Que presenta:

ISC. LUIS EDUARDO RONQUILLO ORDOÑEZ

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN

Con la dirección de:

DR. VÍCTOR MANUEL ZAMUDIO RODRÍGUEZ

Con la co-dirección de:

DR. DAVID ASael GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ



Instituto Tecnológico de León
División de Estudios de Posgrado e
Investigación

“2021: Año de la Independencia”

León, Gto. 15/enero/2021

**C. ING. LUIS EDUARDO RONQUILLO ORDOÑEZ
PRESENTE**

De acuerdo al fallo emitido por la Comisión Revisora, integrada por los: **Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez, M.C. Francisco Javier Navarro Barrón, Dr. David Asael Gutiérrez Hernández, Dr. Carlos Lino Ramírez,** y 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: **“Medición del estado emocional empleando técnicas de lógica difusa y cómputo afectivo en un ambiente inmersivo basado en realidad aumentada”**. Lo que hacemos de su conocimiento para los efectos y fines correspondientes.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Ciencia Tecnología y Libertad

**DR. DAVID ASael GUTIERREZ HERNÁNDEZ
JEFE DE LA DEPT**



ccp. Archivo



RPPII-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) 711 7211
e-mail: tecleon@leon.tecnm.mx
tecnm.mx | leon.tecnm.mx





León, Gto., a 12 de Enero 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 "**Medición de estado emocional empleando técnicas de lógica difusa y cómputo afectivo en un ambiente inmersivo basado en realidad aumentada**", 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. Luis Eduardo Ronquillo Ordoñez**, con número de control **M13240306** 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. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez

DIRECTOR

Dr. Francisco Javier Navarro Barron

REVISOR

Dr. David Asael Gutiérrez Hernández

CODIRECTOR

Dr. Carlos Lino Ramírez

REVISOR



DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, **C. Luis Eduardo Ronquillo Ordoñez** identificado con No. Control **MI3240306**, alumno (a) del programa de la **Maestría en Ciencias de la Computación**, autor (a) de la Tesis titulada: **“Medición de estado emocional empleando técnicas de lógica difusa y cómputo afectivo en un ambiente inmersivo basado en realidad aumentada”**, 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 13 del mes de enero de 2021

Luis Eduardo Ronquillo Ordoñez

ACUERDO PARA USO DE OBRA (TESIS DE GRADO)

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por medio del presente escrito, **C. Luis Eduardo Ronquillo Ordoñez** (en lo sucesivo el AUTOR) hace constar que es titular intelectual de la obra denominada: **“Medición de estado emocional empleando técnicas de lógica difusa y cómputo afectivo en un ambiente inmersivo basado en realidad aumentada”**, (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 13 días del mes de enero de 2021.

Atentamente,



Luis Eduardo Ronquillo Ordoñez.

Dedicatoria ...

Dedico esta tesis a mis padres José y Guadalupe quienes fueron, son y serán mis grandes ejemplos en la vida. Su amor y apoyo incondicional es la base de todo lo que pueda llegar a ser.

A Martha y Oscar quienes me han apoyado y alentado para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

A mis maestros quienes siempre estuvieron disponibles para enseñarme. A mi asesor y comité quienes estudiaron mi tesis y me han acompañado por todo este camino.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis. Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer al Dr. Víctor Manuel Zamudio Rodríguez, mi tutor y director de tesis. Por la dedicación y apoyo que me ha brindado a lo largo este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por guiarme a través de cada una de las etapas de este proyecto. De igual modo todo mi agradecimiento al Dr. David Asael Gutiérrez Hernández, quién me dio la oportunidad de relacionarme con la investigación científica por primera vez y con quién he compartido proyectos e ideas durante estos años.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos que corresponden a al trabajo en conjunto con otras personas e instituciones. En este sentido mi más sincero agradecimiento al Dr. Francisco Javier Navarro Barron y Dr. Carlos Lino Ramírez por su apoyo, dedicación e interés por el desarrollo de este proyecto, por ello estaré siempre en deuda. Gracias por su amabilidad para facilitarme su tiempo y sus ideas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca concedida para mis estudios de posgrado. Al Instituto de la Memoria, auspiciado por la Fundación Alzheimer de León A.C. Por las facilidades otorgadas para realizar investigación dentro de su institución, sin duda me quedo con el profesionalismo y la pasión de su personal para el cuidado de los adultos mayores.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza, ni la energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Por eso agradezco principalmente mi familia, a mis padres, a mi pareja y mi hermano porque su presencia y apoyo es un aliento para seguir trabajando. Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano muy necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Sin el apoyo de los ya mencionados este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo. A todos, muchas gracias.

Resumen

En este trabajo de tesis se expone el desarrollo de un sistema de recomendaciones multimedia a través del modelado de emociones utilizando lógica difusa, con el objetivo de crear un sistema capaz de detectar el estado emocional de una persona y generar una recomendación multimedia que mueva al usuario a diferentes estados emocionales. Para la creación de este sistema de recomendaciones se necesitó emplear un ambiente inmersivo de realidad aumentada como un medio para mostrar elementos audiovisuales de manera efectiva. También como parte del sistema de recomendaciones se adaptó una metodología psicológica para la enseñanza de inteligencia emocional que permite detectar estados emocionales de una forma sencilla, así el sistema utiliza este método para integrarlo como un factor esencial en la toma de decisiones. El sistema de recomendaciones ha sido acoplado a un agente inteligente que se encarga de reconocer y procesar la voz del usuario. Este procesamiento se lleva a cabo estimulando al usuario con elementos audiovisuales para provocar una conversación con el agente inteligente, así el agente inteligente retiene la voz del usuario y comienza un proceso de conversión de las notas de voz a cadenas de texto. Una vez que el sistema obtiene la cadena de texto, estas se envían a una herramienta de software en la nube que separa las cadenas de texto para localizar palabras específicas. Entonces a cada palabra localizada esta herramienta le asigna un valor cuantitativo que indica el nivel de pertenencia a una emoción primaria. Así como resultado de localizar y cuantificar palabras se produce un vector, que en síntesis es el conjunto de valores emocionales cuantificados asociados a la conversación entre el agente inteligente y el usuario. Este vector es el dato que inicia el proceso de una recomendación multimedia con base en el estado emocional. Se realizó la experimentación correspondiente para evaluar el sistema con usuarios miembros de una institución de atención a la salud mental con la finalidad de detectar estados emocionales negativos y así combatir con nuestro enfoque el problema de la depresión en pacientes con Alzheimer. Sin embargo este sistema se puede expandir al público en general. Los resultados son alentadores, pues indican que es posible detectar estados emocionales no deseados asociados a un cierto elemento multimedia (imágenes, fotografías y vídeos). También se muestra que para el sector del adulto mayor está fue una herramienta sencilla de utilizar.

IE2020



POLITÉCNICA

BEST LONG PAPER AWARD

To

***Luis Ronquillo, Víctor Zamudio, David Gutiérrez-Hernández,
Javier Navarro, Faiyaz Doctor and Carlos Lino***

“Towards an automatic recommendation system to well-being for elderly based on augmented reality”

2020 16th International Conference on Intelligent Environments (IE)

Organized by Universidad Politécnica de Madrid on July 20th-23rd, 2020 at ETSI Telecomunicación. Madrid, SPAIN



Publicaciones

Towards an automatic recommendation system to well-being for elderly based on augmented reality.

ABSTRACT

Accordingly to the National Population Council (CONAPO), in Mexico, people over 60 years old are equivalent to 10% of the population [1]. This age is considered the beginning of the older adult stage, and by 2050 there will be an inevitable generational transition where older adults will represent 21.5% of the Mexican population. One of the most common diseases of this sector is cognitive impairment or dementia, being Alzheimer's Disease (AD) the most common with 60% of cases. AD causes depression and negative emotional states that impact the physical, mental and social health of adults and their families. Advances in artificial intelligence have proven to approach and understand human behavior and their emotional state under different circumstances. In this paper, we propose an augmented reality-based strategy for measuring different emotional states of older adults by interacting with multimedia content (audios, photos, and videos) we are laying the foundations for the creation of an intelligent platform that detects the negative emotional state and issues multimedia recommendations based on tastes customized to move the patient to a positive emotional state.

Keywords: Augmented Reality, Recommendations Systems, Sentiment Analysis, Affective Computing, Non-pharmacological therapies, IBM Watson.

Authors: Luis Ronquillo, Víctor Zamudio, David Gutiérrez-Hernández, Carlos Lino, Javier Navarro and Faiyaz Doctor.

Book: 2020 16th International Conference on Intelligent Environments (IE).
Pages: 126 - 131. DOI: 10.1109/IE49459.2020.9155010. Available in:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9155010>.

Índice general

Agradecimientos	II
Resumen	III
Publicaciones	V
	VII
1 Introducción	1
§1.1 Antecedentes	1
§1.2 Planteamiento del problema	3
§1.3 Justificación	5
§1.4 Objetivos	7
§1.4.1 Objetivo general	7
§1.4.2 Objetivo específicos	8
§1.4.3 Objetivos metodológicos	8
§1.5 Hipótesis	8
§1.6 Alcances y limitaciones	9
§1.6.1 Alcances	9
§1.6.2 Limitaciones	9
§1.7 Organización de la tesis	10
2 Marco teórico	11
§2.1 Teoría de las emociones	12

§2.1.1 Modelo emocional del circunflejo	13
§2.1.2 Modelo emocional Big Six	15
§2.2 Inteligencia emocional	15
§2.2.1 Metodología de RULER para la enseñanza de inteligencia emocional	16
§2.3 Cómputo afectivo y análisis de sentimientos	18
§2.4 Lógica difusa	19
§2.4.1 Sistemas controladores difusos	23
§2.5 Sistemas de recomendaciones	27
§2.6 Ambientes inteligentes	30
3 Estado del arte	32
§3.1 Sistemas para el análisis de sentimientos	33
§3.1.1 Hacia el análisis multimodal de los sentimientos: recolec- tando opiniones de la web	33
§3.1.2 Un sistema difuso para el análisis del sentimiento a nivel de concepto	34
§3.1.3 Detección de la depresión mediante un enfoque multimo- dal de reconocimiento de emociones	36
§3.2 Sistemas de recomendaciones con lógica difusa	37
§3.3 Sistemas intuitivos de recomendación difusa: Una herramienta efectiva para el diagnóstico médico	37
§3.4 Modelado de emociones con lógica difusa	38
4 Desarrollo del sistema de recomendaciones multimedia	41
§4.0.1 Módulos del sistema de recomendaciones	41
§4.0.2 Tecnologías involucradas	44
§4.1 Módulo I: Recolector de información	48
§4.1.1 Aplicación de realidad aumentada	48
§4.1.2 Sistema de procesamiento de voz y etiquetado multimedia	52
§4.2 Módulo II: Transformación y procesamiento de la información .	56
§4.2.1 Sistema controlador difuso	56
§4.2.2 Medidor de estado emocional	60
§4.3 Módulo III: Generador de recomendaciones multimedia	63
§4.4 Pruebas de integración de software	65

§4.4.1 Resumen	68
5 Pruebas y resultados de la implementación	70
§5.1 Diseño del experimento	71
§5.1.1 Objetivo del experimento	71
§5.1.2 Descripción del experimento	71
§5.2 Análisis estadístico de los resultados del experimento	77
§5.2.1 Procesamiento de los datos del experimento	81
§5.2.2 Conjunto de reglas difusas	87
§5.2.3 Generación de recomendaciones multimedia	88
§5.3 Conclusiones	94
6 Conclusiones y trabajo futuro	96
§6.1 Conclusiones	96
§6.2 Trabajo futuro	98
A Tabla de similitudes entre elementos multimedia	100
§A.1 Vídeos	100
§A.2 Audios	101
§A.3 Imágenes	101
B Publicación Artículo I	107
C Formato de encuesta Likert	109
D Formato de consentimiento informado	113
E Formato de volante informativo	115

Índice de figuras

2.1 Ejemplo del modelo del circunflejo del Plutchik en 2D [Plutchik, 1980]. 14

2.2	Ejemplo de la cuadrícula afectiva del medidor emocional RULER [imagen]. Recuperado de https://webstockreview.net/image/clipart-ruler-metre-ruler/1078240.html	18
2.3	Diagrama de un sistema difuso convencional que normaliza y convierte sus valores de entrada en formas difusas, ejecuta las reglas difusas y <i>defusifica</i> el resultado en conjuntos difusos,[Cox, 1993]. 21	
2.4	Ejemplo de un sistema controlador difuso.	24
2.5	Estructura de una función de membresía trapezoidal.	25
3.1	Modelo del sistema difuso de Mandryk y Atkins. Tomado de: [Mandryk and Atkins, 2007]	39
4.1	Diagrama de bloques. Módulos del sistema de recomendaciones.	43
4.2	Diagrama de bloques de la aplicación de realidad aumentada. .	45
4.3	Marcadores de realidad aumentada.	46
4.4	Interfaz gráfica de AppRA.	46
4.5	Diagrama de bloques que muestra las tecnologías del recolector de información.	47
4.6	Módulos desarrollados en Python.	48
4.7	Pantalla principal de la aplicación de realidad aumentada. . . .	50
4.8	Ejemplo de un elemento proyectado en realidad aumentada. . .	51
4.9	Pantalla secundaria de la aplicación de realidad aumentada. . .	51
4.10	Estructura de la base de datos de la aplicación de realidad aumentada.	52
4.11	modelo del agente inteligente TjBot.	53
4.12	Pantalla principal del servidor web y el campo de etiquetas multimedia.	55
4.13	Pantalla secundaria para el inicio del procesamiento de voz. . .	55
4.14	Esquema del proceso general del controlador difuso.	57
4.15	Reglas de control del SCD.	59
4.16	Prueba de concepto del sistema controlador difuso.	59
4.17	Proceso general del sistema controlador difuso.	60
4.18	Ejemplo del medidor de estado emocional.	62
4.19	Medidor de estado emocional con datos.	62

4.20 Captura de pantalla del módulo III. Generador de recomendaciones multimedia.	65
4.21 Vector de entrada: resultado del módulo I.	67
4.22 Vector de salida del módulo II.	69
5.1 Sesión de trabajo con usuario del Instituto de la Memoria. . . .	74
5.2 Diagrama de bloques: flujo de interacción con la aplicación de Realidad Aumentada y Agente inteligente	75
5.3 Histograma del puntaje obtenido por el efecto de reminiscencia	80
5.4 Resultados orden y duración de los elementos multimedia	81
5.5 Resultados experiencia de usuario	82
5.6 Diagrama de cajas de la distribución del vector de entrada . . .	83
5.7 Distribución del vector de salida	84
5.8 Distribución de la componente energía	85
5.9 Distribución del componente agrado	86
5.10 Datos de energía y agrado representados en el medidor emocional	89
5.11 Histograma que visualiza la frecuencia de los niveles de agrado y energía	89
5.12 Histograma que visualiza la frecuencia de las calificaciones en los elementos multimedia	91
5.13 Distribución de los elementos multimedia recomendados	94

Índice de tablas

1.1 Beneficios para el adulto mayor.	7
2.1 Clasificación de los sistemas de recomendaciones	28
4.1 Resumen de la actividad y resultados que entregan los módulos del sistema	67
5.1 Elementos de música multimedia para la estimulación cognitiva	72

5.2 Elementos de imágenes multimedia para la estimulación cognitiva	73
5.3 Elementos de vídeo multimedia para la estimulación cognitiva .	73
5.4 Tabla información general de los participantes	74
5.5 Resumen de duración en la sesiones de trabajo con usuarios del Instituto de la Memoria	76
5.6 Listado de preguntas de la prueba Likert	78
5.7 Puntaje del efecto de reminiscencia	79
5.8 Resultados duración y orden de los elementos multimedia . . .	80
5.9 Resultados sobre la experiencia de usuario	81
5.10 Resumen de la información emocional	82
5.11 Nivel de pertenencia de la componente energía	85
5.12 Nivel de pertenencia del componente agrado	86
5.13 Resumen del conjunto de reglas difusas	88
5.14 Tabla de recomendaciones multimedia con el enfoque top- <i>n</i> . .	91
5.15 Elementos mejor calificados por el usuario 1	92
5.16 Recomendación multimedia para el usuario 1	92
5.17 Recomendaciones para U2	93
5.18 Recomendaciones para U3	93
5.19 Recomendaciones para U4	93
5.20 Tabla de frecuencias de las recomendaciones generadas por el sistema	94
A.1 Similitud de vídeos del usuario 1	100
A.2 Similitud de vídeos del usuario 2	100
A.3 Similitud de vídeos del usuario 3	101
A.4 Similitud de vídeos del usuario 4	101
A.5 Similitud de audios del usuario 1	101
A.6 Similitud de audios del usuario 2	102
A.7 Similitud de audios del usuario 3	102
A.8 Similitud de audios del usuario 4	102
A.9 Similitud de imágenes del usuario 1	103
A.10 Similitud de imágenes del usuario 2	104
A.11 Similitud de imágenes del usuario 3	105
A.12 Similitud de imágenes del usuario 4	106

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Las emociones juegan un papel importante en las interacciones humano-humano exitosas [Cambria, 2016], pues moldean nuestra conducta, nuestros modales y nuestra imagen ante los demás. Es así que para C. Darwin (1872), “las emociones son una característica innata en los seres vivos, están siempre presentes y afectan en la manera en que nos relacionamos con nuestro entorno y como resultado cambia el modo en el que nos adaptamos al mundo”. En este proceso de adaptación interviene el estado emocional, que es un conjunto de emociones específicas en una persona que permanecen por un periodo largo de tiempo [Picard, 2000]. El estado emocional desempeña un rol muy importante en la vida cotidiana, ha quedado demostrado que influye directamente en las decisiones que tomamos, en el razonamiento y en la atención que prestamos [Costa and Macedo, 2013], es decir; el estado emocional domina nuestra vida. Tal es la importancia de las emociones que en la rama de la psicología existe toda un área dedicada al reconocimiento del estado emocional en la que se han propuesto diversos modelos teóricos que le permiten al profesional la posibilidad de reconocer las diferentes emociones que experimenta una persona bajo ciertas condiciones sociales o culturales. Sin embargo el estudio de las emociones no se limita únicamente al área de la psicología, en la época actual con la explosión de la tecnología en prácticamente todas las actividades del ser humano, uno de los principales campos de innovación está en el desarrollo de sistemas inteligentes que adopten los modelos existentes a sus procesos

para dotar a las máquinas con la capacidad de responder adecuadamente las emociones humanas [Picard, 2003] dando la percepción de que las máquinas pueden sentir emociones. Dada esta situación la psicología se ha unido con diversas áreas de la ciencia para investigar el tema.

Es así que entran las tecnologías modernas como la Inteligencia Artificial (IA) que ha sido una herramienta fundamental en desarrollo de procesos más sofisticados de reconocimiento de emociones. De esta fusión de áreas nace la inquietud de saber si las máquinas podrían ser de utilidad al ayudar a explicar las emociones y por ende el estado emocional. Dado que una máquina no es capaz de sentir una emoción, la mejor aproximación que la IA puede ofrecer es a través de la recolección, el procesamiento y la medición de datos [Picard, 2000]. De esta aproximación nace el cómputo afectivo y los datos es información extraída directamente de la persona y por diferentes medios. Es así que diversas instituciones e investigadores han adaptado modelos psicológicos con IA para crear sistemas afectivos capaces de reconocer, interpretar, procesar y estimular emociones humanas.

Diversas aplicaciones se han desarrollado en el campo de cómputo afectivo, debido a esto muchas instituciones dedicadas al cuidado de la salud se han visto beneficiadas con acuerdos para aplicar sus actividades sistemas afectivos que benefician de los pacientes [Olazarán et al., 2010]. Por ejemplo el proyecto **Activa tu mente** [Navarro et al., 2013] implementado en México dentro de un centro especializado en retardar el deterioro cognitivo. Este consiste en un software interactivo de juegos cognitivos que evalúa el rendimiento de los pacientes durante los ejercicios y permite identificar el nivel de frustración del adulto mayor mientras realiza el ejercicio, para así relacionarlo con el estado emocional y adecuar los ejercicios a su beneficio. Entonces a partir de este software otros proyectos han salido a la luz en México. En específico en el departamento de estudio de postgrado e investigación del tecnológico nacional de México/ IT León existe un laboratorio dedicado al estudio y modelado de emociones con un enfoque a la salud. Ejecutando aproximaciones como la de “Activa tu mente” para proponer una serie de ejercicios personalizados, se muestra posible añadir el factor de las emociones como un componente crucial en los procesos de sistemas computacionales. Este y otros proyectos que intentan generar un impacto social positivo han sido los principales motivadores

de este proyecto. Así en este trabajo de tesis se propone el desarrollo de un sistema de recomendaciones afectivo que intenta tener un impacto positivo en el estado emocional de adultos mayores miembros de una institución mental. Combinando el poder de la IA, y los ambientes inmersivos como la Realidad Aumentada (RA), para crear un sistema afectivo de recomendaciones multimedia. Este sistema mantiene en concepto la idea general de un sistema de recomendaciones normal. Sin embargo, con nuestro enfoque las recomendaciones generadas serán elementos multimedia (i.e. Fotografías, Música y Vídeos) que estimulen positivamente el estado emocional del usuario.

1.2. Planteamiento del problema

El estado emocional de una persona se refleja en la manera que efectúa sus tareas cotidianas, en la manera que enfrenta sus problemas y sobretodo en como se relaciona con su entorno [Cambria, 2016]. En otras palabras, un estado emocional positivo es distintivo de las personas capaces de enfrentar y resolver situaciones de la mejor forma [Morency et al., 2011]. Por el contrario, las personas con un estado emocional negativo suelen caer en cuadros depresivos debido a la dificultad para encontrar soluciones a sus problemas. En este sentido, las personas con deterioro cognitivo son más propensas a desarrollar estos cuadros depresivos [Montés, 2013]. El deterioro cognitivo es un padecimiento no propio, pero si característico de los adultos mayores que entran a la etapa de la vejez. Así mismo, una de las consecuencias del deterioro cognitivo es el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer [Olazarán et al., 2010]. Dicha enfermedad está fuertemente relacionada con la sintomatología de la depresión, por lo que muchos expertos suelen demorarse en su diagnóstico, y por ende en su tratamiento. De modo que detectar a tiempo estos estados emocionales negativos se convierte en un trabajo interesante, pues tiene todo el potencial de convertirse en una asignación que la tecnología moderna puede solucionar.

Sin embargo, detectar emociones resulta complicado, aún para los terapeutas, psicólogos y profesionales en la salud mental en general. Dichos profesionales tienen la consigna de retrasar el deterioro cognitivo y detectar cuadros depresivos con diferentes metodologías [Koumakis et al., 2019]. Una de las

metodologías más importantes son las terapias no farmacológicas (TNF), cuyo propósito principal es la estimulación física y cognitiva de los pacientes. Múltiples instituciones dedicadas a ayudar a los adultos mayores contratan profesionales para que se encarguen entre otras actividades a mantener el estado emocional positivo de los pacientes. No obstante los efectos de un problema marcado por el cambio generacional que se vive en el mundo, donde los adultos mayores pasarán a ser la mayoría de la población comienzan a ser visibles. A causa esto diversas instituciones la incorporación de la tecnología a sus procesos de cuidado, pues los encargados de la salud mental de los pacientes no se dan a basto con sus actividades, por lo que es totalmente posible omitir la detección temprana de la depresión en algún paciente [Olazarán et al., 2010].

En relación con lo anterior, hoy en día y gracias a los avances tecnológicos existen múltiples herramientas basadas en inteligencia artificial que habilitan a las máquinas con la capacidad de interpretar emociones humanas. De manera que, al incorporar el factor emocional como la información principal del sistema, estos generan una respuesta apropiada [Picard, 2000]. Dichas herramientas suponen una gran ayuda al tener el potencial de convertirse en una herramienta para los especialistas para analizar a detalle el deterioro cognitivo. Sin embargo estas herramientas aún consisten en metodologías invasivas, pues dicha información la obtienen a través de distintas fuentes directamente conectadas al sujeto [Matiko et al., 2014] como las opciones que se listan a continuación:

- El ritmo cardíaco.
- La conductancia de la piel.
- La dilatación de la pupila.
- Expresiones faciales.
- Señales en la entonación de voz.
- Señales de electroencefalograma (EEG).

A pesar de esto, se ha comprobado que combinando estos medios y empleando técnicas de IA como lógica difusa, modelos probabilísticos, redes

neuronales, visión por computadora, entre otros, es posible crear sistemas afectivos capaces de integrar interfaces para proveer soluciones interesantes y metódicas que a un especialista podría ayudarle. Entonces tomando en cuenta el razonamiento anterior se han generado las siguientes preguntas de investigación. Mismas que brindarán guía y dirección a este proyecto de tesis.

- ¿Es posible integrar un sistema afectivo en una TNF?
- ¿Los elementos multimedia tienen impacto directo en el estado emocional de una persona?
- ¿Es posible automatizar la generación de recomendaciones multimedia con base en el estado de ánimo?
- ¿Es posible desarrollar un sistema de recomendaciones que con base en el estado emocional del usuario pueda seleccionar secuencias multimedia que influyan positivamente en el estado de ánimo?

1.3. Justificación

Ante la problemática planteada, el uso de la tecnología cobra una importancia significativa, en especial cuándo se trata de atender las necesidades de un sector vulnerable que va en crecimiento. Entonces la elaboración de proyectos con impacto social usando tecnología moderna es fundamental, especialmente si atienden por adelantado situaciones que se presentarán al paso de unos años.

En México el *Consejo Nacional de la Población (CONAPO)* menciona que la transición demográfica joven-adulto será muy grande para los siguientes 20 años [González, 2015]. La densidad de población de jóvenes y adultos mayores serán muy parecidas, con una ligera mayoría de jóvenes. La CONAPO remarca que esta transición es **inevitable e irreversible**. Cuando se revisan los estudios y la bibliografía sobre el envejecimiento en cualquiera de sus tópicos, es natural encontrar un predominio en los aspectos problemáticos, ya que finalmente, las características de la vejez que ocupan y preocupan y que le otorgan importancia al tema son las pérdida de la autonomía y el regreso a la dependencia debido a las obsolescencias sociales, la pérdida en el rol familia,

la incapacidad para el trabajo y la fragilidad ante la salud [Chande, 2014]. Esta manera de ver la vejez predispone un una sensación de enojo y desprecio hacia este sector. Las personas jóvenes optan por no fijarse en asuntos no tan deprimentes, por lo que se dejan de lado los esfuerzos en innovación y desarrollo para los adultos mayores. Por esta situación es importante tomar en cuenta los problemas de este sector. Además que resulta en grandes oportunidades para desarrollar proyectos con soluciones innovadoras a los problemas que este sector en potencia necesitará.

Así mismo como ya se ha mencionado uno de los problemas que más afectan a los adultos mayores es la demencia que es una enfermedad crónico-degenerativa, que se describe como un padecimiento normal en este sector ya que se da por el desgaste neuronal natural. En este sentido las estadísticas de la CONAPO muestran que la principal afección del deterioro cognitivo cae entre el 70% al 80% de los casos en la enfermedad de Alzheimer. Entonces con el desarrollo de sistemas inteligentes ha surgido la inmediata necesidad de brindar soporte al ser humano en distintos aspectos. En este sentido uno de los apartados con mayor relevancia en los sistemas afectivos es detectar, analizar y procesar emociones humanas para brindarle retroalimentación inmediata. Anteriormente este tipo de tecnología además de ser invasiva, tienen la particularidad de que la retroalimentación no es inmediata. Esta situación termina por hacer que los usuarios pierdan el interés por utilizar este tipo de soluciones.

Debido a esto parece ser necesaria una herramientas capaz de detectar estados emocionales, que pueda adaptarse a una TNF no invasiva y que tenga una retroalimentación inmediata. Con estas condiciones iniciales, dicha herramienta cumpliría con los requisitos para convertirse en un instrumento de utilidad para los usuarios, especialistas, cuidadores y familia en general. Teniendo en cuenta lo anterior, lo que se pretende cambiar con esta investigación son las metodologías invasivas que existen para detectar y modelar los diferentes estados emocionales de una persona. Así la utilidad de esta herramienta será permitirle al usuario o a los interesados conocer el estado emocional de una persona. Los mayores beneficiarios del desarrollo este proyecto serán los adultos mayores, pues esta pensado para causar un impacto positivo en su salud mental, retrasando una de las mayores afecciones que padece esta ge-

neración como lo es el deterioro cognitivo y sus consecuencias. Sin embargo también serán beneficiados los especialistas en la salud mental, cuidadores y familiares.

En el siguiente listado podemos observar algunos de los beneficios que esta investigación busca para con los adultos mayores y a continuación en la tabla 1.1 se muestra una breve descripción de los beneficios mencionados en esta lista:

- Aumento en la capacidad de la autopercepción emocional.
- Fortalecimiento en las relaciones personales.
- Estimulación de la propia identidad y autoestima.
- Retraso del deterioro cognitivo.
- Reducción del estrés.

Beneficio	Descripción
Autopercepción emocional	El sistema cuenta con un módulo que te muestra tu estado emocional de una manera gráfica. Este módulo se basa en una metodología educacional para enseñar inteligencia emocional.
Relaciones personales	La metodología se basa en la comunicación oral. Habilidad importante para relacionarnos con otras personas.
Identidad propia y autoestima	La personalización de las recomendaciones multimedia. Refuerza el concepto que los usuarios tienen de sí mismo en función de sus gustos personales.
Deterioro cognitivo	La actividad propuesta para detectar el estado emocional. Está proyectado para requerir un grado de concentración al usuario.
Estrés	Ver y escuchar elementos que te gustan siempre es divertido. Además si se complementa con la libertad de hablar y expresarte libremente es aún mejor.

Tabla 1.1: Beneficios para el adulto mayor.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema afectivo de recomendaciones multimedia sensible a los cambios de estado emocional de una persona dentro de un escenario de estimulación audiovisual.

1.4.2. Objetivo específicos

- Analizar modelos de representación de emociones existentes para su utilización en este trabajo de investigación.
- Investigar soluciones tecnológicas que miden las emociones de forma no invasiva e incorporan el factor emocional en sus decisiones.
- Proponer y desarrollar un sistema de recomendaciones multimedia como base de un sistema afectivo.
- Demostrar el potencial del sistema afectivo con respecto a su capacidad de respuesta (sensibilidad) ante cambios en las emociones humanas.

1.4.3. Objetivos metodológicos

- Consumir los servicios web de la IA Watson IBM para traducir la voz del paciente a texto y analizar el estado emocional de la frase.
- Utilizar un ambiente inmersivo basado en RA que muestre elementos visuales multimedia (fotografías, música y vídeos).
- Ampliar las actividades realizadas en un escenario de terapia no farmacológica proponiendo el uso del agente inteligente y el ambiente de realidad aumentada.
- Establecer el conjunto de reglas difusas que servirán para la generación de planes de estimulación emocional personalizada.
- Diseñar un volante informativo que sirva al usuario de instructivo para utilizar el agente inteligente y el ambiente de realidad aumentada.

1.5. Hipótesis

Es posible detectar los cambios de estado emocional de una persona que es estimulada con elementos audiovisuales de distinto tipo.

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

El desarrollo de un sistema de recomendaciones multimedia que considera el componente emocional podría ser aplicado en diferentes entornos para detectar el estado emocional de los usuarios en diferentes ámbitos; por ejemplo alumnos en un salón o en el ámbito de la salud integrando el sistema dentro en una interacción con adultos mayores con deterioro cognitivo.

- La presente investigación explorará la viabilidad de integrar realidad aumentada en una actividad de estimulación cognitiva en el instituto de la memoria, fundación Alzheimer León.
- Con el módulo de detección de estado emocional se pretende que esta sea una herramienta que apoye al especialista y familiares a detectar rápidamente estados emocionales negativos.
- Con el modulo de recomendaciones multimedia la utilidad está pensada para conocer los gustos personales del usuario y recomendar elementos de su agrado.

1.6.2. Limitaciones

El uso del sistema de recomendaciones multimedia puede no estar pensado para las personas con problemas de comunicación en el habla o de alguna enfermedad que reduzca la interacción con la aplicación de realidad aumentada.

Otras limitantes del proyecto son:

- Falta de interés por parte de los especialista para adaptar esta tecnología dentro de sus terapias.
- La investigación abarca únicamente adulto mayores con deterioro cognitivo bajo.
- Entorno inadecuado para realizar las actividades que requieren prestar un nivel de atención.

1.7. Organización de la tesis

Entonces en este trabajo de tesis se presenta el diseño de un sistema de recomendaciones multimedia que está comprendido por 4 módulos que trabajan en conjunto para detectar el estado emocional de los usuarios miembros del instituto de la memoria (Fundación Alzheimer de León), dichos módulos se detallan más adelante en el capítulo 4. En el capítulo 2 presentamos el marco teórico que contiene todos los conceptos necesarios para delimitar el contexto bajo el que se trabaja. Además de mencionar las herramientas que permitieron lograr el objetivo de este trabajo. En el capítulo 3 a través del estado del arte se presenta una revisión a detalle de las investigaciones recientes que anteceden a este trabajo, resaltando bajo que perspectiva abordaron el tema de la detección de emociones y los puntos más fuertes que motivaron cada proyecto. En el capítulo 4 como ya se mencionó, se describe el desarrollo del sistema de recomendaciones. Esto implica la descripción a detalle de los módulos que componen el sistema. Además se hace hincapié en la manera en la que estos módulos procesan la información hasta llegar al resultado (la recomendación), logrando detectar en el transcurso de este proceso el estado emocional del usuario. Posteriormente en el capítulo 5 se muestra el diseño del experimento a través de las pruebas realizadas en el instituto de la memoria. Aquí se describe la metodología para la obtención de datos, mismos que serán procesados por el sistema. Así podremos pasar en el mismo capítulo a la sección de los resultados, donde se discuten las situaciones observadas a partir de la implementación del sistema. Por último en el capítulo 6 analizamos las conclusiones del trabajo, se mencionan los principales hallazgos de la investigación, se genera una discusión a partir de la sugerencia de futuras implementaciones.

Capítulo 2

Marco teórico

“Las emociones determinan la calidad de nuestras vidas. Estas ocurren en cada relación que nos importa, en el trabajo, con nuestras amistades, en los negocios y con los miembros de nuestra familia. Las emociones pueden salvarnos la vida, pero también pueden causarnos verdadero daño” - Paul Ekman.

En este capítulo se describen los conceptos y teorías que respaldan el proyecto. El objetivo principal es acordar con el lector la terminología técnica para comprender los conceptos empleados a lo largo de este proyecto, por ello no se asume que el lector tiene conocimientos del tema. Entonces, la organización de este capítulo se encuentra dividida en secciones. La sección 2.1 se mencionan los conceptos y la idea general que debemos conocer sobre las emociones y el estado emocional. Por otro lado en la sección 2.3 se menciona el cómputo afectivo y algunas teorías y modelos acerca del análisis de sentimientos. Esta sección es el primer aspecto tecnológicos del proyecto, pues aquí se plantea la base teórica del sistema. Una vez hecha la introducción tecnológica las secciones subsecuentes se dedican a explicar los temas detrás del sistema de recomendaciones multimedia y su puesta en escena, es así que en la sección 2.4 refiere a la lógica difusa, que en términos general es la herramienta que sirve como un puente entre la inteligencia artificial y la detección del estado emocional. Siguiendo esta tónica la sección 2.5 toca el punto de los sistemas de recomendaciones comenzando con una introducción al concepto y al uso de los mismos. Para finalizar esta capítulo en la sección 2.6 se especifican características importantes que hacen de este proyecto un tema de interés en

la rama de los ambientes inteligentes.

2.1. Teoría de las emociones

Las emociones son un tema de investigación y análisis complejo estudiado desde hace siglos. Particularmente estas se definen como: "*La consecuencia de un sentimiento o de la captación de una situación que genera un cambio en el comportamiento y en la fisiología de quién lo experimenta*" [Meftah et al., 2012]. En otras palabras la emoción es una respuesta psicológica compleja que experimentamos como resultado de nuestras interacciones con nuestro entorno. Estas respuestas a eventos deben ser importantes para el individuo por lo que debe estar consciente de dichas emociones, pues las emociones son experiencias subjetivas cuyo núcleo está en la experiencia del placer o dolor y como resultado de esta evaluación la conciencia estructura el significado de la situación [Frijda, 1988]. Así entonces las emociones son un ámbito de investigación tan profundo como estudiar la conciencia que desde hace siglos ha sido estudiada. Su complejidad ha hecho que sea difícil definir las y entender su funcionamiento. Por ejemplo Darwin (1872) aseguraba que las emociones en algún punto de la evolución sirvieron como un método de supervivencia y comunicación de intenciones. Darwin también pensaba que las emociones son innatas, universales y que dejan ver las cualidades de una persona. Así dada esta dificultad por definir las emociones la comunidad científica se ha preguntado a lo largo del tiempo ¿Porque tenemos emociones? ¿Qué causa que tengamos emociones? Y de estas preguntas surgen diversas teorías. En particular estas teorías podemos agruparlas en tres categorías:

- Teorías fisiológicas.
- Teorías neurológicas.
- Teorías cognitivas.

Las teorías fisiológicas proponen que las respuestas dentro del cuerpo son las responsables de las emociones. Las teorías neurológicas argumentan que la actividad dentro del cerebro conduce a las respuestas emocionales y las cognitivas proponen que los pensamientos y otras actividades mentales juegan

un rol crucial en la formación de emociones. Diversos trabajos de investigación se apoyan fuertemente en una u otra teoría dentro de estas tres categorías, aunque no necesariamente lo hacen por completo en solo una teoría, trabajos actuales toman lo mejor de estas ramas y lo aplican en su trabajo. Entonces una vez que se ha tomado una base teórica de la emoción, el siguiente paso es encontrar una forma de modelarlas, pues debemos recordar que las emociones son un ámbito puramente psicológico, entonces es el deber del investigador encontrar la manera darle un significado a una emoción. Por ello existen 2 modelos principales que brindan la posibilidad de convertir una respuesta fisiológica en datos que se pueden interpretar.

2.1.1. Modelo emocional del circunflejo

Diversos trabajos de investigación se han enfocado en diseñar representaciones de emociones para poderlas reducir a un conjunto finito buscando demostrar que todos los seres vivos experimentamos al menos un conjunto similar de emociones. En relación con esto se ha generado una numerosa cantidad de propuestas de emociones básicas, de las cuales unas han sido aceptadas y utilizadas por la comunidad científica y otras tantas han quedado relegadas. A causa de ello nació el concepto de la clasificación de las emociones y esta clasificación depende del modelo o del conjunto de emociones básicas que el investigador toma como base. En particular en este proyecto consideran dos clasificaciones de las emociones, la primera es la propuesta por R. Plutchik en [Plutchik, 1980] con el modelo del circunflejo. Este modelo promueve el uso de un espacio 3-dimensional que describe la relación entre las diferentes emociones. En resumen propone ocho emociones básicas organizadas en pares opuestos (*felicidad-tristeza, miedo-enojo, sorpresa-anticipación, disgusto-confianza*) que se convierten en un vector emocional. Plutchik propone dos dimensiones en las cuales se pueden representar estos vectores. La primera dimensión corresponde al eje de las ordenadas y representa el grado de intensidad o excitación que experimenta el usuario con alguna emoción. La segunda dimensión en el eje de las abscisas marca el grado de valencia o dominio que muestra el usuario sobre la emoción y el tercer eje representa la similitud entre emociones. En la figura 2.1 se observa dicho modelo en una

representación 2-dimensional.

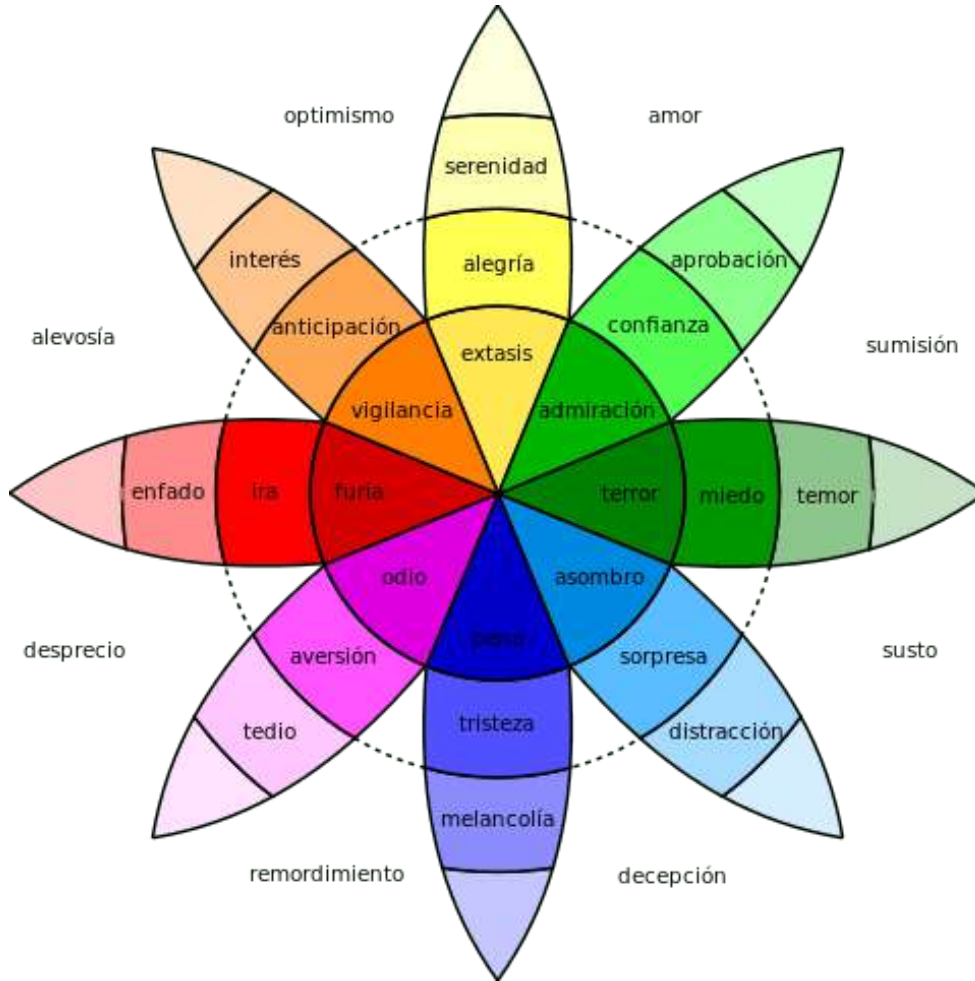


Figura 2.1: Ejemplo del modelo del circunflejo del Plutchik en 2D [Plutchik, 1980].

Entonces reutilizando el conocimiento sobre la teoría del color donde la mezcla de colores retornar un nuevo Plutchik propone que las emociones no básicas se pueden obtener agregando combinaciones de emociones básicas [Plutchik, 1960]. Bajo este esquema para obtener una emoción no básica como el remordimiento, esta surge de la siguiente combinación dentro de su modelo: *remordimiento = tristeza + disgusto* y para obtener desprecio la combinación debería ser la siguiente: *desprecio = disgusto + enojo*. Para crear estas combinaciones Plutchik definió una serie de reglas para construir emociones complejas a partir de las básicas. En la práctica, la combinación de estas emociones se conoce como el método de las "*diadas y triadas*" [De Bonis, 1976]. Del modelo se definen las primeras diadas como la mezcla de dos emociones

básicas adyacentes. Las diadas secundarias incluyen las emociones del paso anterior más las emociones que están dentro de la rueda de emociones. Por último una emoción terciaria esta dada por la mezcla de las emociones de los dos pasos anteriores. Por ejemplo para obtener la emoción de sorpresa, la combinación es la siguiente: *sorpresa + enojo = desprecio*.

2.1.2. Modelo emocional Big Six

El segundo modelo es el conjunto de emociones más popular llamado *Big Six* o las grandes seis emociones usadas en la investigación de Paul Ekman en [Ekman and Davidson, 1994]. Dichas seis emociones son: *felicidad, tristeza, miedo, sorpresa, enojo y disgusto*. En su investigación indican que hay dos maneras para modelar las emociones, por medio de una aproximación dimensional o categórica. Este ha sido el modelo más popular pues se basa únicamente en la proposición de seis emociones básicas que se pueden adaptar a las diferentes categorías dentro de la teoría de las emociones. Así, gracias a la flexibilidad que aporta Ekman con su modelo, llega otra perspectiva para modelo del circunflejo, propuesto por Russell (1980), el cual explica la relación entre emociones y dos componentes dimensionales donde la relación esta basada en la experiencia emocional para clasificar las emociones. Por otro lado los componentes dimensionales son la valencia de la emoción y la intensidad de la emoción. En diversos trabajos dichos ejes han cambiado, por ejemplo en [Adolphs et al., 1999] estos son la valencia y dominio de la emoción o también los componentes pueden cambiar como en [Mostafa et al., 2016] donde los ejes dimensionales son medidos a través de la energía con la que se expresa la emoción y agradabilidad.

2.2. Inteligencia emocional

Reconocer emociones propias es una actividad difícil, desarrollar la capacidad de la autopercepción conlleva tiempo de preparación y un excelente auto conocimiento y regulación. Desarrollar estas habilidades compone el concepto de inteligencia emocional (EI). La IE ha sido definida como la habilidad casi tan importante como la inteligencia medida a través del IQ [Cambria, 2016].

Las personas a la hora de atender sus sentimientos deben tener claridad sobre los mismos y ser capaz de regularlos adecuadamente [Mayer et al., 2002]. Desde que apareció este concepto mucho se ha estudiado sobre el tema que muestra ser importante, pues hay un creciente interés por desarrollar programas que estimulen el desarrollo de las capacidades que la IE plantea, por ejemplo la creación de una metodologías que ayuda a desarrollar la auto-percepción emocional en niños a partir de una cuadrícula afectiva dividida que en cuatro secciones permite identificar diferentes estados emocionales [Nathanson et al., 2016]. También existen programas educativos como el propuesto por [Rivers et al., 2013] para identificar el clima emocional en aulas de clases y a partir de esta detección mejorar dichas habilidades en la IE. Con esta muestra el resultado es que en algún momento las máquinas deberán ser capaces de comprender"las emociones humanas para así poder ayudar a desarrollar programas como los ya mencionados y automatizar estos procesos, así como ayudar al ser humano a entender sus propias emociones. Con lo anterior en mente es importante mencionar que para el manejo de la IE se debe tener en cuenta diferentes consideraciones, es decir; contar con un modelo emocional para trasladar el aspecto psicológico en datos que se puedan medir con los test de IE propuesto por Salovey y Mayer. También se asume que los componentes principales para llevar a cabo esta tarea son: i) la adecuada percepción de los estados emocionales; ii) comprensión de su naturaleza; iii) regulación de las emociones; todo ello aplicado tanto en las emociones propias como en las ajenas [Ferragut and Fierro, 2012].

2.2.1. Metodología de RULER para la enseñanza de inteligencia emocional

En relación con el manejo de la inteligencia emocional, en la literatura se presentan diversas aproximaciones metodológicas para su enseñanza, porque esta demostrado que las personas con las mayores competencias sociales y emocionales presentan mejores resultados en múltiples dominios, incluyendo logros educacionales y después logros laborales [Jones et al., 2011]. El campo del aprendizaje social y emocional o SEL por sus siglas en inglés *Social and Emotional Learning* esta consolidado en la teoría de la inteligencia

emocional mencionada anteriormente. SEL provee un marco de trabajo para desarrollar sistemáticamente las competencias sociales y emocionales. Específicamente SEL cubre el proceso que corresponde a la percepción y regulación emocional.

RULER es una metodología basada en un conjunto de prácticas de SEL para ser aplicada rápidamente en una escuela, institución o distrito (Brackett y Rivers, 2013). RULER es un acrónimo en inglés que representa cinco habilidades: *reconocimiento* de emociones propias y de otros, *entendimiento* de las causas y consecuencias de las emociones, *etiquetado* de las emociones con un amplio y preciso vocabulario, *expresión* de emociones constructivas y *regulación* efectiva de las emociones.

La metodología de RULER consiste en un conjunto de *herramientas de anclaje*, que introducen las habilidades de la IE a través de su práctica constante en el lugar donde se aplique. La herramienta insignia de esta metodología es el *medidor emocional*, con esta simple herramienta se construyen y aprovechan las habilidades de la IE en muchas maneras [Brackett et al., 2006]. Consiste en una cuadrícula de cuatro cuadrantes que representan dos dimensiones del estado emocional: la **valencia** (presentada en el eje X como la *agradabilidad*) y la **excitación** (de baja hasta alta energía, representada por el eje Y; Russell y Barrett, 1999). La funcionalidad de esta herramienta puede ser tan sencilla o compleja como se requiera y es que los cuatro cuadrantes mencionados asocian un estado emocional con un código de colores; por ejemplo el cuadrante de color rojo abarca las emociones relacionadas con el enojo, el amarillo con la alegría, el azul con la tristeza y el verde con la calma (vea 2.2). Aunque el proceso de trazado de la emoción en la cuadrícula se vuelva muy complejo, el objetivo de esta herramienta no cambia ya que de una manera veloz se puede convertir el color en palabras con un significado sentimental.

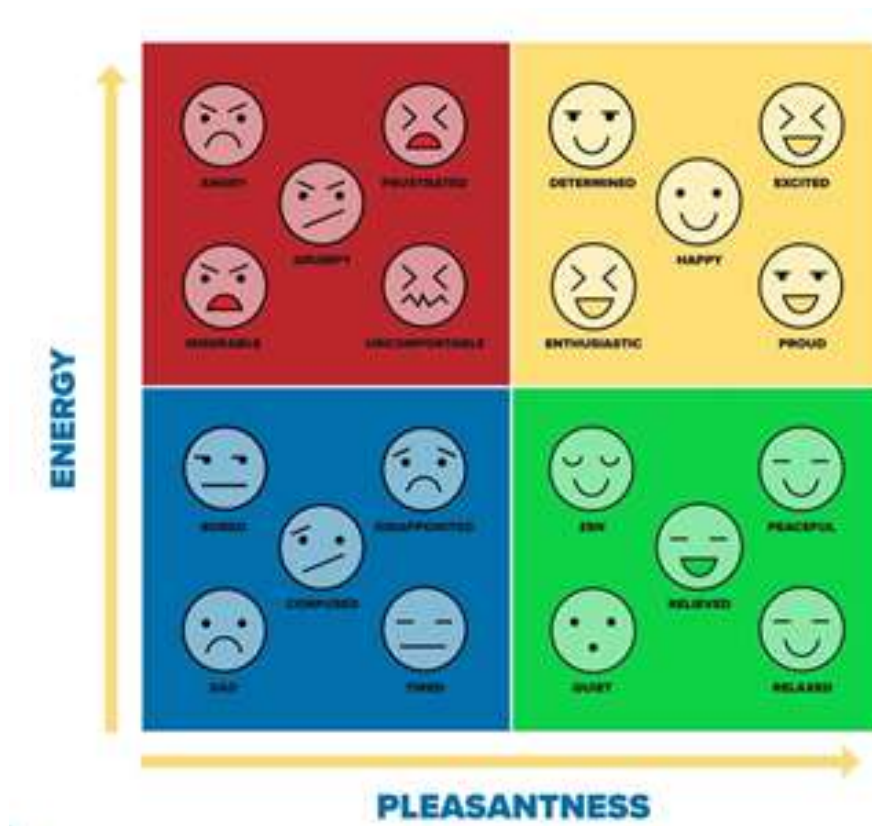


Figura 2.2: Ejemplo de la cuadrícula afectiva del medidor emocional RULER [imagen]. Recuperado de <https://webstockreview.net/image/clipart-ruler-metre-ruler/1078240.html>.

Las otras tres herramientas de RULER son: i) *el cartero* que es un acuerdo para establecer un ambiente productivo de trabajo y acordar en comunidad como se quiere sentir el grupo, ii) *el meta-momento* es un proceso para extender el tiempo entre un detonante emocional y la respuesta hacia el, iii) *el plan de trabajo* es una guía que ayuda manejar el conflicto desde una perspectiva de análisis de las causas y consecuencias del comportamiento.

2.3. Cómputo afectivo y análisis de sentimientos

La siguiente frase es atribuida a Rosalind Picard: “Las computadoras han comenzado a adquirir la habilidad de expresar y reconocer el afecto, y muy pronto se les dará la habilidad para tener emociones”. Desde el punto de vista de Picard (2019) el ámbito del estudio de las emociones parecen tener un estigma por la comunidad científica, ya que aparentemente estas se consideran como un concepto naturalmente *no científico* debido a la carencia de

métodos que puedan ser cuantificados. Sin embargo es posible argumentar que los principios científicos, de argumentos lógicos, de hipótesis medibles y experimentos repetibles, todos han sido impulsados por la curiosidad, la frustración y la emoción asociada a un nuevo descubrimiento [Cambria, 2016]. En cierta forma se puede decir que la mayoría de las investigaciones han comenzado por el miedo. Entonces, si en buena medida grandes investigaciones han comenzado por un impulso emocional, ¿Porque no traer la emoción como una herramienta vital para la ciencia? Con esta pregunta Rosalind Picard en [Picard, 2000] promueve el concepto del cómputo afectivo para el desarrollo de sistemas que incluyan el factor emocional en sus decisiones.

Esta área establece el análisis y creación de sistemas inteligentes que reconocen, interpretan, procesan y estimulan las emociones humanas, es decir; computadoras que sean capaces de establecer una interacción natural con las personas a través de respuestas acordes a los sentimientos. Por consecuencia es necesario mencionar el concepto del análisis de sentimientos. Está basado en la psicolingüística y algoritmos computacionales para estudiar las emociones y posteriormente transformar la información en términos que una computadora pueda comprender. Dichos métodos son muy diversos y anteriormente hemos descrito algunos. Por ejemplo el medidor emocional de la metodología de RULER, que a través de dos componentes cuantitativas (energía y agrado) es posible hacer entender a una computadora el estado emocional de una persona. Entonces el cómputo afectivo se reduce a dos objetivos: i) encontrar una metodología para detectar el estado emocional y ii) utilizar un algoritmo o método que permita convertir datos cualitativos en información cuantitativa. Con esto en mente se busca lograr la meta de modelar las emociones humanas y dotar a una máquina con la habilidad de responder acorde a dichas emociones.

2.4. Lógica difusa

La lógica es una ciencia formal que estudia la estructura o formas del pensamiento humano para establecer leyes y principios válidos para obtener criterios de verdad [Zadeh, 1996]. Sin embargo habría que decir también que no existe solamente un tipo de lógica. En la actualidad se identifican 4 grandes

tipos de lógica; por ejemplo i) la lógica filosófica que establece los procesos del pensamiento correcto, ii) la lógica formal que se utiliza en sistemas deductivos y semántica formal para las inferencias técnicas, iii) la lógica clásica o aristotélica que se basa en los estudios del filósofo Aristóteles para establecer una forma común de pensar que lleva a reducir cualquier afirmación a dos estados de veracidad y, iv) la lógica difusa que muestra que para el ámbito humano existe más de dos estados de veracidad. La creación de este último tipo se le atribuye al matemático Lofti A. Zadeh en su trabajo introductorio a este concepto [Zadeh, 1965]. Zadeh define a la lógica difusa como “un conjunto de objetos con diferentes grados de membresía en un rango continuo” [Zadeh, 1996]. Generalmente estos conjuntos están caracterizados por una función llamada *función de membresía* que asigna a cada objeto un valor cuantitativo que representa el grado de membresía o pertenencia de dicho objeto a un grupo o clase en el rango continuo de $[0, 1]$. Las bases de este concepto están fundamentadas en la teoría clásica de conjuntos, por lo que operaciones como la inclusión, unión, intersección y complemento son una extensión de las propiedades de estas operaciones.

En muchos casos las clases a los que pertenecen los objetos en el mundo real no están definidos precisamente bajo un criterio de membresía, por ejemplo; la clase de animales incluye claramente perros, caballos, aves, etc. Sin embargo hay elementos como las estrellas de mar o las bacterias que tienen un estatus ambiguo con respecto a la clase de los animales y por ende sería dudoso clasificarlos dentro de un conjunto específico. En el ámbito semántico estas clases pueden ser aún más ambiguas; por ejemplo la clase a la que pertenecen los *hombres altos* o *mujeres bellas* son grupos que no constituyen clases o conjuntos que en la matemática clásica tengan sentido. Para ello Zadeh propone trabajar con la imprecisión de lo que hemos definido como *clases* o grupos. Entonces la lógica difusa en concepto nos permite trabajar con estados de veracidad parciales, así un elemento u objeto puede pertenecer a más de un conjunto utilizando un valor que indique el grado de pertenencia a dicho conjunto. Por ello la lógica difusa esta centrada en modelar el razonamiento de la computadora con el tipo de imprecisión e indecisión que se encuentra en el razonamiento humano [Cox, 1993]. Entonces a través de la lógica difusa, un sistema no solo puede representar conceptos tan impre-

cisos como *Rápido*, *Alto*, y *Caro*, sino que utilizando un conjunto de sólidos principios matemáticos, también puede utilizar estos conceptos para hacer deducciones sobre un sistema. Por ejemplo, en el campo del control de procesos, el concepto de lógica difusa ha probado ser muy efectiva en modelos complejos [King and Mamdani, 1977] así como en sistemas con modelos no lineales. Este modelado puede implementarse sin un modelo matemático, y se basa en una representación aproximada de las decisiones de control y su comportamiento que cambia a medida que el sistema se alimenta de valores de entrada [Cox, 1993].

El modelo convencional de un sistema que incorpora lógica difusa (vea figura 2.3) usualmente toma la forma de un sistema iterativo, esto significa que a medida que alimentamos al sistema con valores normalizados (i.e. Valores entre cero y uno), el sistema pasa por una serie de procesos para convertirlos en representaciones difusas y producir una región difusa para cada situación.

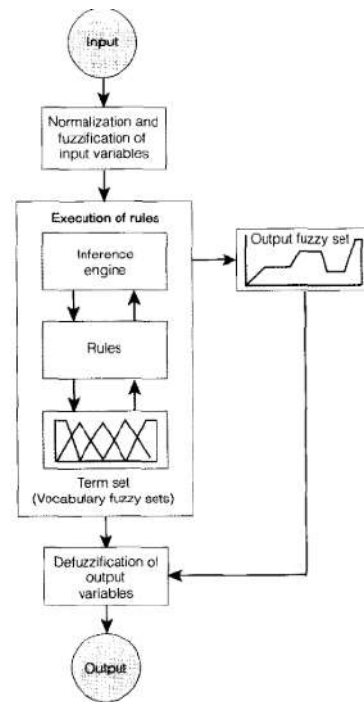


Figura 2.3: Diagrama de un sistema difuso convencional que normaliza y convierte sus valores de entrada en formas difusas, ejecuta la reglas difusas y *defusifica* el resultado en conjuntos difusos,[Cox, 1993].

La consecuencia de generar estas regiones difusas es que permiten encontrar un valor para cada variable de solución. La solución variable es el control que se aplica al proceso y las reglas de control se ejecutan para cada elemento que pase por el sistema difuso. Dichas reglas tienen la forma de sentencias *Si-Entonces* que son procesadas en cada iteración para generar un resultado. A continuación en la siguiente lista se indican los conceptos más importantes a tener en cuenta para desarrollar un sistema con lógica difusa:

- **Premisa:** una condición que debe ser probada como cierta para que se produzca una acción consecuente, como en una típica declaración de *SI... ENTONCES*. En los sistemas difusos, las premisas tienen cierto grado de verdad en lugar de ser completamente verdaderas o completamente falsas.
- **Consecuente:** es la acción tomada por el sistema difuso cuando la premisa de la regla difusa es verdadera. El consecuente determina el espacio de la región difusa que eventualmente se usará para el valor de la solución variable.
- **Superficie de control:** es una superficie hipotética creada para que las reglas difusas interactúen con los conjuntos difusos. Una superficie de control provoca una respuesta del sistema a partir de un conjunto de valores de entrada.
- **Dominio:** el valor del eje horizontal de un conjunto difuso. El dominio es un conjunto de números reales dentro de los límites del conjunto difuso.
- **Proposición difusa:** es una declaración de relaciones difusas en la forma, x es Y , donde x es una variable escalar (como la temperatura) e Y es un conjunto difuso con x , como *Caliente*. Una proposición difusa se evalúa en términos de su grado de verdad, que puede ser un valor en el intervalo $(0, 1)$.
- **Conjunto difuso:** un tipo especial de conjunto que admite una pertenencia parcial. Un conjunto difuso mide la compatibilidad entre un valor en el dominio del conjunto y el concepto soportado por el conjunto. Esta

compatibilidad también se interpreta como un grado de pertenencia en el intervalo $(0, 1)$.

2.4.1. Sistemas controladores difusos

Una vez que se reconocen los elementos que componen un sistema difuso, el siguiente paso es identificar un problema que no necesariamente tiene un modelo matemático que lo resuelva. Dichos problemas son más comunes de lo que pensamos, pues son aquellos que requieren tomar decisiones con base en la experiencia y la intuición. A menudo para resolver un sistema o proceso complejo es necesario investigar las estrategias de control empleadas por el humano para resolver la situación. En muchos casos el operador humano puede controlar esta complejidad más efectivamente que un sistema automático; donde su experiencia y dificultades pasadas pueden ofrecerle información para evaluar la situación y con ello tomar mejores decisiones [King and Mamdani, 1977]. De este razonamiento surge la estrategia “El proceso operativo de control” que esta basada en considerar un conjunto de reglas de decisiones heurísticas o “Reglas generales” para incluirlas en las acciones del sistema difuso [King and Mamdani, 1977].

Estas reglas generales se obtienen a través de la observación, discusión y recomendaciones del operador quien es el experto en el proceso de control. Entonces, como resultado del proceso anterior se obtiene un conjunto de “reglas de control” o también conocidas como “reglas heurísticas”. Este conjunto de reglas son naturalmente expresiones *cualitativas*, pues vienen dadas en un formato lingüístico humano coloquial, por lo que para un sistema de control de procesos el conjunto de decisiones que debe tomar en cuenta resulta complicado de procesar. Por ello es transformar dicho conjunto a expresiones *cualitativas* a expresiones *cuantitativas* es un proceso que hace importante al concepto de lógica difusa. Por lo tanto para solucionar esta situación surgen los sistemas de control difuso cuya función principal es ser una herramienta capaz de trasladar la experiencia humana a la automatización de procesos [Takagi and Sugeno, 1985]. Esta automatización es alcanzada a través de sintetizar reglas de control que provee una persona a expresiones *lingüísticas* que entiende una computadora. En esencia, la integración de lógica difusa a un

sistema de control es un proceso de ciencia de datos en el que es necesario un pre-procesamiento (vea la figura 2.4) de la información para asegurar que los datos están en el mismo formato. Después la figura nos muestra un bloque de post-procesamiento una vez utilizadas las herramientas de lógica difusa. Es en este post-procesamiento donde el sistema comienza a tomar decisiones basadas en los resultados del bloque intermedio.

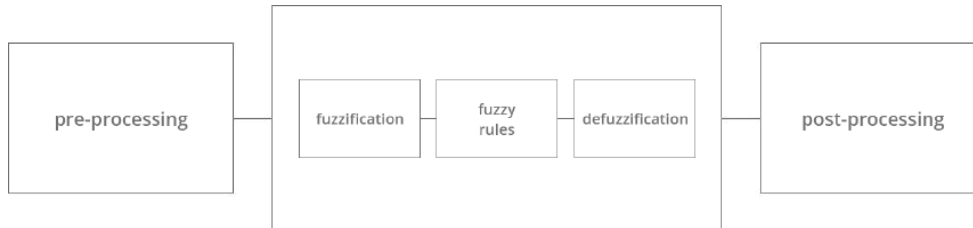


Figura 2.4: Ejemplo de un sistema controlador difuso.

Entonces para desarrollar un controlador difuso es necesario conocer el universo de discurso, mismo que surge a partir de la definición de los rangos donde residen la totalidad de los elementos. Por ejemplo, supongamos que en un salón de clases el universo de discurso es la altura de los estudiantes donde $R_x = 1.5, 2.0$ es el rango de la variable que expresa la altura de los estudiantes en metros. Después requerimos de una función de membresía $\mu(x)$ que establezca el grado de pertenencia de un elemento a los diferentes conjuntos en cuestión. Dichas funciones tienen un dominio con valores reales en el rango $\mu(x) \in [0, 1]$ donde 0 es una pertenencia nula y 1 una pertenencia total. En cuanto a las funciones de membresía existen muchas opciones, las más utilizadas son la función triangular y trapezoidal que tienen la estructura de la figura 2.5. Generalmente estas funciones cumplen con las siguientes características:

- Cuentan con un núcleo: $n(A) = \{x | \mu_a(x) = 1\}$.
- Fronteras o límites superior e inferior: $f(A) = \{x | 0 < \mu_a(x) < 1\}$
- Soporte : $s(A) = \{x | \mu_a(x) > 0\}$.

Para el desarrollo de este proyecto el sistema difuso utiliza funciones de membresía triangulares, las cuales se definen utilizando tres parámetros (a, b, c) .

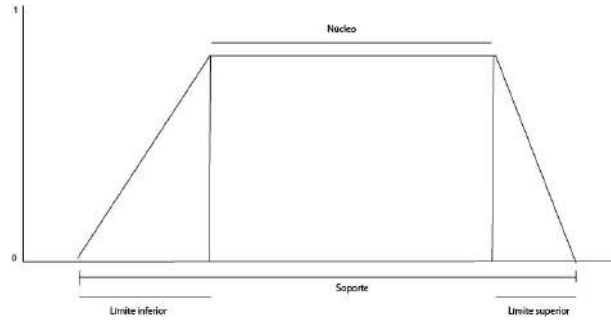


Figura 2.5: Estructura de una función de membresía trapezoidal.

Así la función de distribución se comporta como se muestra en la ecuación 2.1.

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ x - a, & a \leq x \leq b \\ b - a, & b \leq x \leq c \\ c - x, & x \geq c \end{cases} \quad (2.1)$$

Cuando se tiene un conjunto de reglas de control el siguiente paso es establecer un sistema de inferencia difusa. Estos sistemas se utilizan para capturar el conocimiento de los expertos, es decir; que se encargan de almacenar los principales componentes de la experiencia humana en un conjunto de reglas de decisión a partir de las reglas de control y realiza un razonamiento difuso para inferir el valor de las salidas. Los componentes de la experiencia humana son reglas de control dadas por un experto que esta fuertemente ligado con el conocimiento a priori del proceso en cuestión. Entonces el sistema de inferencia difusa utiliza las reglas de control que son expresadas en sentencias del tipo SI-ENTONCES para relacionarlas con su correspondiente función de membresía.

El método de Mamdani (1975) es el sistema de inferencia difusa más utilizado y aceptado para capturar el conocimiento de los experto debido a que utiliza las reglas de control del tipo *SI-ENTONCES* cuya naturaleza es interpretable e intuitiva. La fortaleza de este método contra otros está en el proceso de fuzzificación y defuzzificación de la entrada y salida de datos respectivamente. El proceso de **fuzzificación** se encarga de convertir las variables de entrada obtenidas del bloque de pre-procesamiento en representaciones difu-

sas para ser comparadas con las premisas del conjunto de reglas de control [Bowles and Peláez, 1995] para que la función de membresía identifique el rango al que corresponde estas variables con la expresión lingüística del subsecuente en las reglas. De este proceso el sistema genera una conclusión difusa, que es el resultado del proceso de control expresado aún en términos lingüísticos. Sin embargo esta conclusión se utiliza en el proceso de **defuzzificación**. En este proceso el sistema crea una clasificación del conjunto de conclusiones difusas para expresar el resultado. En [Bowles and Peláez, 1995] se menciona que el proceso de defuzzificación necesita poder:

1. Descifrar el significado de las conclusiones difusas y los valores de la función de membresía.
2. Resolver posibles conflictos entre dos resultados que puedan dispararse durante la fase de evaluación de las reglas de control.

Así mismo para considerar correcto el proceso de defuzzificación; este debe:

- Resultar en un rango continuo de valores.
- Todas las reglas de control deben haber sido procesadas durante el tiempo de evaluación de reglas.

Así el proceso de defuzzificación crea una clasificación del conjunto de conclusiones difusas para expresar la salida del sistema en términos cuantitativos. Se recomienda el método Mamdani en sistemas de soporte a usuarios, ya que este es más flexible en su diseño pues no existe un camino sistemático para transformar la experiencia del conocimiento humano de expertos a una base de conocimiento de inferencia difusa. Entonces mantener un alto grado de adaptabilidad es necesario para aceptar los resultados con un rango razonable de error. En términos generales [Kaur and Kaur, 2012] los sistemas de inferencia difusa y por consecuencia los sistemas difusos son muy útiles en dos contextos generales: i) en situaciones que involucran sistemas altamente complejos cuyo comportamiento no es bien entendido, y ii) en situaciones en las que se requiere una solución aproximada pero rápida.

2.5. Sistemas de recomendaciones

Los sistemas de recomendaciones (SDR) ayudan a los usuarios a encontrar elementos que podrían apreciar dentro de un gran catálogo de opciones [Candillier et al., 2009]. De acuerdo con [Adomavicius and Tuzhilin, 2005], los SDR tendrán un crecimiento exponencial en las próximas dos décadas. Entonces el objetivo de estos sistemas es ayudar a los usuarios a encontrar elementos de interés dentro de un amplio espectro de opciones. Estos elementos pueden ser de cualquier tipo como películas, música, libros, noticias, bromas y restaurantes. En este contexto la meta es ayudar a los usuarios a encontrar elementos que puedan parecer interesantes basado en algún tipo de información, dicha información puede ser; por ejemplo preferencias históricas sobre cierto tipo de producto. Por lo tanto es comprensible pensar que estos sistemas tienen un apoyo particular por el sector comercial que se dedica a la transacción de productos para recomendar los mejores elementos dentro de su catálogo.

Para que un SDR funcione correctamente este necesita primordialmente la retroalimentación; es decir que necesita información de vuelta para hacer sus recomendaciones o mejorarlas. Por lo tanto estos sistemas utilizan diferentes medios para obtener dicha información. Por ejemplo Netflix la compañía de vídeo en línea obtiene esta retroalimentación a partir de crear las condiciones para que el usuario pueda calificar con un sistema de estrellas el contenido. *Amazon* por otro lado se basa en métodos más explícitos como lo es analizar directamente la opinión del usuario sobre el producto a partir de los comentarios del mismo. Por lo que podemos deducir la idea básica de los SDR es utilizar cualquier medio como fuente de información para inferir los intereses del cliente. No obstante, aunque la forma en la que se obtienen los datos del usuario solo esta limitada por la creatividad de quién vende el producto [Candillier et al., 2009] así entonces los SDR se dividen en tres tipos. Los que obtienen datos a través de la retroalimentación explícita, los que la obtienen a partir de la retroalimentación implícita y por último los que obtienen su retroalimentación de forma híbrida.

En general existen tres tipos de sistemas de recomendaciones basado en filtros:

1. Filtros colaborativos.

2. Filtros basados en contenidos.
3. Filtro híbrido.

Los SDR de filtro colaborativo utilizan un sistema de valoración para los objetos. De este modo los usuarios pueden comparar elementos basados en la valoración que otros usuarios dan al producto para crear la noción de un vecindario de recomendaciones. Los filtros basados en contenidos utilizan la descripción del objeto proporcionada por el usuario para construir un perfil que contenga la información sobre las preferencias del usuario. Las predicciones de este filtro están dadas con base en la proximidad entre la descripción del objeto y el perfil del usuario formado por el sistema. Finalmente los filtros híbridos combinan ambos tipos de información, así las ventajas de los filtros colaborativos y basados en contenidos son explotadas. A continuación la siguiente tabla 2.1 resume de la tabla hecha por [Adomavicius and Tuzhilin, 2005] que lista las principales técnicas que se usan con tres tipos de filtros colaborativos para obtener diferentes resultados.

filtro recomendado	Técnica recomendada	
	Modelo heurístico	Modelo computacional
basado en contenidos	TD-IDF Agrupación	Clasificador bayesiano Árboles de decisión Redes neuronales artificiales
colaborativo	Vecinos cercanos (coseno y correlación) Teoría de grafos	Redes bayesianas Regresión lineal Modelos probabilísticos
híbrido	Combinaciones lineales Esquemas de votación	Redes neuronales artificiales Unificación de modelos

Tabla 2.1: Clasificación de los sistemas de recomendaciones

De la tabla 2.1 podemos mencionar que los filtros colaborativos frecuentemente son implementados en mayor cantidad de veces que los otros dos tipos. Esto se debe a que los resultados que arroja en la mayoría de las ocasiones mejores predicciones. Hay tres principales opciones si se desea implementar un modelo con este filtro; la primera aproximación es basada en usuarios. Aquí se asocia un conjunto de vecinos cercanos con cada usuario para predecir la valoración que el objetivo podría otorgarle a elementos que no conoce; después están los basados en elementos donde se asocia un conjunto de vecinos cercanos para predecir la valoración que un usuario daría a un objeto y por

último los basados en escalabilidad, donde se pretende construir un grupo de usuarios y un grupo de objetos para predecir la valoración de otro grupo de usuarios y objetos.

Continuando con los filtros basados en contenidos, estos SDR son en realidad un conjunto de descripciones de elementos [Aggarwal et al., 2016]; por ejemplo de una película las descripciones podrían ser el género, el director, los actores, el año de estreno, etc. Es decir todo aquel contexto que describa el producto. Este filtro se divide en tres aproximaciones: i) información de perfil, ii) perfil de usuario y iii) usuario objetivo. En resumen la primer aproximación utiliza la información explícita que el usuario otorga al sistema, esta se puede obtener a través de cuestionarios. La segunda aproximación toma la información implícita del usuario para buscar similitudes que lo relaciona con la descripción de un objeto y la última aproximación establece características específicas que cumplen muchos perfiles a los cuales pueden recomendarle un producto. Con este tipo de filtro es necesario mencionar que para que sean eficientes deben tener una base de datos rica en descripciones y perfiles de usuario bien identificados. De lo contrario este filtro sufre el problema de “cold start” o inicio frío donde el sistema no puede realizar predicciones sobre elementos que el usuario aún no ha calificado. No obstante este inicio frío es el principal motivador para la creación de los filtros híbridos que utiliza el sistema de valoración del filtro colaborativo para evitar este problema y continua con los métodos empleados por los filtros basados en contenidos.

En la literatura se menciona que hay dos maneras comunes de evaluar el rendimiento de un sistema de recomendaciones. Los métodos propuestos pueden ser (Herlocker et al., 2004):

1. Medición de la frecuencia de error usando validación cruzada
2. Evaluando la satisfacción del usuario.

Para el primer método se pueden utilizar diferentes medidas de comparación, las más utilizadas son: i) error medio absoluto (Mean Absolute Error), ii) error cuadrático medio (Root Mean Square Error) y iii) medidas de precisión [Aggarwal et al., 2016]. En relación con las primeras dos aproximaciones, estas predicen si al usuario le gustará o no un elemento en particular dentro

del catálogo de opciones, mientras que la tercera opción evalúa la posibilidad de ordenar los elementos de acuerdo a sus gustos personales.

2.6. Ambientes inteligentes

Los ambientes inteligentes son espacios que utilizan sistemas embebidos para crear ambientes interactivos que tienen por objetivo potenciar a los usuarios con herramientas que resuelvan tareas cotidianas enriqueciendo su experiencia y sensibilizándolos con el uso de la inteligencia artificial como una herramienta necesaria. Una de las principales características en los ambientes inteligentes, no solamente es lograr que las computadoras y los sistemas resuelvan tareas cotidianas, sino lograr que estos sistemas sean verdaderamente amigables con los usuarios, siendo herramientas tan útiles que parezcan inexistentes o invisibles para ellos [Costa and Macedo, 2013]. El objetivo con estos sistemas y sensores es que participen en actividades en los que nunca antes habían estado involucrados, posibilitando a la gente a interactuar con estos dispositivos vía gestos faciales, voz, movimientos corporales o simple información de contexto. La realización de ambientes inteligentes requiere de la colaboración de diferentes disciplinas; desde todo al ámbito de la informática, arquitectura, ingeniería de materiales, sociología, electrónica, etc. Además de requerir constantes progresos en campos tecnológicos clave, como la microelectrónica (para la miniaturización de los dispositivos) para crear proyectos tales como; los cuartos inteligentes, paraderos inteligentes, hasta ciudades inteligentes.

Uno de las ramas más prometedoras para trabajar con ambientes inteligentes se encuentra en la Inteligencia Artificial, pues de la integración con esta rama han surgido proyectos que utilizan la visión para realizar tareas de identificación de objetos, cuya implementación es amplia y en numerosos campos [Ramos et al., 2008], de estos proyectos surge el concepto de **agente inteligente**, que es una entidad capaz de percibir su entorno para procesar tales percepciones y responde o actuar de manera racional, es decir, de manera correcta y tendiendo a maximizar el resultado esperado. Los agentes inteligentes son capaces de percibir su entorno gracias a la ayuda de sensores, así como a la vez influyen en el entorno modificando su estado utilizando actuadores integrados que reaccionan ante diversos estímulos.

En la ciencias computacionales un agente inteligente puede referirse a un software que tiene en su algoritmo algo de inteligencia. Por ejemplo programas autónomos para asistencia de un operador de ventas o sistemas que toman en cuenta el factor emocional para generar planes de estimulación de acuerdo al estado emocional detectado. En resumen los ambientes inteligentes son una tecnología que requiere de información del contexto para funcionar, como ya lo hemos mencionado para lograr obtener dicha información esta rama se completa con muchas otras ramas de la ciencia. Por ello en este capítulo se ha realizado una descripción de las tecnologías necesarias para crear un sistema de recomendaciones que utiliza un agente inteligente. Para se describe el concepto más esencial de la investigación que es la emoción, cuya información es la entrada para el agente inteligente. Después analizar las diferentes alternativas que existen para modelar las emociones. La parte intermedia de este capítulo esta centrada en la tecnología, donde se describe el concepto de lógica difusa para crear sistema de control difuso y el tema de los sistemas de recomendaciones que más adelante se integran para crear un sistema de recomendaciones multimedia que detecta el factor emocional y lo incorpora en su algoritmo para generar recomendaciones que brinden bienestar al usuario.

Capítulo 3

Estado del arte

Al inicio de la vejez el cuerpo comienza una fase de atenuación en todos los aspectos tanto físicos, cognitivos y psicológicos. A causa de esta disminución progresiva el deterioro cognitivo se muestra como uno de los principales problemas de este sector. Con relación al deterioro cognitivo esta es una afección que disminuye las capacidades mentales como la memoria, la capacidad del habla y la comprensión [Olazarán et al., 2010]. Además una de las formas más habituales con las que se detecta el deterioro cognitivo es a través de el diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer (EA), cuya afectación principal es la pérdida de la memoria [Montés, 2013]. Así entonces la EA produce constantemente cuadros depresivos que no solo afectan a quién lo padece, sino también afecta a todo su círculo cercano de contactos provocando un deterioro en la calidad de vida. Por consiguiente mejorar el cuidado de las personas que padecen esta enfermedad se vuelve una tarea primordial para tratar de disminuir los efectos de esta situación. Es así que a través de la tecnología y los procesos actuales de inteligencia artificial se han convertido en una herramienta importante para crear formas innovadoras de atacar el problema.

En este capítulo se presenta una reseña de las respuestas que otros autores han dado a nuestra pregunta de investigación en los años recientes. A lo largo de esta sección resaltaremos los acuerdos y los desacuerdos que hay con los artículos seleccionados. Por consiguiente para lograr una discusión objetiva aislaremos los aspectos más relevantes del fenómeno estudiado; es decir que tomaremos las variables independientes de cada caso y analizaremos

los conceptos centrales.

3.1. Sistemas para el análisis de sentimientos

En esta sección se describe un repaso de los trabajos más significativos en cuanto al análisis de sentimientos y cómputo afectivo que componen el estado del arte de este proyecto. En primer lugar está el cómputo afectivo (CA) que en palabras de su creadora es la *capacidad de brindar a las computadoras la habilidad de reconocer emociones humanas* [Picard, 2000]. El CA es una subrama de la inteligencia artificial (IA) que se fundamenta en la ideología de combinar metodologías usadas en psicología con los métodos de IA para dotar a las computadoras con el poder de entender emociones humanas y por consecuencia responder adecuadamente a ellas.

3.1.1. Hacia el análisis multimodal de los sentimientos: recolectando opiniones de la web

Un ejemplo relevante de la implementación de los sistemas afectivos se menciona en la revista *IEEE Intelligent Systems* [Cambria, 2016], donde el autor hace una revisión de las metodologías usadas en sistemas de CA y análisis de sentimientos y destaca el trabajo realizado en [Mandryk and Atkins, 2007]. En esta investigación se mencionan las ventajas de la era tecnológica en la que vivimos, pues al haber cámaras web en prácticamente cada dispositivo electrónico, la posibilidad de recolectar información afectiva no tiene límites. Después de esta afirmación el autor destaca la posibilidad de crear sistemas afectivos capaces de adaptarse a tu estado emocional, entonces plantea una situación donde el sistema se valga de toda la información emocional que pueda detectar del usuario para acondicionar automáticamente su entorno y mantener o mejorar su estado de ánimo.

Desde el punto de vista de la situación planteada se han manifestado muchos proyectos, incluso antes de esta situación. Se tiene el caso del proyecto "Towards Multimodal Sentiment Analysis: Harvesting Opinions from the Web"[Morency et al., 2011], donde los autores demuestran a partir de una prueba de concepto que las características tales como; vídeo, audio y texto

pueden ser las características principales en modelos de análisis de sentimientos de vídeos en la web. Los autores en este trabajo presumen 3 aportaciones en esta área:

1. Integrar por primera vez un modelo de análisis de sentimientos tri-modal; es decir que aprovecha la explotación de tres tipos de elementos (audio, vídeo y texto).
2. Presentar una lista de las características que deben tener los elementos audiovisuales y una guía de como integrarlas al sistema.
3. Por último, entrega un conjunto de datos con información real para trabajar en investigaciones posteriores.

Entonces aprovechando este análisis tri-modal los autores utilizan el modelo HMM (Hidden Markov Model) para encontrar propiedades internas en estas características que ayuden a clasificar emociones como negativas, positivas y neutrales. Sin embargo en este trabajo no se menciona mucho acerca de como han sido seleccionados los elementos audiovisuales utilizados en el proyecto, esto nos deja la incógnita de si es posible personalizar los elementos audiovisuales y continuar con un modelo eficiente.

3.1.2. Un sistema difuso para el análisis del sentimiento a nivel de concepto

Por el trabajo anterior sabemos que es posible utilizar elementos audiovisuales en los sistemas afectivos para estimular ciertas partes del cuerpo o del sistema cognitivo. Así entonces es posible analizar la entonación de la voz, la curvatura de la sonrisa o la cantidad de pausas que un usuario hace al hablar [Mandryk and Atkins, 2007]. No obstante el recurso de analizar explícitamente las palabras que una persona emite en una conversación es un método que ha quedado de lado. Una de las principales razones es que es una tarea complicada, pues el análisis de sentimientos a nivel textual tiene muchos supuestos. El primero y más importante es que las palabras pueden expresar diferentes emociones, por lo que tener en cuenta el contexto es importante [Ekman and Davidson, 1994].

Entonces la mejor opción para analizar una situación donde el contexto depende de cada persona es la lógica difusa. Con esto en cuenta un grupo de estudiantes en Francia [Dragoni et al., 2014] proponen en su investigación “A fuzzy System for Concept-Level Sentiment Analysis” el desarrollo de un sistema que utiliza métodos de lógica difusa para clasificar palabras como *positivas* o *negativas* tomando en cuenta el contexto. En este trabajo los autores mencionan que la principal aportación de su investigación se divide en dos objetivos: i) tener una aplicación capaz de crear funciones difusas que puedan construir una relación entre la emoción que puede expresar una palabra y los diferentes dominios a los que pueda pertenecer y ii) Tener un repositorio basto con palabras clasificadas como “positivas” o “negativas” para ser una extensión útil de herramientas como *WordNet*, *SenticNet* y *ConceptNet* que son herramientas muy conocidas por la comunidad científica para el análisis de sentimientos. Entonces desarrollar un sistema que deduce el contexto en la que se utilizan ciertas palabras y usa la lógica difusa para clasificarlas es realizada en tres fases de procesamiento. Estas fases son:

1. Fase preliminar de aprendizaje.
2. Fase de propagación de la información.
3. Fase de clasificación.

Anteriormente se ha mencionado que este clase de sistemas son complejos y puede ser un obstáculo difícil de superar si el objetivo del desarrollo no es solamente el análisis de texto. En la actualidad hay herramientas especializadas en el análisis de texto que se valen de los utilizar los diccionarios de palabras que son el resultado de proyectos como el Dragoni y colegas. Como resultado de este tipo de implementaciones, la empresa de tecnología IBM ha creado un conjunto de herramientas para el análisis de sentimientos llamado *IBM Watson Cloud Services* con la finalidad de ser un recurso que acelere el desarrollo de software que procesa lenguaje natural.

3.1.3. Detección de la depresión mediante un enfoque multimodal de reconocimiento de emociones

Uno de los principales aportes del cómputo afectivo y el análisis de sentimientos es la capacidad de asistir a profesionales de la salud en el diagnóstico oportuno. Especialmente en el área de la salud mental donde detectar enfermedades que están relacionadas con el factor emocional toma gran importancia. En este sentido está el trabajo denominado “Detecting Depression Using Multimodal Approach of Emotion Recognition” [Meftah et al., 2012], que presenta un método para la detección efectiva de señales de depresión de forma temprana. Este proyecto propone una forma eficiente de modelar emociones a partir de operaciones algebraicas con vectores multidimensionales. Utilizando el modelo de 8 emociones básicas propuesto por Plutchik en [Plutchik, 1980] crean una metodología que asemeja en idea a la regla de combinación de colores RGB. Esta regla menciona que podemos obtener diferentes colores mezclando en diferente cantidad los tonos rojos, verdes y azules. Entonces utilizando 8 emociones básicas los autores afirman que es posible obtener emociones complejas con la mezcla de estas ocho en diferente grado. Primordialmente el modelo consiste en la representación de las emociones utilizando vectores multidimensionales. Cada emoción es un vector en un espacio de 8 dimensiones, donde cada eje representa una emoción básica, para ello primero se define un vector $(B) = (joy, sadness, trust, disgust, fear, anger, surprise, anticipation)$. Entonces cada emoción (e) puede ser expresada como una combinación lineal de los elementos básicos.

$$(e) = \sum \langle E, u_i \rangle u_i \quad (3.1)$$

Entonces $(e) = \alpha_1 joy + \alpha_2 sadness + \alpha_3 trust + \dots + \alpha_8 anticipation$ donde α es un escalar y $u_i (i = 1 \dots 8)$. Al final solo resta aclarar que E es un vector columna que representa la coordenadas de α . Con este modelo es posible añadir más elementos al vector de emociones, mientras se cumpla la condición de la variable escalar $\alpha_i \in [0, 1]$. En la siguiente sección presentamos algunos proyectos donde se implementan soluciones de sistemas de recomendaciones enfocados a la salud.

3.2. Sistemas de recomendaciones con lógica difusa

En cuanto a los sistemas de recomendaciones (RSs), en esta sección se describen los principales trabajos que conforman el estado del arte identificado en esta investigación. Los RSs desde el punto de vista de Candillier et.al.,(2009) son sistemas que ayudan a los usuarios a encontrar elementos que puedan apreciar dentro de un gran catálogo. De acuerdo con Yager (2003) un RSs es una asociación con una colección de objetos $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ elementos que pueden ser de cualquier tipo, como películas, música, libros, fotografías, páginas web, etc. El objetivo es recomendar al usuario los objetos en D tomando en cuenta el contexto y basado en la información histórica de los intereses del usuario. Entonces de acuerdo con Candillier (2009) menciona que los sistemas de recomendaciones se pueden generalizar en tres categorías: i) sistemas de recomendaciones basados en filtros colaborativos, ii) sistemas de recomendaciones basados en filtros de contenidos y iii) sistemas de recomendaciones basados en filtros híbridos. Con esto en consideración los siguientes trabajos citados están en alguna de estas tres categorías, sin embargo, todos ellos aplican en algún punto métodos de la lógica difusa.

3.3. Sistemas intuitivos de recomendación difusa: Una herramienta efectiva para el diagnóstico médico

Debido a la alta demanda y uso de los RSs en la rama del comercio electrónico, no es extraño pensar que otras ramas ven un potencial más allá de la venta de productos. El proyecto titulado "*Intuitionistic fuzzy recommender systems: An effective tool for medical diagnosis*" [Thong et al., 2015]. En esta investigación los autores buscan mejorar el proceso del diagnóstico médico al ser uno de los procesos más importantes y necesarios dentro de la medicina clínica. Entonces su aproximación consiste en crear un sistema de recomendaciones que dada una cantidad de síntomas predice una enfermedad. Nuevamente en este trabajo utilizan el estado emocional como un factor de entrada, sin embargo el procesamiento de los datos no toma solo este dato en consideración. El proyecto resalta la importancia de integrar una nueva

metodología llamada *conjuntos difusos intuitivos* que son una extensión a la propuesta clásica de la lógica difusa, además de enriquecerlos con el poder de un sistema de recomendaciones. Los resultados experimentales de este proyecto muestran que este sistema tiene una mejor precisión que los métodos independientes de lógica difusa.

3.4. Modelado de emociones con lógica difusa

Uno de las discusiones más interesantes en la actualidad es la controversia que existe entre el uso de la lógica difusa o redes neuronales para el modelado de emociones. Tsouklas y Huring (1997) mencionan que las redes neuronales y la lógica difusa toman caminos opuestos para lidiar con la incertidumbre de las emociones. En su trabajo argumentan: "Las redes neuronales necesitan entradas y salidas precisas para entrenar un modelo genérico, mientras en los sistemas difusos, las entradas y salidas permiten la incertidumbre, ya que sus interrelaciones toman la forma de reglas bien definidas". Con esto en mente el trabajo de Mandryk y Atkins titulado "*A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies*" [Mandryk and Atkins, 2007], describen un método para evaluar el estado emocional de los usuarios durante el estímulo de un videojuego, pues declaran que los métodos existentes quedan muy atrás en comparación con la revolución tecnológica y popularidad de los videojuegos.

En este proyecto se nos presenta una metodología novedosa para modelar el estado emocional del usuario de forma continua usando datos psicológicos, para lograrlo los autores utilizan 2 modelos difusos. El primer sistema se encarga de transformar cuatro señales psicológicas en términos de excitación y valencia. El segundo modelo convierte la excitación y valencia en cinco estados emocionales que son del dominio de los videojuegos: i) aburrimiento, ii) desafío, iii) emoción, iv) frustración y v) diversión. En la siguiente figura 3.1 podemos observar un modelo general del sistema difuso propuesto por Mandryk y Atkins en 2007.

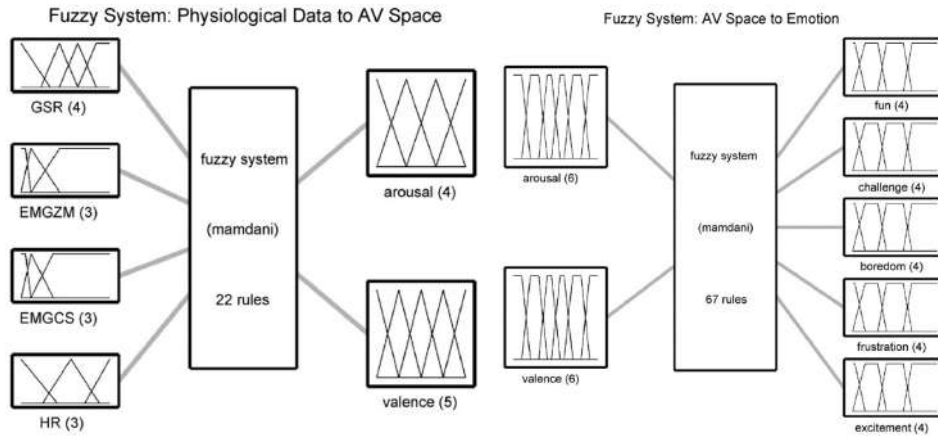


Figura 3.1: Modelo del sistema difuso de Mandryk y Atkins. Tomado de: [Mandryk and Atkins, 2007]

De la figura 3.1 podemos observar que las primeras cuatro señales que entran al primer módulo difuso son: i) respuesta galvánica de la piel, ii) electrocardiograma, iii) expresiones faciales y iv) ritmo cardíaco. Después al segundo módulo entran la excitación y valencia resultado del módulo anterior y son transformados en los cinco estados emocionales mencionado al inicio de esta explicación. Al final de cada sesión los resultados fueron comparados con un reporte manual estilo Likert para evaluar las cinco emociones que tienen en consideración. Los resultados de los reportes exhiben las mismas tendencias emocionales que el producto del sistema. Sin embargo el proceso para medir todos estos datos es muy invasivo. Para medir toda esta información los autores ubican demasiados electrodos en el usuario. Al final el usuario esta repleto de electrodos mientras consume un videojuego, esto afecta directamente en su estado emocional [Doniger et al., 2018].

A pesar de ello este trabajo muestra excelentes aportaciones que se ven reflejadas en nuestra investigación. Por ejemplo, para modelar los estados emocionales utilizan la cuadrícula afectiva de [Russell et al., 1989]. Esta cuadrícula emplea los factores de excitación y valencia para mapear combinaciones de emociones en un espacio 2-dimensional. Otra aportación es segmentar el sistema en módulos para que la información que retorna el primer módulo sea utilizada directamente por el segundo. Por último la aplicación de una encuesta estilo Likert para evaluar la experiencia de usuario y verificar si las estados emocionales que retorna el sistema corresponde con las tendencias

encontradas en los reportes.

En resumen en esta sección se ofrece una revisión del estado del arte existente entre dos áreas que son de suma importancia para nuestra investigación. Primero se describen diferentes investigaciones realizadas sobre el análisis de sentimientos y el cómputo afectivo, retomando algunas así las técnicas más importantes que han tomado relevancia para la realización de este trabajo. Después el capítulo continua con una revisión de investigaciones realizadas en el campo de la salud. En particular proyectos que han incorporado el uso de la inteligencia artificial para resolver situaciones complejas, sirviendo como una herramienta para el profesional. Por último se retoma el concepto de lógica difusa y su aplicación en situaciones que requieren de una solución basada en la experiencia del profesional.

Capítulo 4

Desarrollo del sistema de recomendaciones multimedia

En esta sección se presentan los componentes tecnológicos enfocados al funcionamiento del sistema de recomendaciones multimedia (RSs). El capítulo se desarrolla en torno a la descripción de tres módulos de software que componen la funcionalidad del sistema. Además se hace hincapié en la independencia de estos módulos para describir puntualmente la forma en la cual procesan los datos para ser capaces de trabajar en conjunto y generar una recomendación multimedia.

Por consiguiente la sección se resume en los siguientes tres objetivos:

- Explicar que son los módulos del RSs y para que sirven.
- Justificar porque los módulos son independientes y se encuentran divididos.
- Mostrar el ciclo completo de la información que alimenta al RSs.

4.0.1. Módulos del sistema de recomendaciones

En esta sección acerca de los módulos del sistema de recomendaciones (RSs) se mencionan las tecnologías involucradas, se justifica el porque el sistema esta dividido en tres módulos independientes.

Según la real academia española (RAE), un módulo: “es una pieza o conjunto unitario de piezas que se repiten o encajan en una construcción de

cualquier tipo”. En el campo de la tecnología, particularmente en el área del desarrollo de software, se considera como módulo al bloque completo de líneas de código que completan una tarea en específico. Por otra parte, si se refiere dicho bloque como un módulo independiente, esto equivale a un bloque de líneas de código que no recurre a los servicios de otros bloques de código para funcionar. En relación con este tipo de módulos, en este proyecto se describen tres módulos independientes, es decir; tres bloques de código (o software) con funcionalidad independiente que al unir sus funcionalidades completan el trabajo de un sistema de recomendaciones. Entonces el RSs de este proyecto esta compuesto por tres módulos que son los siguientes:

- Módulo I: Recolector de información.
- Módulo II: Transformación y procesamiento.
- Módulo III: Generador de recomendaciones multimedia.

En la figura 4.1 se muestra en un diagrama de bloques tres módulos mencionados anteriormente. Además, en los recuadros intermedios se ofrece una descripción sistemas que encapsula cada módulo. En el módulo I: Recolector de información. Este módulo se compone de dos elementos o sistemas. El primero es la aplicación de realidad aumentada (AppRA) que es el componente encargado de hacer visibles los elementos multimedia y el segundo es; el sistema recolector de información del sistema de recomendaciones. Este recolector es el encargado de procesar la voz del usuario para transformarla en datos emocionales.

En el módulo II: transformación y procesamiento, está compuesto por el sistema controlador difuso (SICODI) y el medidor de estado emocional. Esencialmente SICODI trabaja recibiendo una cadena de datos emocionales en un formato determinado y lo transforman en dos componentes más simples y el medidor de estado emocional permite la visualización de estas componentes en una cuadrícula afectiva que infiere tu estado emocional.

En el último bloque, el módulo III, se encuentra el sistema de recomendaciones, que maneja toda la información obtenida anteriormente para crear filtros que le permitan recomendar aquellos elementos multimedia que hayan provocado mejores resultados. Está es una forma resumida del RSs. No

obstante a lo largo de esta sección se describen a detalle cada uno de los módulos.

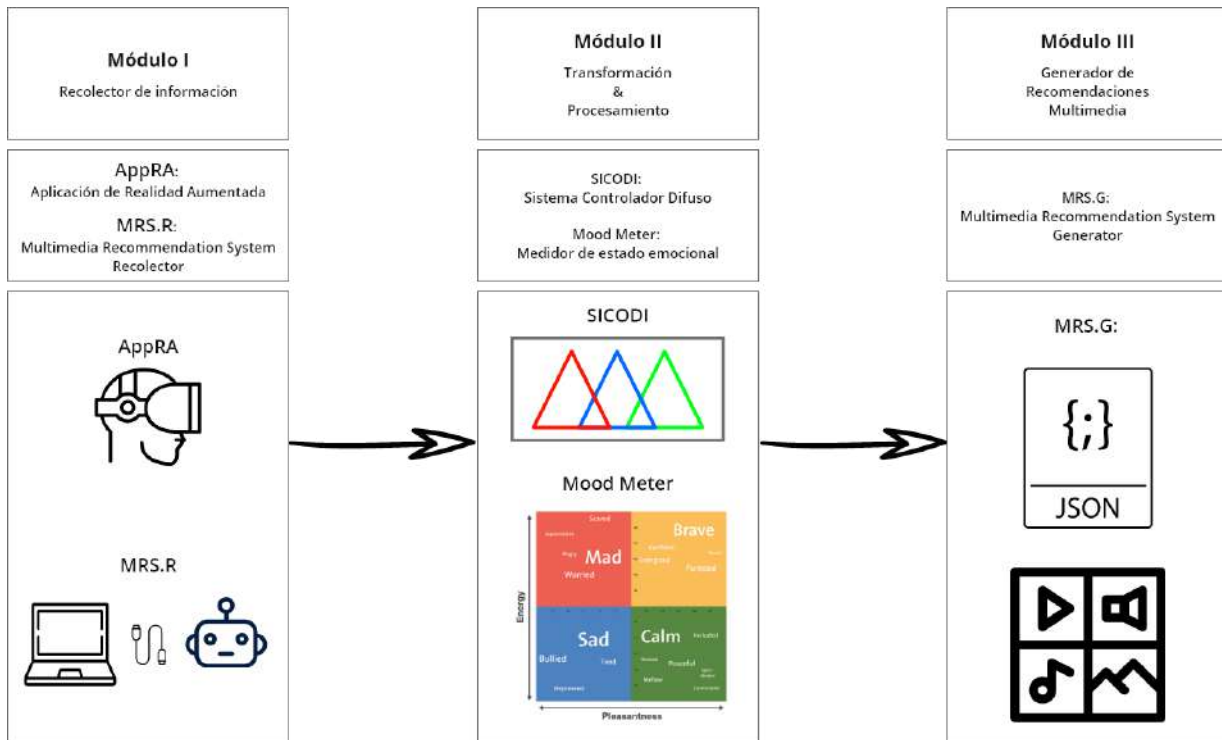


Figura 4.1: Diagrama de bloques. Módulos del sistema de recomendaciones.

Asimismo para hacer una analogía apropiada de la figura 4.1 sobre el funcionamiento de este sistema, es necesario pensar en el como un proceso lineal donde la salida de datos del *módulo I* es la entrada de datos que será procesada por el *modulo II*. Después este módulo manda sus resultados al *modulo III* para concluir con una salida de información como se muestra en el diagrama. Todas estas interacciones se desarrollan en la sección subsecuentes.

4.0.2. Tecnologías involucradas

Con respecto a las herramientas tecnológicas, a continuación se detalla el software involucrado en cada uno de los módulos comenzando con el módulo sobre la recolección de información. En la figura 4.2 y 4.5 se muestran dos diagramas de bloques con las tecnologías que se han utilizado para desarrollar los componentes del primer módulo.

De acuerdo con la diagrama de la figura 4.2 la aplicación de realidad aumentada o “AppRA” como se le ha nombrado, está desarrollada por completo sobre la plataforma de videojuegos **Unity**. Esta herramienta de desarrollo además de ser el estándar para el desarrollo de videojuegos, actualmente es el líder en cuanto al procesamiento de realidad aumentada, por lo que es excelente para procesar cualquier elemento multimedia y convertirlo a un objeto de realidad aumentada. Además de las tecnología de realidad aumentada a esta plataforma se le ha integrado *Vuforia*, que es un intensificador de Unity que permite al desarrollador crear marcadores de realidad aumentada para que la aplicación proyecte elementos de realidad aumentada en lugares específicos. Estos marcadores multimedia o "*AR-Markers*"(vea figura 4.3) se crearon para que la aplicación proyecte distintos elementos en determinado tiempo.

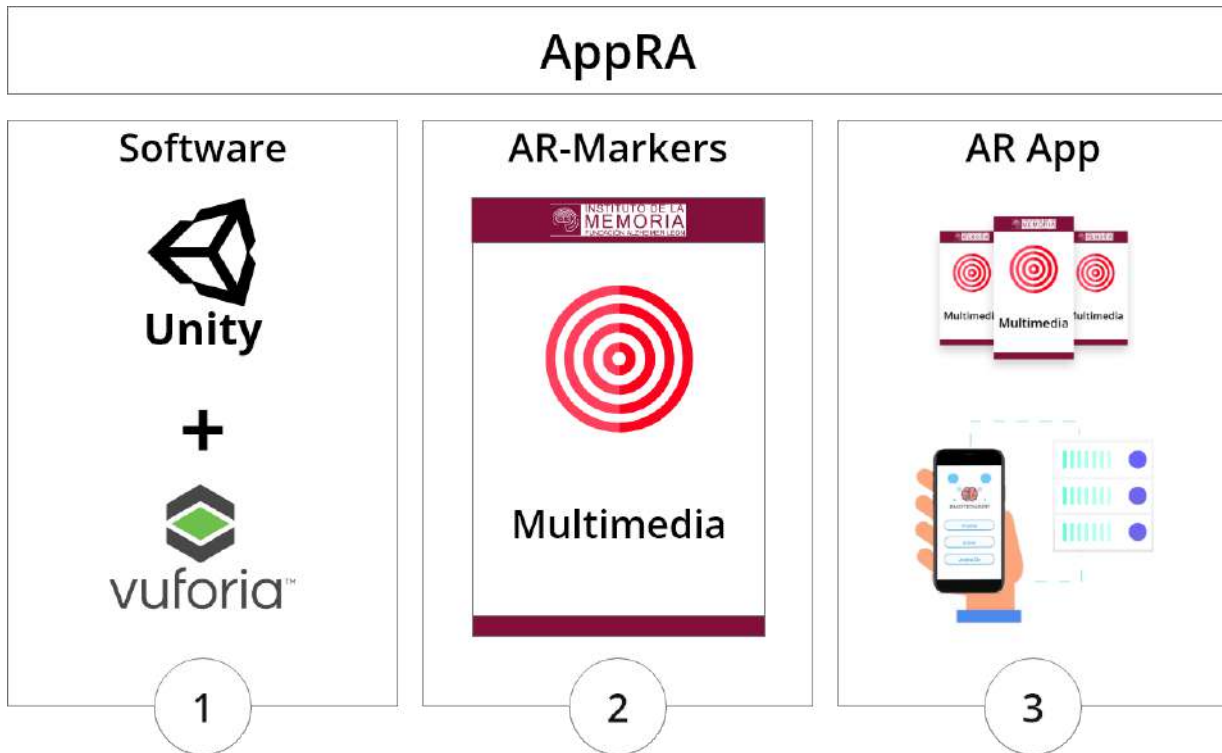


Figura 4.2: Diagrama de bloques de la aplicación de realidad aumentada.

Los *AR-Markers* son cuartillas del tamaño de una hoja A4 que han sido especialmente diseñadas para que el motor de visión artificial de Unity proyecte el contenido multimedia que el marcador indique. Con esta solución se pretende que los marcadores funcionen como un control multimedia en el momento de la sesiones con los usuarios.

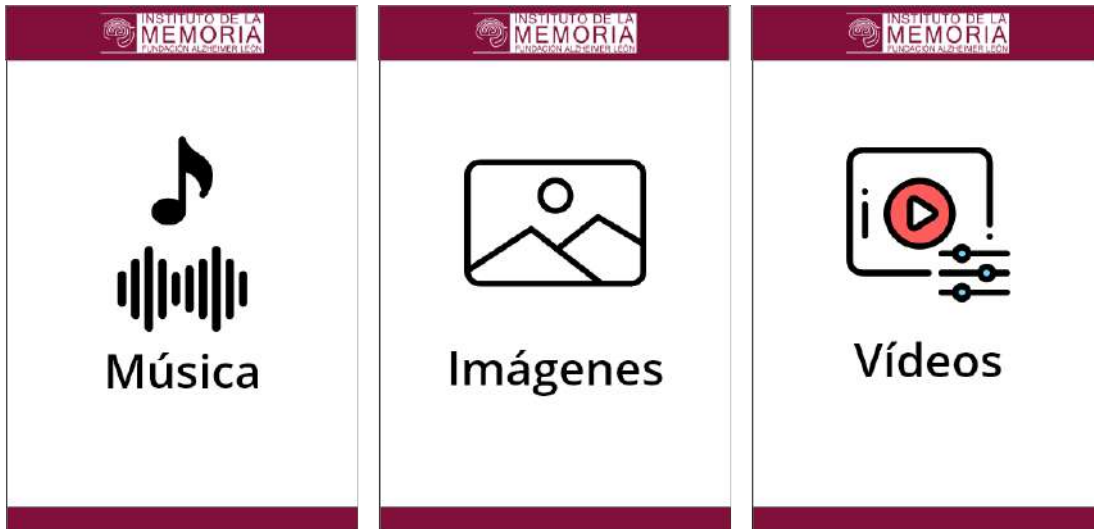


Figura 4.3: Marcadores de realidad aumentada.

Para cerrar el ciclo de la aplicación AppRA, se debe mencionar que la interfaz gráfica que se muestra en la figura 4.4 cuenta con la funcionalidad para conocer la autopercepción emocional del usuario, así este dato sirve como un indicador al sistema de recomendaciones para hacer un análisis y comparar los resultados con la autopercepción del usuario.



Figura 4.4: Interfaz gráfica de AppRA.

Continuando con el segundo componente del módulo I. El recolector de información es un servidor web que por el lado del software utiliza *Node.js* y que a su vez este servicio utiliza las funcionalidades de *IBM Watson Cloud*

Services para procesar la información. De lado del hardware, todo el sistema esta montado en una placa *Raspberry Pi 3* sobre una carcasa del modelo *TjBot* de IBM (vea figura 4.5). Con esta aproximación se monta en escena un espacio donde el usuario puede hablar con el robot acerca de sus sentimientos al mismo tiempo que es estimulado cognitivamente con los elementos multimedia en realidad aumentada.

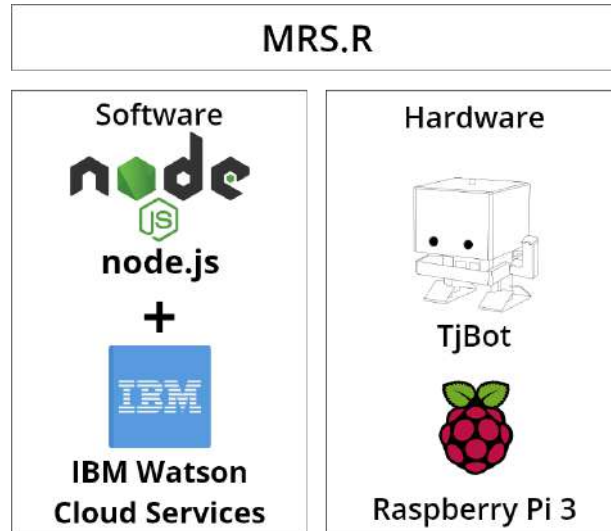


Figura 4.5: Diagrama de bloques que muestra las tecnologías del recolector de información.

Ahora para los módulos II y III es bastante más sencillo en cuanto a tecnologías involucradas. Como se muestra en la figura 4.6 ambos están contruidos enteramente en *Python 3*. Utilizando diferentes librerías estos módulos procesan la información y crean el sistema de recomendaciones multimedia.

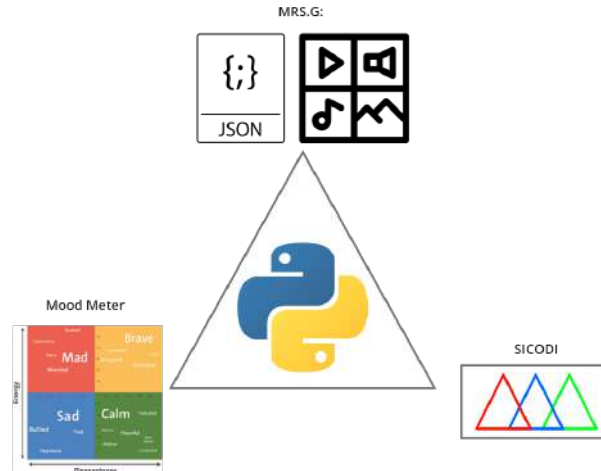


Figura 4.6: Módulos desarrollados en Python.

4.1. Módulo I: Recolector de información

Como ahora sabemos el primer módulo de este sistema de recomendaciones esta formado por dos sistemas. A continuación se analizan los detalles y las transformaciones que sufre el dato de entrada al pasar por este módulo.

4.1.1. Aplicación de realidad aumentada

La aplicación de realidad aumentada (AppRA) tiene como objetivo principal estimular los sentidos y el pensamiento del usuario para favorecer el recuerdo de experiencias positivas. En particular, a estos estímulos que buscan la estimulación de recuerdos se les conoce como *Efecto de reminiscencia*. Por lo tanto AppRA busca favorecer la gestación de este efecto mediante la visualización de elementos multimedia; tales como la música, las fotografías y los vídeos. Esta aplicación tiene una interfaz gráfica inicial que se compone de 2 pantallas. La primera es un menú con las siguientes opciones (vea figura 4.7):

- Prueba
- Entrar
- Acerca de

Siguiendo el orden la lista anterior la primera opción que es acerca de la *Prueba* el usuario tiene la posibilidad de iniciar la funcionalidad de la aplicación sin la necesidad de registrarse. Sin embargo los elementos multimedia que podrá observar serán elementos precargados por el desarrollador, mismo que ha tomado en cuenta la edad y género del usuario para seleccionar dichas visualizaciones. Está es la opción utilizada en la sección 5 para realizar los experimentos y mostrar los resultados.



Figura 4.7: Pantalla principal de la aplicación de realidad aumentada.

Continuando con el menú de la pantalla principal, las opciones 2 y 3 son opciones en desarrollo, pero la funcionalidad que se prende es la siguiente: para la opción 2, esta es una característica donde el usuario podrá visualizar elementos multimedia personalizados, teniendo la posibilidad de acceder a la galería de música, fotografías y vídeos del celular y proyectarlos como elementos de realidad aumentada. En la figura 4.8 se aprecia un ejemplo de como el usuario percibe los elementos proyectados en realidad aumentada. Con esta aproximación el usuario observa los contenidos multimedia mientras se expresa verbalmente. En el siguiente tema se discute el funcionamiento del sistema que procesa la voz del usuario y que origina los datos de entrada para el sistema de recomendaciones.

Continuando con la segunda pantalla de la aplicación, en la figura 4.9 se muestra que esta sección cumple con un propósito diferente a la estimulación cognitiva. Con esta opción la aplicación pretende que el usuario sea consciente de su estado emocional a través de la calibración de un deslizador emocional. Este deslizador es un elemento visual que se ajusta a los valores que el usuario perciba de su estado emocional de acuerdo a una referencia de emoticones que

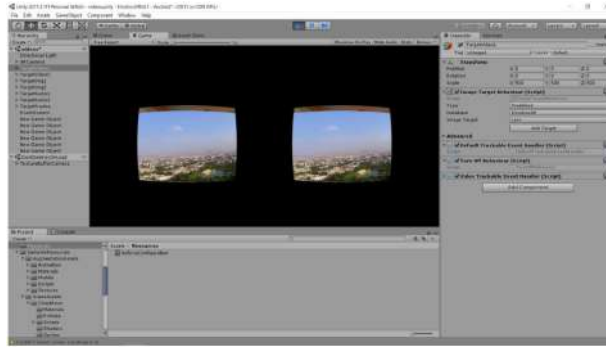


Figura 4.8: Ejemplo de un elemento proyectado en realidad aumentada.

expresan diferentes estados de ánimo. Una vez que el usuario concuerda con la expresión indicada por el emoticono el sistema procesa el punto en el que se encuentra el deslizador y envía el dato en una escala de valores que va de los rangos del 0 al 1, donde 0 muestra un emoticono con una expresión característica de enojo y 1 con una expresión feliz. En la figura 4.9 se muestran dos deslizadores ilustrando el proceso del cambio de expresión en el emoticono a medida que la barra deslizadora avanza.



Figura 4.9: Pantalla secundaria de la aplicación de realidad aumentada.

Entonces una vez que el usuario ingresa esta información auto-percibida, dicho registro se guarda en la base de datos de la aplicación. Este registro es consultado más adelante por el sistema de recomendaciones para comparar el estado emocional previo auto-percibido del usuario con el estado emocional detectado por el generador de recomendaciones después de una sesión con elementos audiovisuales previamente seleccionados. El proceso de generación

de recomendaciones audiovisuales más adelante en el módulo III.

Por último en cuanto a la aplicación de realidad aumentada, una de las principales aportaciones que tiene hacia el sistema de recomendaciones además de ser el generador de estímulos cognitivos es que esta aplicación guarda registros con información auto-percibida; es decir que es información real proveniente directamente del usuario y que no pasará por tratamiento alguno, pues es el dato más auténtico que tiene el proyecto para comparar resultados y mejorar. Así entonces en la siguiente figura 4.10 se muestra la estructura de la base de datos de la aplicación de realidad aumentada.

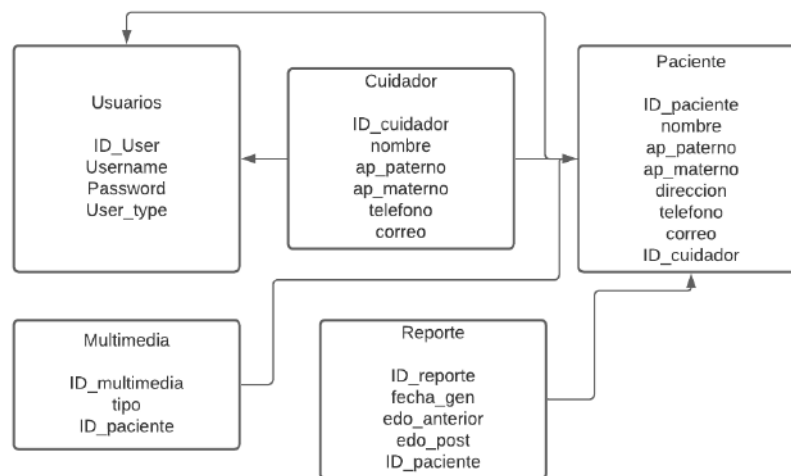


Figura 4.10: Estructura de la base de datos de la aplicación de realidad aumentada.

De la estructura anterior resaltan los registros de información emocional previa. Esta información es la referida anteriormente, donde el usuario proporciona el estado emocional que auto-percibe. También de esta estructura resaltan los registros multimedia, donde los elementos que la componen son los que el desarrollador ha seleccionado para estimular a los participantes del experimento. A estos participantes se les describe detalladamente en la siguiente sección 5 de pruebas y resultados del experimento.

4.1.2. Sistema de procesamiento de voz y etiquetado multimedia

El sistema de procesamiento de voz y etiquetado multimedia es un servidor web que ha sido desarrollado con Node.js. Este servidor está desplegado en

una placa raspberry pi 3 cubierta por una carcasa del agente inteligente TJBot de IBM como se muestra en la figura 4.11. Este robot es una aproximación para humanizar la interacción durante el procesamiento de voz. El proceso del servidor web comienza solicitándole al usuario información de la actividad que está por comenzar. Esta información sirve como registros de actividad para el sistema de recomendaciones y se solicita cada vez que el usuario hace un cambio en el tipo de elemento multimedia proyectado en realidad aumentada. Dicha información que pide el servicio web es la siguiente:

- Nombre de usuario.
- Tipo de elemento multimedia.
- Descripción multimedia mediante etiquetas.

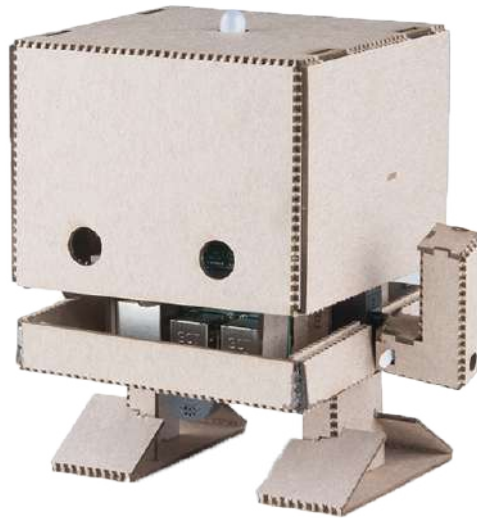


Figura 4.11: modelo del agente inteligente TjBot.

De las opciones anteriores, el nombre de usuario y el tipo de elemento multimedia son registros que el sistema de recomendaciones consulta para filtrar el tipo de elementos que va a recomendar. Sin embargo, la opción más interesante está en el campo de etiquetado multimedia (vea figura 4.12) donde el usuario describe el elementos multimedia con sus propias palabras, el sistema se encarga automáticamente de convertirlo en etiquetas que serán guardadas

en la base de datos del servidor. Entonces, con esta descripción el sistema de recomendaciones recomendará elementos multimedia personalizados buscando otros elementos buscando relaciones con las etiquetas proporcionadas.

Una vez que la información de la página inicial esta dada la segunda vista de la interfaz web inicia la fase de procesamiento de voz. Aquí el sistema consta de tres opciones: Las dos primeras opciones inician y detienen la fase de escucha. En esta fase TJBot escucha el diálogo del usuario y comienza un proceso de conversión de voz a texto en tiempo real. Con la tercera opción cambia el trabajo que hace el robot, aquí TJBot transforma la cadena de texto resultante y la convierte en datos cuantitativos a través del servicio *Tone Analyzer* de IBM. Cuando tone analyzer (TA) procesa una cadena de texto este toma por completo la cadena de texto enviada, que en esta ocasión es el resultado de la sesión de estimulación cognitiva con elementos multimedia. Entonces TA comienza una búsqueda completa de palabras clave en la cadena de texto. Después utilizando un diccionario interno con las palabras clave que TA puede detectar, este comienza a clasificarlas dentro de 5 emociones básicas (enojo, miedo, alegría, tristeza y disgusto). A cada una de estas palabras además de asignarle una emoción, el servicio también le otorga un número entre 0 y 1 que informa el grado de compatibilidad a dicha emoción, siendo 0 un nivel muy bajo de compatibilidad y 1 un grado de compatibilidad total a la emoción.

Como resultado de este procesamiento TA el servidor regresa una lista con los grados de compatibilidad detectados para cada emoción. Sin embargo la manera en la que este servidor entrega la información es en formato *JSON* (Javascript Object Notation) que es una notación que permite cambiar el aspecto y el formato para presentar los resultados al usuario de una forma amigable. En este proyecto al resultado emocional se le conoce como *Vector emocional* y un ejemplo de como luce este vector con la información que se le entrega al usuario se observa en la figura 4.13. Al final para cerrar el ciclo de este módulo de procesamiento y etiquetado multimedia, este módulo toma toda la información del vector emocional y los datos que se ingresaron en la pantalla principal para insertarlos en una base de datos que contiene todo el registro de la sesión. La información que se guarda es la siguiente:

- Nombre de usuario.

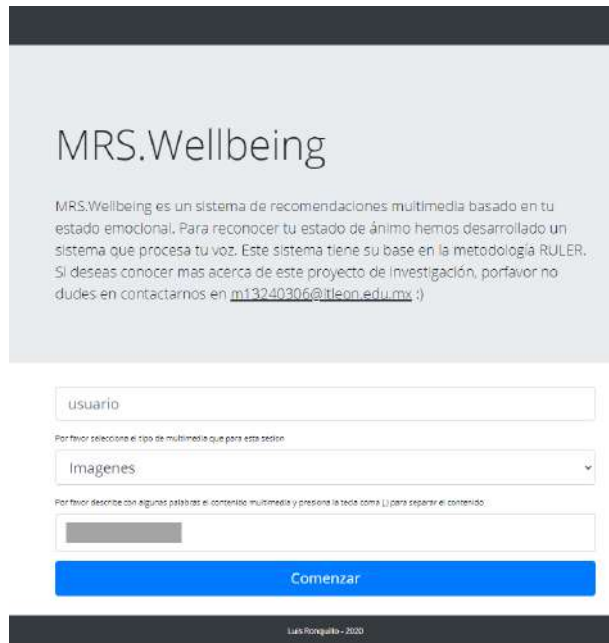


Figura 4.12: Pantalla principal del servidor web y el campo de etiquetas multimedia.

- Tipo de elemento multimedia.
- Etiquetas descriptivas multimedia.
- Cadena de texto analizada.
- Vector emocional.



Figura 4.13: Pantalla secundaria para el inicio del procesamiento de voz.

Así con todos estos registros podemos formar una base de datos con la

información necesaria para alimentar al sistema de recomendaciones. En palabras simples, este módulo es el medio por el cual el sistema de recomendaciones podrá aprender sobre los gustos del usuario, y mejorar en la generación de nuevas recomendaciones multimedia.

4.2. Módulo II: Transformación y procesamiento de la información

Ahora que conocemos como el sistema utiliza el primer módulo para generar la información, a continuación se describen las aplicaciones que componen el segundo módulo. Si el primer módulo es quien nutre al sistema de recomendaciones, podemos decir que este segundo módulo procesa la información obtenida y la transforma en datos que el generador de recomendaciones comprende para su trabajo. Dicho de otro modo, este es un módulo “**punte**” a otra representación basada en los datos de entrada y el generador de recomendaciones.

Así primero se describe el controlador difuso, que en términos sencillos es una aplicación basada en instrucciones dadas por un experto para tomar una decisión, seguido de ello se describe el medidor de estado emocional, que es una transformación de una metodología pedagógica para enseñar inteligencia emocional a un sistema de cómputo.

4.2.1. Sistema controlador difuso

El propósito del sistema controlador difuso (SCD) es tomar un vector emocional de la base de datos y transformar esas 5 emociones dos componentes equivalentes más simples. Este proceso de transformación se compone de varios pasos que explicaremos a continuación, sin embargo en la figura 4.14 se puede distinguir un esquema general del proceso del controlador difuso.

Del esquema anterior podemos distinguir cuatro pasos o funciones que el SCD ejecuta cada vez que es requerido. Estas funciones son:

1. Vector de entrada v_e .
2. Fuzzification.

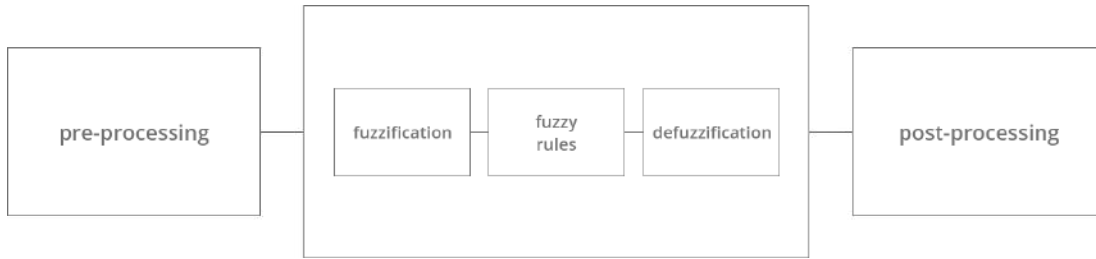


Figura 4.14: Esquema del proceso general del controlador difuso.

3. Defuzzification.

4. Vector de salida v_s .

El vector de entrada se refiere al registro guardado por el módulo I, donde al final de la interacción se guarda en la base de datos del sistema toda la información que se ha obtenido del usuario. Entre esa información se encuentra el vector emocional, que en este módulo pasa a llamarse *Vector de entrada* e identificado por la notación v_e . Este vector de entrada es requerido en su totalidad por el controlador para comenzar el proceso de fuzzyficación.

Así el proceso de fuzzyficación se encarga de transformar v_e en términos difusos; es decir que el proceso de fuzzyficación transforma un vector $v_e = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ con valores “crisp” en conjuntos difusos a través de una función de membresía que asigna 1 cuando $v_e = x_i$ y 0 cuando $v_e \neq x_i$. Estos conjuntos son utilizados posteriormente en el proceso de inferencia. Además esta traducción sucede gracias a 56 reglas de control o *reglas difusas* que se encargan de asignar a cada valor numérico una expresión lingüística. Estas expresiones lingüísticas están determinadas a partir de las funciones de membresía, y hay diferentes tipos de estas funciones, entre las funciones de membresía más destacadas están:

1. Funciones triangulares.
2. Funciones trapezoidales.
3. Funciones Gaussianas.
4. Funciones Sigmoidales.

Cada una de estas funciones trabaja con diferentes expresiones lingüísticas, por ejemplo en este proyecto se ha optado por usar la función de membresía

triangular que le asigna a las emociones de entrada las expresiones *alto*, *medio* y *bajo*. Así cuando entra el valor cuantitativo representado por v_e , esta es evaluada por cada una de las reglas de control que producen un grado de activación dejando entonces todas aquellas reglas donde el grado de activación no sea nulo para contribuir a la inferencia representada por el conjunto difuso. Así obtenemos oraciones del tipo “*SI* enojo es alto y miedo es bajo y alegría es alto y tristeza es bajo y disgusto es bajo, *ENTONCES* energía es alto” para establecer la pertenencia del elemento al conjunto.

Entonces como se puede suponer las reglas de control son sentencias del tipo ***SI-ENTONCES*** que son establecidas por un profesional para simular las decisiones que el mismo tomaría en su trabajo, este tema se puntualizó a detalle en el capítulo 2 del marco teórico de este documento de tesis. Un ejemplo de la secuencia de reglas por las que debe pasar cada dato se observa en la figura 4.15 donde se visualizan 4 reglas de control del SCD.

Una vez que el dato ha pasado por las reglas de control como resultado obtenemos un grado de pertenencia por parte de la emoción analizada. Por ejemplo, si la emoción analizada es *Enojo* y al pasar por las reglas de control está nos devuelve un valor de 0.45 entonces las reglas de control determinan que el grado de pertenencia a dicha emoción esta en un nivel bajo. La función de decisión del SCD se muestra en la ecuación 4.1.

$$f(x) = \begin{cases} \text{"bajo"} & \text{si } 0 < x \leq 0.5 \\ \text{"medio"} & \text{si } 0.5 < x \leq 0.75 \\ \text{"alto"} & \text{si } x > 0.75 \end{cases} \quad (4.1)$$

Entonces para que el controlador difuso pueda determinar el grado de pertenencia a cada emoción, estas deben pasar una a una por todas las reglas de control, un ejemplo de estas reglas las vemos en la figura 4.15. Como resultado de este proceso obtenemos las expresiones lingüísticas mencionadas anteriormente y con estos resultados el SDC continua con el siguiente paso que es transformar esas expresiones en dos componentes de energía y agrado.

Los componentes de energía y agrado son dos valores cuantitativos obtenidos como resultado del sistema controlador difuso. Estas dos componentes

se unen para dar forma al vector de salida v_s que es el vector utilizado por el siguiente módulo para sus procesos. En realidad en un controlador difuso el desarrollador tiene la capacidad de decidir la cantidad de variables de entrada que desea procesar y la cantidad de variables de salida que espera obtener, así como el rango del dominio de valores que necesita. A continuación en la figura 4.16 se muestra la prueba de concepto del sistema controlador difuso.

```
# reglas difusas
rule_1 = ctrl.Rule(anger["low"] & fear["low"] & joy["high"]
] & sadness["low"] & disgust["low"],energy["high"])

rule_2 = ctrl.Rule(anger["low"] & fear["low"] & joy["high"]
] & sadness["low"] & disgust["low"],pleasant["medium-high"])

rule_3 = ctrl.Rule(anger["low"] & fear["low"] & joy["medium"]
] & sadness["low"] & disgust["low"],energy["medium-high"])

rule_4 = ctrl.Rule(anger["low"] & fear["low"] & joy["medium"]
] & sadness["low"] & disgust["low"],pleasant["medium-high"])
```

Figura 4.15: Reglas de control del SCD.

```
# Prueba de concepto
# vector emocional de entrada
input_vector = {
    "anger": 0.223172,
    "fear": 0.085165,
    "joy": 0.210736,
    "sadness": 0.270864,
    "disgust": 0.043338,
}

# Ejecutar funciones de membresía y reglas difusas
controladorDifuso = FuzzyControl()

# vector emocional de salida
output_vector ={
'energia' : controladorDifuso.inputVector(input_vector,emotionalOutput=1),
'agrado' : controladorDifuso.inputVector(input_vector,emotionalOutput=2)
}
```

Figura 4.16: Prueba de concepto del sistema controlador difuso.

Para este proyecto el rango de dominio para cada emoción del vector de entrada es de $[0, 1]$ y el dominio para los componentes energía y agrado del

vector de salida es $[-5, 5]$, un forma sencilla de ver el resultado de la prueba de concepto se muestra en la figura 4.17 a continuación donde a partir de los valores de entrada obtenemos un vector de salida con los componentes de energía y agrado.



Figura 4.17: Proceso general del sistema controlador difuso.

Así con estos datos del vector de salida pasamos a la siguiente aplicación de este módulo que es el medidor de estado emocional.

4.2.2. Medidor de estado emocional

La aplicación del medidor de estado emocional forma parte de una metodología educativa para enseñar inteligencia emocional. Este medidor se esta formado por 4 cuadrantes que simbolizan un estado emocional que dependen de la zona en la que se encuentre. Estos cuadrantes se manejan en el dominio de valores de $[-5, 5]$, donde el eje x es agrado y el eje y es energía. Los cuadrantes son los siguientes:

- Cuadrante 1 $[-,+]$: Enfado (rojo).
- Cuadrante 2 $[+,+]$: Alegría (amarillo).
- Cuadrante 3 $[-,-]$: Tristeza (azul).
- Cuadrante 4 $[+,-]$: Calma (verde)

Es por eso que el controlador difuso devuelve como resultado en el vector de salida los mismos componentes en el mismo dominio de valores, ya que

esta aplicación es una simulación de dicha metodología y se encarga de mapear los diferentes valores de energía y agrado. Siguiendo esta metodología lo que hace nuestra aplicación es tomar todos los valores de energía y agrado de un usuario y reconocer la emoción asociada al estado de ánimo en el que se ubican las coordenadas del punto mapeado. Esta información se guarda en la base de datos como información histórica que el generador de recomendaciones multimedia tendrá en cuenta para recomendar nuevos elementos. En la siguiente figura 4.19 se muestra un ejemplo sobre como luce el medidor emocional con datos reales de un usuario.

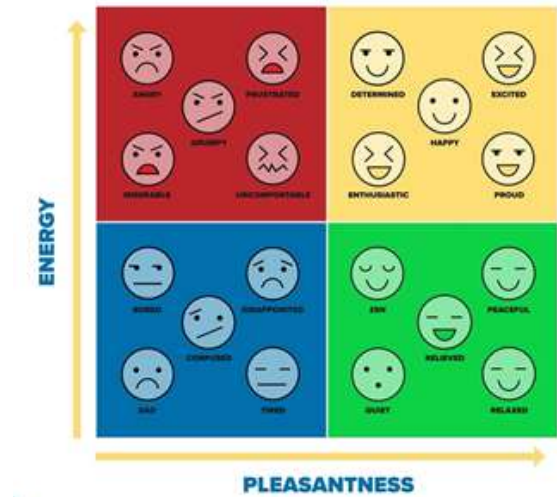


Figura 4.18: Ejemplo del medidor de estado emocional.

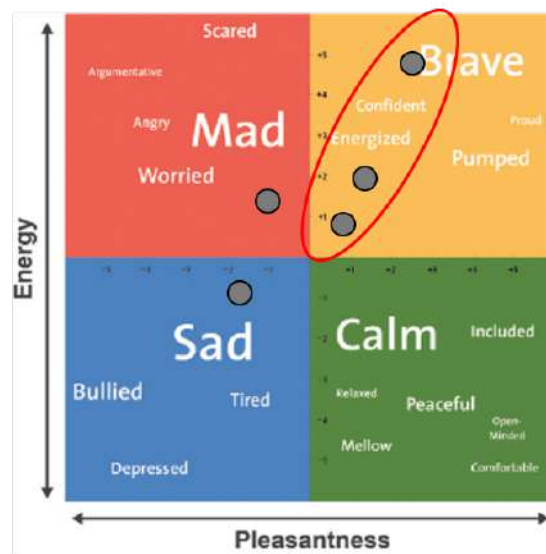


Figura 4.19: Medidor de estado emocional con datos.

Con estos datos correctamente ubicados en un cuadrante del medidor emocional inicia el trabajo del generador de recomendaciones para describir el tercer módulo que finalice con el sistema de recomendaciones.

4.3. Módulo III: Generador de recomendaciones multimedia

En este módulo el objetivo es mencionar el último módulo que compone a este sistema de recomendaciones. Aquí podremos examinar la forma de los datos que ya han pasado por los módulos anteriores y analizar la manera en que opera este generador de recomendaciones.

Primero es importante mencionar que este generador de recomendaciones no es capaz de recomendar contenido audiovisual de manera automática. Sin embargo es posible detectar tendencias a través de filtrar la información dada por el usuario. Posteriormente el sistema gráfica los datos generados en diferentes sesiones. Por lo que podemos decir que este no es un sistema de recomendaciones convencional. En su lugar, esta es una herramienta de asistencia en el análisis de la evolución del estado emocional del usuario a partir de diferente contenido audiovisual dónde el conjunto de este y los módulos anteriores consuman el sistema que le permite al profesional generar una recomendación audiovisual. En este módulo el objetivo es sencillo pues su trabajo individual consiste en ayudar al interesado a detectar tendencias de los diferentes estados emocionales de una manera gráfica y simple.

Este objetivo se alcanza a partir de filtrar la información con base a distintos parámetros que la página web ofrece. Recordemos que del módulo II en específico del medidor de estado emocional es posible esquematizar un punto dentro de los cuadrantes emocionales. Entonces cada uno de esos puntos o pares ordenados dentro del medidor emocional tiene información intrínseca importante. Recapitulando cada par ordenado de puntos dibujados en el medidor emocional tiene los siguientes datos:

- Nombre del usuario.
- Tipo de elemento multimedia.
- Cadena de texto con las palabras del usuario.
- Etiquetas multimedia.
- Fecha y hora de la sesión.

- Vector de entrada.
- Vector de salida.
- Estado emocional.
- Nivel de estado emocional.

Todos estos datos son el resultado de que la información de entrada se mueva por los diferentes módulos de sistema. Entonces como trabajo especial este módulo se encarga de facilitar la aplicación de filtros para que el interesado pueda detectar tendencias en el estado emocional del usuario de acuerdo a diferentes combinaciones.

En la siguiente figura 4.20 podemos echar un vistazo al generador de recomendaciones multimedia, que en primera instancia requiere que se filtren los datos a partir del usuario que este registrado en la base de datos. Después se necesita especificar el tipo de elemento multimedia que como ya sabemos son fotografías, imágenes y vídeos de diferente índole. Por último se requiere especificar un rango de tiempo para poder ubicar en el medidor emocional diferentes puntos.

Una vez que se han mostrado todos los puntos en el medidor emocional de acuerdo a los filtros, el generador de recomendaciones permite por medio del mismo medidor emocional al interesado detectar tendencias en el estado emocional del usuario que se ha filtrado. Sin embargo esta no es la única utilidad de este módulo. Ahora quién haya aplicado los filtros puede dejar que el sistema procese los datos y genere una recomendación en el momento. Dicha recomendación se toma con base solamente en la información intrínseca que aporta cada par ordenado de puntos que se observa en el medidor emocional. Así una vez que el sistema filtra dicha información, ahora es posible detectar cierta tendencia emocional hacia un tipo de elemento audiovisual para poder ayudar al profesional a entregar una opción de recomendación multimedia.

Ahora que todo el ciclo del sistema de recomendaciones ha quedado aclarado, solamente queda explicar en las últimas secciones de este capítulo un resumen sobre como el sistema de recomendaciones se integra para trabajar en conjunto, la metodología de desarrollo del sistema y mencionar los pasos de implementación para poner este proyecto en producción.



Figura 4.20: Captura de pantalla del módulo III. Generador de recomendaciones multimedia.

4.4. Pruebas de integración de software

El objetivo de las pruebas de integración es verificar el correcto ensamblaje entre los distintos componentes del sistema una vez que han sido probados unitariamente con el fin de comprobar que interactúan correctamente. Entonces para este proyecto las pruebas de integración consisten en examinar los datos que retorna cada módulo expuesto anteriormente. Esto también nos ayuda para asegurarnos que cada módulo es llamado cuando es necesario y que los datos o mensajes que se transmiten son los requeridos.

Debido a que en las pruebas unitarias es necesario crear módulos auxiliares que simulen las acciones de los componentes invocados, para simplificar este proceso en esta sección solamente se muestran fracciones de código importantes de cada módulo con su correspondiente explicación general. Un ejemplo de ello lo tenemos en la sección del *Módulo II* acerca de la transformación y procesamiento de la información donde se muestran bloques de código con la prueba unitaria del sistema controlador difuso.

Aunque existen diversos tipos de pruebas para la integración de software,

estas naturalmente estos se dividen en 2 clases. Primero esta la integración *incremental* y en segundo término la *no incremental*. La intención de esa sección no es entrar en los detalles de estas pruebas, sin embargo es importante mencionar que para este proyecto de investigación las pruebas de integración son no incrementales. Este tipo de prueba consiste en comprobar el funcionamiento correcto de cada componente o *módulo* de manera individual. Entonces si recapitulamos cuidadosamente podemos caer en cuenta que ya hemos ejecutado este procedimiento a lo largo de este capítulo seccionando cada módulo y explicando la funcionalidad que aportan al sistema de recomendaciones. Asimismo en la tabla 4.1 se muestra un resumen de la actividad que realiza cada módulo y el resultado que entrega.

Módulo	Actividad	Resultado
I	Procesamiento de voz para generar datos de entrada	vector de entrada (ve): (enojo,miedo,alegría,tristeza,disgusto)
II	Transformación de <i>ve</i> en datos difusos	vector de salida (vs):(agrado,energía)
III	Generador de recomendaciones multimedia	recomendación multimedia

Tabla 4.1: Resumen de la actividad y resultados que entregan los módulos del sistema

Con los resultados que entrega cada módulo es necesario resaltar los servicios que no se mencionan en la descripción de la actividad de la tabla 4.1. Este es el servicios de IBM Watson que es la IA encargada de transformar la voz obtenida del usuario a una cadena de texto y a su vez transforma dicha cadena a un vector emocional o vector de entrada (*ve*). En específico este proceso se ejecuta cada vez que el usuario inicia una conversación con el agente TjBot, este comienza una comunicación con el servicio web *Language translator* (un servicio interno de IBM Watson) para traducir las palabras del idioma español a idioma inglés, dado que este es el único idioma soportado por el servicio. Una vez que el sistema obtiene una versión traducida de español-inglés de la conversación se procesa la cadena de texto completamente por segundo servicio *Tone Analyzer* (también servicio inter de IBM Watson) para retornar *ve* como el de la figura 4.21.

```
// salida del modulo I
salida={
  usuario: "Ejemplo",
  multimedia: "musica",
  texto_voz: "La música de Michael Jackson es la mejor",
  etiquetas: ["Michael-Jackson", "Thriller", "1990", "rey-del-pop"],
  Angry: 0.0421,
  Fear: 0.2352,
  Joy: 0.7422,
  Sadness: 0.0121,
  Disgust: 0.1798
}
```

Figura 4.21: Vector de entrada: resultado del módulo I.

Una vez que el sistema ha guardado el vector de salida en la base de datos, toda la información queda disponible para ser requerida las veces necesarias. Entonces es así que el sistema llama al siguiente módulo. El módulo de transformación y procesamiento funciona a partir de introducir un vector que contenga la siguiente información:

- Nombre de usuario.
- Tipo de multimedia.
- Valores emocionales [Enojo, Miedo, Alegría, Tristeza y Disgusto].

Para obtener esta información basta con filtrar la información que retorna el primer módulo. Así entonces con la información de entrada disponible, el sistema transforma los valores emocionales en dos componentes (energía y agrado). Una vez que se ha logrado extraer del vector emocional la información necesaria para ser representada por valores de energía y agrado, dichos valores pasan a ser pares ordenados que pueden ser esquematizados dentro del medidor emocional. En la figura 4.22 que muestra el resultado que deja este módulo a partir de una entrada válida.

Entonces para finalizar con el proceso, toda la información recolectada se transfiere al generador de recomendaciones multimedia. A diferencia de los módulos anteriores este generador no necesita un vector de entrada o pasar por un procesamiento complejo para retornar información. Lo que pretende este módulo es ser un puente entre el usuario y toda la base de conocimiento que tiene el sistema en su memoria. Así quién esté usando el generador de recomendaciones multimedia puede filtrar la información con base en distintos parámetros, y de esa forma descubrir tendencias o relacionar un estado emocional con algún elemento multimedia específico. Este módulo está incluido dentro del sistema de procesamiento de voz y etiquetado multimedia como una herramienta que completa el funcionamiento del sistema de recomendaciones.

4.4.1. Resumen

En esta sección se han detallado los módulos que componen al sistema de recomendaciones. Aquí se ha resaltado el hecho de que este sistema está dividido en módulos independientes que trabajan de manera conjunta para generar los resultados. También a lo largo de este capítulo se destaca el proceso de transformación de los datos al pasar por cada módulo del sistema. Se ofrece una descripción desde la metodología de recolección de la información para generar los datos iniciales, siguiendo por la transformación de los datos al pasar por el controlador difuso para descomponer los resultados en dos

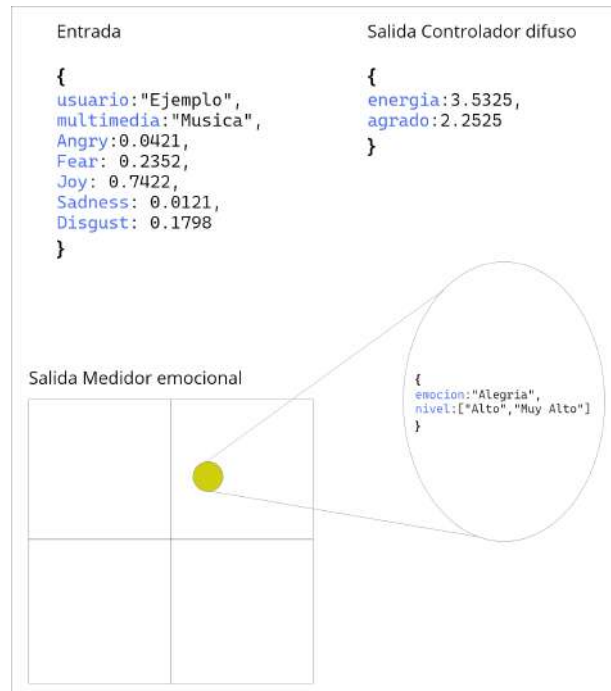


Figura 4.22: Vector de salida del módulo II.

componentes que se pueden visualizar en una cuadrícula emocional, hasta la generación de una recomendación multimedia. En el siguiente capítulo se describen las pruebas realizadas en un grupo experimental de adultos mayores y se discuten los resultados obtenidos de utilizar nuestra metodología de obtención de datos para desarrollar el sistema de recomendaciones multimedia

Capítulo 5

Pruebas y resultados de la implementación

En este quinto capítulo se describen las pruebas realizadas y los resultados del experimento, de manera que toda la estructura previa a este capítulo toma forma. Entonces este capítulo comienza detallando el diseño del experimento. Aquí se distingue principalmente la estructura del experimento, es decir; se resaltan las características de los participantes y se describen las actividades realizaron. La descripción de este experimento termina con una tabla comparativa que revela una diferencia en la duración teórica y duración real de las actividades que realizan los participantes.

En este experimento se toman datos cualitativos a través de una encuesta tipo Likert la cuál hace posible transformar datos cualitativos a información cuantitativa. Con estos datos es posible desarrollar un análisis preliminar del experimento. Entonces con dicha descripción cuantitativa de los usuarios se establece una comparación entre el tiempo que han tardado en la actividad con el tiempo calculado. Una vez resuelto este análisis, el capítulo continua con el tema central que son los resultados de la puesta en marcha del sistema de recomendaciones, recordando que desde la sección del desarrollo del sistema conocemos que este encuentra dividido en 3 módulos independientes. Entonces en este punto se indican los resultados que produce el conjunto de datos al pasar por cada uno de estos módulos. Para finalizar con este capítulo se busca analizar los resultados obtenidos a partir de la generación de nuevas recomendaciones del sistema. Este capítulo concluye con una secuencia de

tablas que resumen las recomendaciones multimedia del sistema hacia los participantes del experimento.

5.1. Diseño del experimento

5.1.1. Objetivo del experimento

En esta investigación el objetivo es detectar el estado emocional de un usuario al ser estimulado por elementos audiovisuales. Esta sección se relaciona en atención a cubrir algunos puntos específicos que envuelve el objetivo general de este proyecto. Por lo que en esta sección los puntos a cubrir son:

1. Mostrar el nivel de aceptabilidad de los usuarios hacia el uso del sistema de recomendaciones.
2. Describir los resultados obtenidos que permitan dejar una base para proponer una situación donde la calidad de las nuevas recomendaciones multimedia tengan el efecto esperado en posteriores interacciones.

5.1.2. Descripción del experimento

En esta sección el propósito es describir el experimento. Este consiste en una actividad de estimulación cognitiva a través de la presentación de elementos multimedia en un entorno de realidad aumentada. En esta actividad el usuario expuesto a los elementos multimedia debe exteriorizar sus comentarios sobre dichos elementos en voz alta.

De manera simultanea a la exposición de los elementos multimedia, se coloca un robot o *agente inteligente* a un lado del usuario. Dicho agente se encarga de escuchar y transcribir todos los comentarios del usuario a un formato de cadenas de texto, así el agente inteligente procesa estas cadenas, y como resultado retorna los diferentes estados emocionales detectados.

Entonces durante la actividad se busca que el usuario se exprese de manera regular sobre los elementos multimedia a los que se ha expuesto. Mediante esta interacción el agente inteligente guarda el estado emocional asociado con cada uno de los elementos, así podrá aprender a recomendar elementos multimedia

que tengan una conexión cercana hacia ellos. Los elementos multimedia para este experimento son de 3 tipos listados a continuación:

1. Tipo 1: Música
2. Tipo 2: Imágenes
3. Tipo 3: Vídeo

Para esta aproximación los elementos multimedia han sido seleccionados manualmente. Sin embargo, es conveniente mencionar que dichos elementos no se han tomado al azar. Como criterio principal se toma en cuenta el gusto popular de las personas acorde a la edad y género de los usuarios participantes. En la siguiente secuencia de tablas (vea tablas 5.1, 5.2 y 5.3) se resume la información de los elementos multimedia utilizados en cada sesión.

Música multimedia						
mult_id	titulo	artista	album	año	tipo	num_tipo
mus_001	la primera caricia	vicente fernandez	el hijo del pueblo	1975	música	1
mus_002	estos celos	vicente fernandez	album desconocido	1990	música	1
mus_003	payasito	enrique guzman	mis 30 mejores canciones	1998	música	1
mus_004	sin ti	los panchos	todo panchos	1990	música	1
mus_005	acompañame	rocio durcal	acompañame	1996	música	1

Tabla 5.1: Elementos de música multimedia para la estimulación cognitiva

Los participantes en este experimento son 4 adultos mayores que promedian 71.5 años. Este dato funciona como un indicador para elegir manualmente los elementos multimedia conforme el gusto popular de los años 70's y 80's. Asimismo los 4 participantes son miembros del Instituto de la Memoria. Todos ellos con un diagnóstico de **deterioro cognitivo bajo**. Esta situación permite que la dirección al participante sea más sencilla, pues tomando en cuenta la brecha generacional, este tipo de aproximaciones con tecnología moderna puede parecer confusa. Para concluir con la información de los usuarios, en la tabla 5.4 se muestra un resumen de las características relevantes de los participantes:

Con esta información previa es importante mencionar que en esta investigación se ha desarrollado una secuencia de indicaciones para que la ejecución de la actividad sea entendible para el usuario y para el encargado de aplicar la actividad. Dicha secuencia se detalla en el capítulo anterior 4 sobre el desarrollo del sistema.

Imágenes multimedia			
mult_id	titulo	tipo	num_tipo
img_001	plaza_fundadores_leon	imagen	2
img_002	arco_de_la_calzada	imagen	2
img_003	catedral_leon	imagen	2
img_004	templo_expiatorio_leon	imagen	2
img_005	mercado_hidalgo_leon	imagen	2
img_006	plaza_toros_leon	imagen	2
img_006	teatro_manuel_doblado_leon	imagen	2
img_008	autobus_urbano_1980	imagen	2
img_009	palacio_municipal_leon	imagen	2
img_010	arco_de_la_calzada_leon_1980	imagen	2
img_011	palacio_bellas_artes_1980	imagen	2

Tabla 5.2: Elementos de imágenes multimedia para la estimulación cognitiva

Vídeos multimedia				
mult_id	titulo	artista	tipo	num_tipo
vid_001	todo por un caballo	Pedro Infante	video	3
vid_002	dos tipos de cuidado	Jorge Negrete	video	3
vid_003	el novillo despuntado	las jilguerillas	video	3
vid_004	los tres garcia	Pedro Infante	video	3
vid_005	el bolero de raquel	cantinflas	video	3

Tabla 5.3: Elementos de vídeo multimedia para la estimulación cognitiva

En resumen en ese capítulo a los usuarios se les da un documento de consentimiento informado y un acuerdo de confidencialidad para proteger su información. Además se les proporciona un volante informativo para comprender el funcionamiento de la AppRA en pocos pasos. La metodología completa de esta interacción se encuentra detallada en la sección sobre el desarrollo del sistema de recomendaciones.

Para comenzar con la actividad entre el usuario, el agente inteligente y el encargado de la actividad, el último debe iniciar tomando uno de los marcadores multimedia para ubicarlo frente al usuario. Una vez que los elementos multimedia comienzan a reproducirse, el usuario inicia la conversación con el

Información general de los participantes		
Id. Participante	Género	Edad
1	Femenino	77
2	Femenino	69
3	Masculino	67
4	Femenino	73

Tabla 5.4: Tabla información general de los participantes

agente inteligente. En este escenario el usuario se expresa verbalmente y con total libertad (vea figura 5.1).



Figura 5.1: Sesión de trabajo con usuario del Instituto de la Memoria.

Entonces el flujo de la actividad consiste en mostrar cada tipo de marcador multimedia al usuario 10 minutos por tipo multimedia. En cada una de la sesiones el orden de los marcadores multimedia fue el mismo para cada uno de los usuarios:

1. Tipo 1: Música
2. Tipo 2: Imágenes
3. Tipo 3: Vídeo

Por su parte la aplicación de realidad aumentada solicita al usuario antes de comenzar cada sesión ingresar su estado emocional. De esta manera la

aplicación guarda en su base de datos el estado emocional auto-percibido previo y posterior a cada estímulo multimedia. Para conocer en detalle este flujo de la información en el capítulo 4 sobre desarrollo del sistema se menciona esta metodología de forma detallada. Por ahora sírvase de la figura 5.2 donde se puede observar el diagrama de flujo con la interacción completa entre el usuario, la aplicación de realidad aumentada y el agente inteligente.

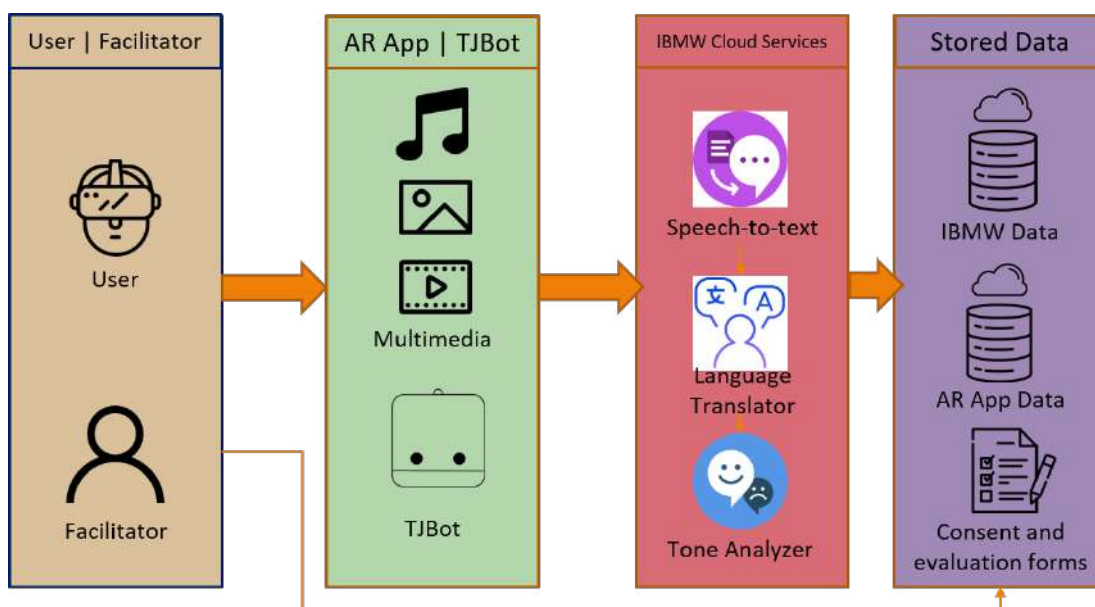


Figura 5.2: Diagrama de bloques: flujo de interacción con la aplicación de Realidad Aumentada y Agente inteligente

Al iniciar las actividades el tiempo convenido para la interacción fue de **30 minutos** por usuario ya que en la literatura, en específico en el trabajo de [Olazarán et al., 2010] este recomienda dicho tiempo actividades de esta índole. Así con este tiempo inicial teórico, la actividad estaría dividida en 3 bloques de 10 minutos para la estimulación cognitiva con cada una de las categorías de elemento multimedia. Sin embargo, este tiempo teórico no toma en consideración factores externos a la actividad. En la tabla 5.5 se registra el tiempo real que le toma al usuario finalizar la actividad con respecto al tiempo teórico.

A partir de la información de la tabla anterior se calcula el tiempo promedio de duración tomando el tiempo real que duró cada sesión y dividiéndolo por el número total de usuarios que participaron en la actividad, dejando 35 minutos de tiempo promedio.

Usuario	Horario agendado	Horario real	Tiempo real (min)
u1	10:30 - 11:00	10:30 - 11:20	50
u2	12:00 - 12:30	12:10 - 12:40	30
u3	13:00 - 13:30	13:05 - 13:20	15
u4	13:30 - 14:00	13:30 - 14:15	45

Tabla 5.5: Resumen de duración en la sesiones de trabajo con usuarios del Instituto de la Memoria

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^4 \text{tiempo_real}}{\text{total_usuarios}} = \frac{50 + 30 + 15 + 45}{4} = \frac{140}{4} = 35 \quad (5.1)$$

Con esta información, pese a que no es una muestra representativa, se puede especular que en posteriores sesiones de actividad se contemplen al menos 35 minutos de actividad por usuario. Brevemente antes examinar los resultados de este experimento es indispensable indicar las condiciones bajo las que se realizó la actividad, además de mencionar quiénes validaron la metodología de interacción.

Dicho lo anterior, el experimento se realizó dentro de las instalaciones del Instituto de la Memoria. En este lugar el personal encargado de los adultos mayores acondicionó un espacio que cumplía con las siguientes características:

1. Aislado de ruido externo.
2. De dimensiones generosas para caminar.
3. Asientos cómodos para usuario y encargado de la actividad.
4. Disposición completa del espacio para un usuario.

Con estas características del espacio resueltas y con una constante comunicación con los cuidadores de los pacientes se obtuvo la validación de la metodología propuesta. Con la puesta en escena del experimento, la siguiente parte se dedica a realizar un análisis estadístico sobre los resultado obtenidos en el experimento.

5.2. Análisis estadístico de los resultados del experimento

Para iniciar con el análisis de la información primero analizamos las respuestas de los usuario obtenidas a través de la aplicación de una encuesta con preguntas elaboradas por un psicólogo empleado del instituto donde se realizó el experimento. Dicha encuesta esta preparada en un formato estilo *Likert* para facilitar la investigación de un fenómeno intangible. De la encuesta se debe agregar que esta se aplica al final de la sesión y consta de 12 preguntas identificadas en la primera columna del formato. Las siguientes 5 columnas de la encuesta se identifican con diferentes leyendas que van desde *En desacuerdo* que indica una puntuación 1 hasta *Totalmente de acuerdo* cuyo puntaje es 5. En estas columnas el usuario marca el grado de acuerdo con respecto a la pregunta. En la lista a continuación se muestra el puntaje asociado a cada grado de concordancia:

Los valores del rango de la prueba Likert van de acuerdo a la siguiente escala:

- 1 - Totalmente en desacuerdo.
- 2 - En desacuerdo.
- 3 - Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- 4 - De acuerdo.
- 5 - Totalmente de acuerdo.

Entonces a través de sumar y promediar los puntajes obtenidos de las respuestas del usuario se evalúan tres aspectos de la actividad:

1. Efecto de reminiscencia (Rem).
2. Duración de la actividad y orden de los elementos multimedia (O&D).
3. Experiencia de usuario (UX).

En la tabla 5.6 se listan todas las preguntas que contiene la encuesta. De esta tabla la primera columna (**ID**) indica el código único asociado cada pregunta para poder identificarlas de forma simple. La segunda columna muestra el aspecto a evaluar (vea lista aspectos de la actividad) resaltado con el título **Categoría** seguida del aspecto indicado en su formato abreviado. El formato completo de la encuesta se encuentra disponible en el apéndice C de este trabajo.

ID	Categoría	Pregunta
p1	Rem	¿Los vídeos observados favorecen el recuerdo de experiencias pasadas?
p2	Rem	¿Las fotografías observados favorecen el recuerdo de experiencias pasadas?
p3	Rem	¿La música favorece el recuerdo de experiencias pasadas?
p4	O&D	¿El orden de los marcadores facilito el recuerdo de experiencias previas?
p5	O&D	¿El orden de los vídeos fue adecuado?
p6	O&D	¿La duración de la música fue adecuada?
p7	O&D	¿La duración entre cada imagen fue la correcta?
q1	UX	¿La aplicación fue sencilla de usar?
q2	UX	¿Durante la sesión tuvo dificultades con la aplicación?
q3	UX	¿Considera la asistencia de un facilitador de la actividad como necesaria?
q4	UX	¿Considera que la mayoría de las personas pueden utilizar la aplicación?
q5	UX	¿Le gustaría utilizar esta aplicación frecuentemente?

Tabla 5.6: Listado de preguntas de la prueba Likert

Como ya se ha mencionado anteriormente, la encuesta se ha aplicado al final de la sesión de actividad con cada uno de los usuarios. A continuación en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9 se muestran los puntajes obtenidos de los tres aspectos evaluados. En la tabla 5.7 se muestra el puntaje del efecto de reminiscencia (REM) de los elementos audiovisuales presentados al usuario. los resultados del efecto de reminiscencia de los elementos multimedia. En psicología REM es un procedimiento psicológico que puede tomar gran variedad de formas. En su forma más básica, este efecto envuelve la discusión de actividades pasadas, eventos y experiencias con la ayuda de elementos tangibles (i.e. fotografías, objetos familiares del pasado, música o vídeos) [Woods et al., 2005]. Entonces la tabla muestra el grado de “acuerdo” con las primeras tres preguntas de la encuesta ($p1$ a $p3$).

Rem				
usuario	p1	p2	p3	ptsUsuario
u1	4	2	2	8
u2	5	5	4	14
u3	5	3	5	13
u4	4	4	3	11
ptsPregunta	18	14	14	46

Tabla 5.7: Puntaje del efecto de reminiscencia

De manera puntual en la tabla 5.7 se observa que el usuario $u2$ obtuvo el puntaje más alto de la columna $ptsUsuario$, lo que significa que fué el participante con mayor efecto de reminiscencia debido a los elementos presentados. Por otro lado, el usuario $u1$ obtuvo el puntaje más bajo. Para puntualizar el motivo de este puntaje se puede observar que en específico los elementos audiovisuales que no provocaron la reminiscencia esperada fueron las fotografías y la música (preguntas $p2$ y $p3$). Más adelante se observa si esta circunstancia se encuentra relacionada con los otros dos aspectos evaluados. Por último se resalta el puntaje de la pregunta $p1$ donde se indica que los vídeos presentados en la sesión provocaron la mayor reminiscencia. En la figura 5.3 muestra el histograma de la tabla 5.7 que ilustra lo ya mencionado en el párrafo anterior.

Continuando con el orden y duración de los elementos multimedia, los puntajes obtenidos muestran (vea tabla 5.8) la aceptación por parte del usuario $u3$ sobre la secuencia de los elementos y la duración de cada uno de ellos, re-

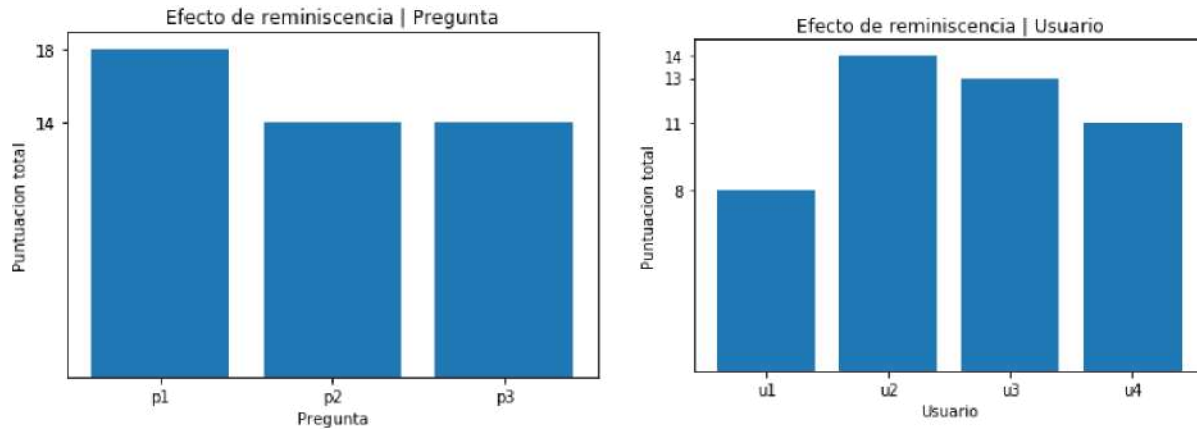


Figura 5.3: Histograma del puntaje obtenido por el efecto de reminiscencia

cordando que cada sesión duró 30 minutos aproximadamente, por tanto cada sección de elementos multimedia fue de 10 minutos. No obstante el usuario $u1$ tuvo el puntaje más bajo debido a que los marcadores de realidad aumentada no se presentaron en una secuencia con la que estuviera de acuerdo (pregunta $p4$). Sin embargo en términos generales la duración de los elementos fue bien aceptada, mientras los vídeos y la música tuvieron la duración correcta muestran que tuvieron la duración correcta (3 minutos aproximadamente).

O&D					
usuario	p4	p5	p6	p7	ptsUsuario
u1	2	4	3	3	12
u2	4	4	4	4	16
u3	4	4	5	4	17
u4	4	4	4	4	16
ptsPregunta	14	16	16	15	61

Tabla 5.8: Resultados duración y orden de los elementos multimedia

Por último los resultados de la tabla 5.9 reflejan la experiencia de usuario. Aquí los datos sugieren que la aplicación es sencilla de utilizar y no requiere de mayor esfuerzo técnico. Sin embargo en las respuestas a las preguntas $q2$ y $q3$ se esperan valores bajos, por consecuencia la puntuación de $u2$ (vea figura 5.5) indica una mala experiencia con la aplicación al presentar fallos técnicos durante la sesión.

En resumen de la prueba con pacientes del instituto de la memoria podemos concluir que para favorecer el recuerdo de experiencias previas, los vídeos mostrados tuvieron un mayor impacto en los usuarios, mientras que, con

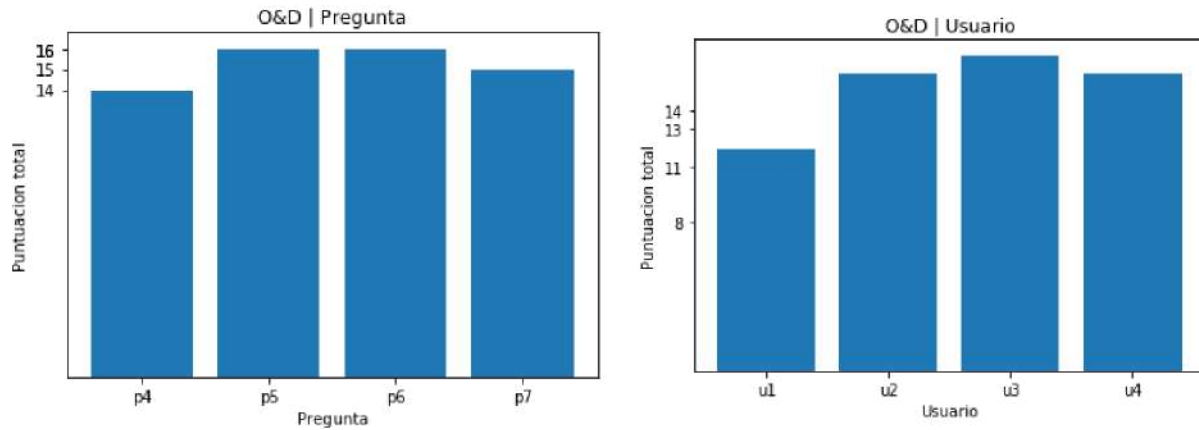


Figura 5.4: Resultados orden y duración de los elementos multimedia

UX						
usuario	q1	q2	q3	q4	q5	ptsUsuario
u1	4	4	1	4	4	17
u2	5	4	4	4	3	20
u3	4	1	2	4	4	15
u4	4	4	2	4	2	16
ptsPregunta	17	13	9	16	13	68

Tabla 5.9: Resultados sobre la experiencia de usuario

respecto al orden y duración de los elementos multimedia mostrados en las sesiones, la música obtuvo los mejores resultados como así lo muestra los datos anteriormente descritos.

5.2.1. Procesamiento de los datos del experimento

En esta sección se muestran los resultados obtenidos después de ingresar los datos emocionales obtenidos en el experimento al segundo módulo del sistema de recomendaciones. El objetivo de este proceso es buscar una relación entre los resultados de la encuesta y el procesamiento del vector de entrada con el sistema de recomendaciones. Entonces de acuerdo con la información preliminar del experimento, durante la sesión con los participantes, se sabe que estos fueron estimulados con los elementos audiovisuales indicados en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3. Por conclusión cada sujeto ha sido expuesto a 21 elementos diferentes, siendo la distribución de los elementos de la siguiente forma:

- 5 canciones.

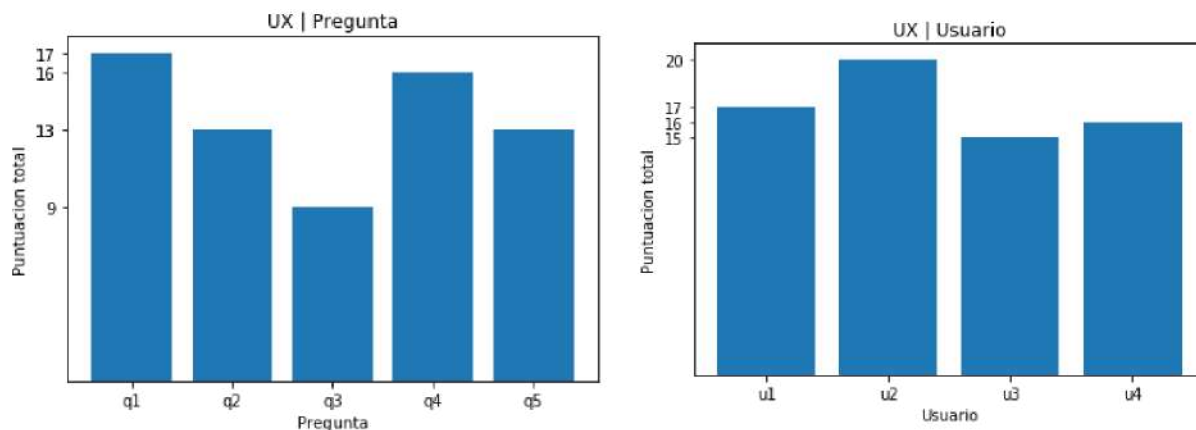


Figura 5.5: Resultados experiencia de usuario

- 11 fotografías.
- 5 vídeos.

Por lo tanto la base de datos tiene 84 registros para ser analizados. Así entonces en la tabla 5.10 se presenta un resumen estadístico básico indicando las medidas de tendencia central (MTC) por emoción. Entonces las columnas de valores emocionales que van desde *enojo* hasta *disgusto* corresponden a los grados de compatibilidad asociados a la emociones medidas por el servicio de *Tone analyzer*, que como ya se han mencionado estos se encuentran contenidos en el intervalo $[0, 1]$. Por otro lado los datos en las dos últimas columnas corresponden a las salidas del sistema difuso el cual tiene un rango de $[-5, 5]$.

	enojo	miedo	alegria	tristeza	disgusto	agrado	energia
mean	0.361840	0.314532	0.445280	0.394567	0.273254	-0.079521	-0.181231
std	0.315018	0.280359	0.329123	0.299242	0.302762	2.079164	2.249057
min	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-4.724063	-4.905887
25 %	0.074372	0.111413	0.142650	0.125909	0.020276	-1.344225	-1.477921
50 %	0.262132	0.216722	0.393295	0.336697	0.133677	-0.135703	-0.440784
75 %	0.638398	0.428311	0.758654	0.617980	0.503929	0.788370	0.726525
max	0.994945	0.970441	0.998019	0.993893	0.955519	4.889139	4.977058

Tabla 5.10: Resumen de la información emocional

En la figura 5.6 se muestra en un diagrama de cajas una relación visual con respecto a la tabla 5.10. Con este diagrama es posible visualizar la distribución de cada una de las emociones y el valor promedio resaltado por una línea

horizontal color naranja. Esta además permite observar que tan dispersos se encuentran los datos debido al tamaño de la caja a partir de la línea hacia arriba y hacia abajo. Por ejemplo; en la emoción miedo se observa que el valor promedio (línea naranja) está aproximadamente en el valor 0.2, por tanto a partir de la línea naranja hacia arriba indica que el 75% de los datos están más dispersos que el otro 25% (línea naranja hacia abajo). Además en dicha emoción se pueden observar algunos puntos de color negro en la parte superior de la caja. Estos son valores atípicos, es decir; datos extraños que no concuerdan con la distribución de la emoción miedo. Entonces el proceso de razonamiento es el mismo para cada emoción. Sin embargo este diagrama sirve únicamente para relacionar de forma rápida la distribución de las características y detectar en donde se encuentra el promedio con respecto a cada una de las características.

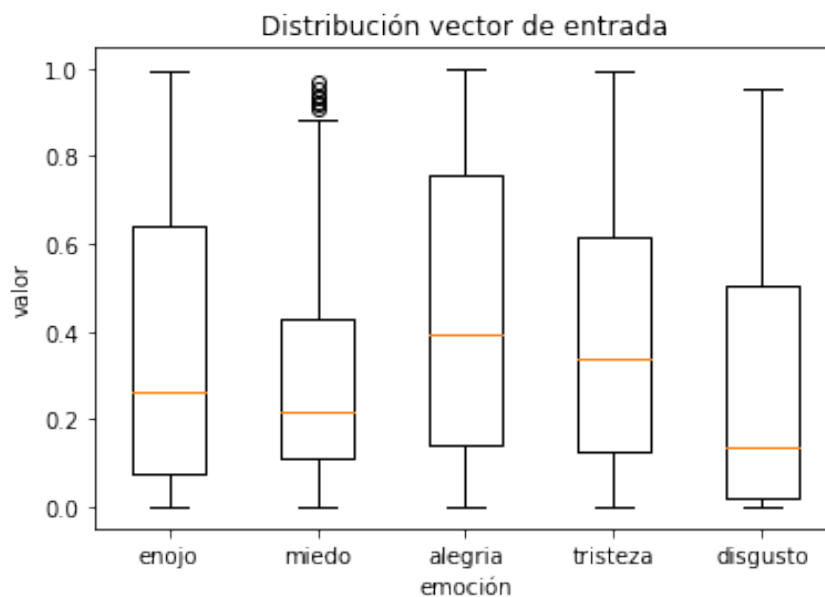


Figura 5.6: Diagrama de cajas de la distribución del vector de entrada

Observando la figura 5.7 podemos darnos cuenta que el promedio de las componentes de *agrado* y *energía* tienen valores promedio cercanos (-0.0795 y -0.01812) con una distribución similar. Si tomamos dichos valores promedio y los graficamos en el medidor emocional podemos darnos cuenta que dicho punto se sitúa en el cuadrante del estado emocional tristeza. Esta información es relevante en el sentido de que muestra que en promedio los participantes presenta un estado emocional triste. Sin embargo estos valores a pesar de situarse en dicho cuadrante son en grados de pertenencia muy bajos.

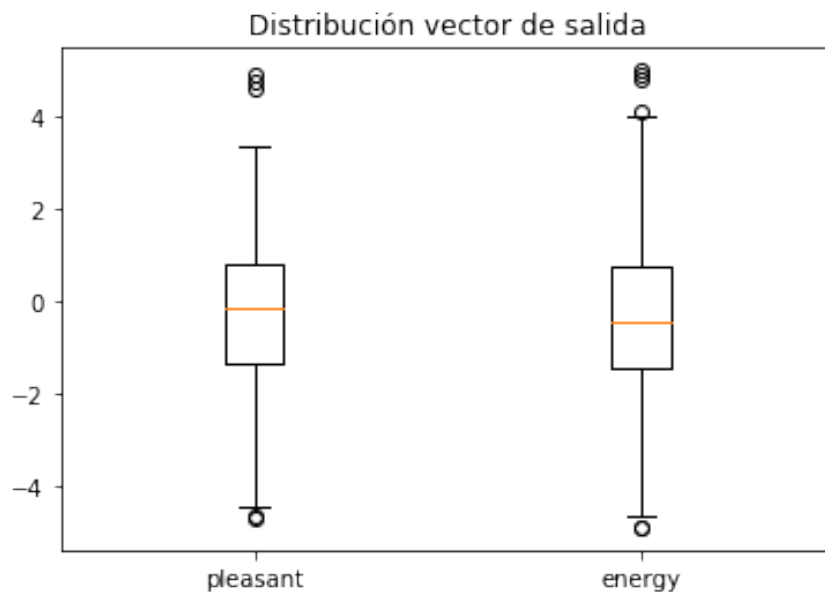


Figura 5.7: Distribución del vector de salida

Continuando con los resultados de las componentes de energía y agrado, recordemos que estos datos componen la salida del controlador difuso con valores que están en el intervalo de $[-5, 5]$. En la tabla 5.11 se muestran dichas salidas agrupadas en un nivel de pertenencia. Los niveles de pertenencia son:

- Muy bajo (MB).
- Bajo (B).
- Neutro (N).
- Alto (A).
- Muy alto (MA).

Entonces en la tabla cuenta la cantidad de elementos multimedia asociados a los resultados de salida que el controlador difuso genera. Para facilitar la lectura de estos datos en la figura 5.8 se muestra la agrupación de los elementos audiovisuales en términos de la componente *Energía*. Así mismo podemos observar que la mayoría de las imágenes se sitúan en el nivel de pertenencia *MB*, 4 en *N* y solo 1 en *MA*. De manera similar ocurre con el audio y los vídeos. Sin embargo esto no es necesariamente algo negativo, sino que el nivel de energía con el que se expresan las emociones no es para nada alto.

elemento \ pertenencia	MB	B	N	A	MA	total
imagen	11	0	4	0	1	16
audio	5	0	2	0	0	7
video	5	0	3	0	0	8
total	21	0	9	0	1	31

Tabla 5.11: Nivel de pertenencia de la componente energía

Nivel de pertenencia del componente de energía

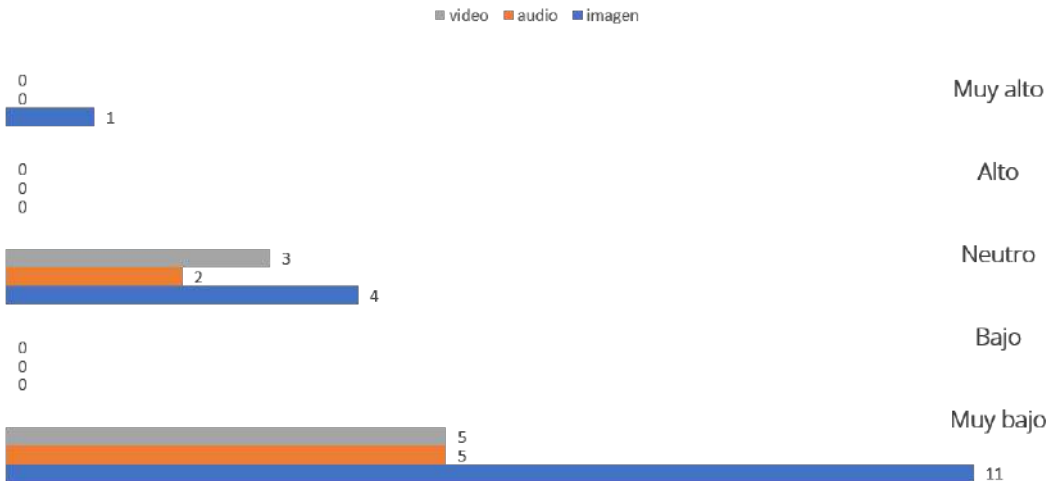


Figura 5.8: Distribución de la componente energía

Continuando con el siguiente componente en la tabla 5.12 se muestran los resultados en términos de la componente *Agrado*. Nuevamente observamos que el nivel de pertenencia de los elementos recae en su mayoría en el grupo *MB*. Sin embargo en esta ocasión a diferencia de la componente anterior, encontramos una mayor cantidad de elementos audiovisuales en el grupo neutro. Así entonces en la figura 5.9 podemos observar que no hay ningún elemento en los grupos B, A y MA.

elemento \ pertenencia	MB	B	N	A	MA	total
imagen	11	0	7	0	0	18
audio	5	0	0	0	0	5
video	5	0	3	0	0	8
total	21	0	10	0	0	31

Tabla 5.12: Nivel de pertenencia del componente agrado

Nivel de pertenencia del componente de agrado

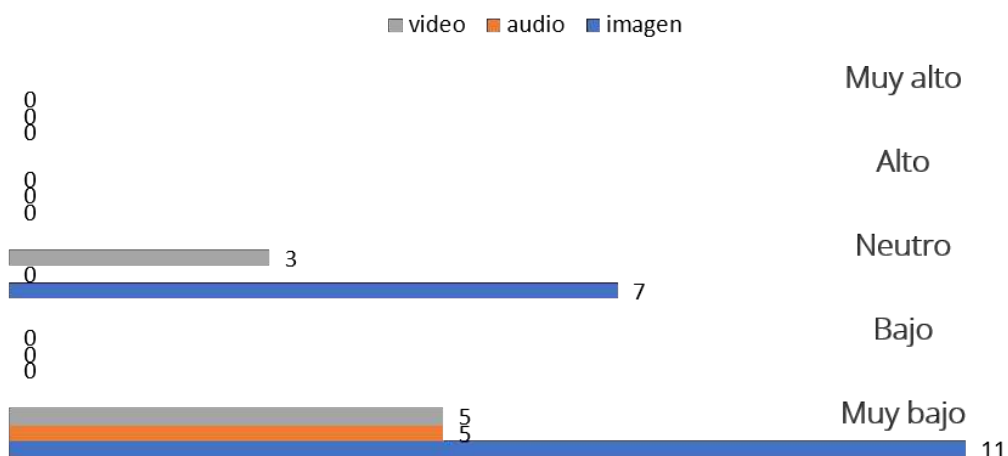


Figura 5.9: Distribución del componente agrado

5.2.2. Conjunto de reglas difusas

Ahora se muestra el conjunto de reglas difusas utilizadas para producir las componentes de energía y agrado. Recordando el capítulo 4 de este escrito, el sistema de recomendaciones utiliza como entrada un vector emocional con 5 emociones detectadas por el servicio *Tone analyzer* dadas las palabras de un usuario. Después ese mismo vector de entrada dispara la funcionalidad del segundo módulo que transforma las emociones en componentes de energía y agrado. Para lograr esta transformación se requiere de un sistema controlador difuso mencionado en el capítulo 3. Este sistema requiere de un conjunto de reglas de control para funcionar. Entonces dichas reglas se muestran a continuación en la tabla 5.13. En esta tabla se resumen las reglas de control donde todas funcionan bajo la regla *IF-THEN* o "Si Entonces". La nomenclatura de la tabla 5.13 es la siguiente:

- Low (L).
- Medium (M).
- High (H).
- Medium Low (ML).
- Medium High (MH).

Enojo	Miedo	Alegría	Tristeza	Disgusto	Entonces	Energía	Agrado
L	L	H	L	L	-	H	MH
L	L	M	L	L	-	MH	MH
L	L	H	L	M	-	H	MH
M	M	L	M	L	-	ML	MH
L	L	M	L	L	-	MH	ML
L	L	H	L	M	-	L	MH
L	L	H	L	H	-	MH	H
H	M	L	M	H	-	H	ML
L	M	L	L	L	-	MH	MH
M	L	M	L	M	-	MH	L
M	M	L	L	L	-	H	L
M	M	L	H	L	-	H	L
H	L	L	L	L	-	H	ML
L	L	L	L	L	-	ML	L
M	L	L	L	M	-	L	ML
L	L	L	L	H	-	L	ML
L	L	L	M	M	-	L	L
L	M	L	H	L	-	MH	ML
L	L	L	H	L	-	ML	L
L	M	H	L	M	-	H	H
L	L	L	M	L	-	ML	MH
L	L	H	M	M	-	L	ML
L	L	M	M	L	-	ML	ML
H	M	L	M	L	-	H	ML
L	L	H	L	M	-	MH	ML

Tabla 5.13: Resumen del conjunto de reglas difusas

Un ejemplo para interpretar el contenido de la tabla 5.13 es el siguiente: "**SI** *enojo* es L y *miedo* es L y *alegría* es M y *tristeza* es L y *disgusto* es L **ENTONCES** *energía* es MH y *agrado* es MH".

5.2.3. Generación de recomendaciones multimedia

Para generar las recomendaciones multimedia el sistema toma de su base de datos los valores de las componentes agrado y energía obtenidas por el controlador difuso y que están asociadas a un elemento audiovisual. En la figura 5.10 se puede observar una nube de puntos que representa la interacción de los usuarios con los diferentes elementos multimedia. El sistema utiliza las componentes de agrado y energía para utilizarlas como un par ordenado (x, y) y situarlo dentro la cuadrícula emocional (vea capítulo 4) para asociar cada punto con un estado emocional. A simple vista podemos observar que la nube de puntos se encuentra mayormente concentrada en el centro de la cuadrícula, donde los niveles de energía y agrado son bajos.

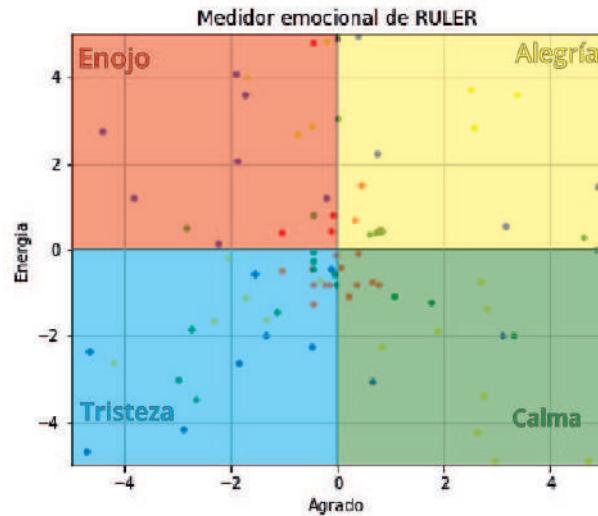


Figura 5.10: Datos de energía y agrado representados en el medidor emocional

Entonces en la figura 5.11 se muestra la distribución que toman las componentes de *Agrado* y *Energía* calculada a partir de la frecuencia de aparición de valores de dichas componentes. En esta gráfica se puede observar que la mayor frecuencia de los datos está contenida en el intervalo que va de $[-2, 2]$. Así entonces es posible relacionar la concentración de la nube de puntos en el centro de la cuadrícula afectiva de la figura 5.10 con la gráfica. Esta información se retoma más adelante para comparar la distribución de los datos después de establecer un sistema de puntaje.

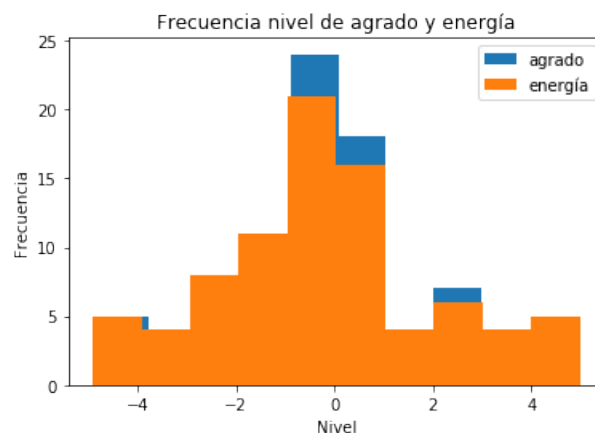


Figura 5.11: Histograma que visualiza la frecuencia de los niveles de agrado y energía

Para generar una recomendación audiovisual el sistema de recomendaciones establece un sistema de calificaciones con base en la componente del *Agra-*

do para establecer una métrica que relacione el nivel de agrado del usuario hacia un elemento multimedia con una calificación que va de 0 a 5 puntos. El procedimiento para obtener estas calificaciones se encuentra en el capítulo 4. En resumen el sistema de recomendaciones establece una calificación siguiendo los criterios a continuación:

- Si $x = 0$ entonces $y = 1$
- Si $0 < x \leq 0.25$ entonces $y = 2$
- Si $0.25 < x \leq 0.5$ entonces $y = 3$
- Si $0.5 < x \leq 0.75$ entonces $y = 4$
- Si $x > 0.75$ entonces $y = 5$

De los criterios listados la variable x e y representan el dato de la componente agrado y la calificación asignada respectivamente. Los puntos o calificaciones que se otorgan van de $Totaldesagrado = 1$ a $Totalagrado = 5$. Aplicando estas condiciones el sistema relaciona el nivel de agrado que muestra cada usuario hacia los elementos audiovisuales. En la figura 5.12 podemos observar la frecuencia con la que cada tipo de elemento audiovisual ha sido calificado, donde visualizamos que las imágenes tienen la mayor frecuencia en todas las calificaciones -ya que son la mayoría de los elementos- y, por consecuencia son los elementos con mayor frecuencia en todas las calificaciones dadas. En cuanto a los vídeos y audios, el último recibe en menor frecuencia calificaciones entre [3, 4] puntos, mientras que los vídeos son los peor evaluados en el rango de 5 puntos de calificación.

Con la información anterior el sistema genera el primer conjunto de recomendaciones audiovisuales utilizando el enfoque de las mejores n recomendaciones o “top- n recommendations”. Con este enfoque el sistema de recomendaciones encuentra los n elementos audiovisuales mejor calificados con base en la métrica del *Agrado* y la *Calificación* asignada. En la tabla 5.2.3 se muestran los mejores 5 elementos multimedia del experimento.

Con este enfoque de recomendaciones se resuelve el problema de “arranque en frío” (Capítulo 2) de los sistemas de recomendaciones, pues los elementos más destacados se recomiendan para futuras sesiones o para futuros nuevos

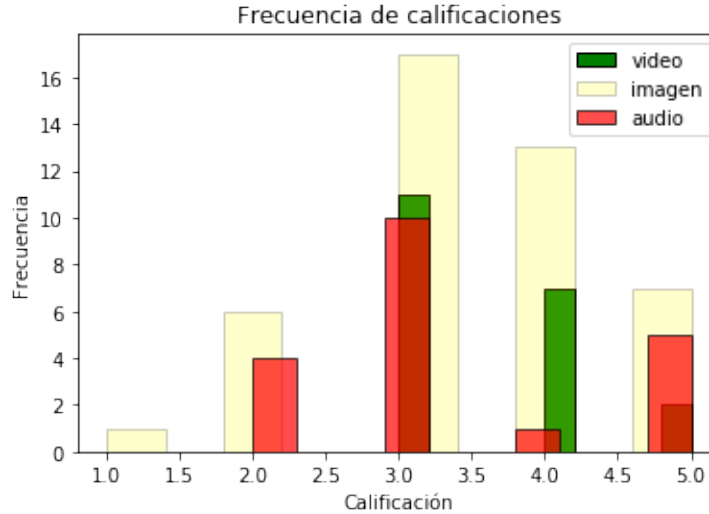


Figura 5.12: Histograma que visualiza la frecuencia de las calificaciones en los elementos multimedia

multimedia	id_multimedia	agrado	calificación	recomendación
audio	mus_003	1.000000	5.0	1
imagen	img_008	0.981920	5.0	2
audio	mus_004	0.970554	5.0	3
imagen	img_002	0.841174	5.0	4
imagen	img_011	0.835171	5.0	5

Tabla 5.14: Tabla de recomendaciones multimedia con el enfoque top- n

usuarios. No obstante, aún queda la posibilidad de generar recomendaciones con mayor personalización. Esto se logra considerando la similitud de los elementos multimedia. Para ser más específicos, el sistema utiliza un filtro colaborativo basado en “Items”. Entonces, retomando el enfoque anterior, el sistema encuentra los n elementos mejor calificados por un usuario en específico. Después calculando la similitud entre elementos audiovisuales del mismo tipo se recomiendan los elementos más similares en la misma secuencia que se obtiene del enfoque anterior. En la tabla 5.15 se presentan los elementos mejor calificados por el primer usuario (u1) donde la secuencia de estos elementos es la siguiente: *imagen, imagen, imagen, video, imagen*. Entonces el sistema identifica los elementos filtrando la información por la columna *id_multimedia*.

Con la información obtenida de la tabla 5.15 el sistema de recomendaciones inicia el proceso de cálculo de similitud entre elementos audiovisuales del

id_user	multimedia	id_multimedia	pleasantN	raiting
1	imagen	img_002	0.575039	4.0
1	imagen	img_003	0.571793	4.0
1	imagen	img_011	0.571200	4.0
1	video	vid_004	0.559498	4.0
1	imagen	img_010	0.535421	4.0

Tabla 5.15: Elementos mejor calificados por el usuario 1

mismo tipo. Esta similitud forma parte de los proceso del filtro colaborativo basado en objetos, este concepto se menciona más a detalle en el capítulo 2. En particular este cálculo de similitud consiste en utilizar la función de distancia coseno entre cada par de elementos audiovisuales. Usando la métrica de agrado que cada elemento tiene asociada, la función de distancia retorna un valor real entre 0 y 1 que expresa el grado de similitud entre cada par de elementos. Así los elementos que estén más cercanos al 1 significan que son elementos muy parecidos. Entonces el sistema de recomendaciones se vale de esta nueva información y de los datos de la tabla 5.15 para elegir los elementos multimedia más similares al conjunto de elementos multimedia mejor evaluados por el usuario. En la tabla 5.16 se muestra entonces la generación de recomendación multimedia para el primer usuario.

multimedia	anterior	recomendación	similitud
imagen	img_002	img_003	0.999984
imagen	img_003	img_002	0.999984
imagen	img_011	img_007	0.809138
video	vid_004	vid_003	0.853853
imagen	img_010	img_006	0.990634

Tabla 5.16: Recomendación multimedia para el usuario 1

El proceso para generar las recomendaciones multimedia se repite para cada usuario, es decir; el sistema primero utiliza el enfoque de las mejores n recomendaciones para establecer los mejores elementos multimedia con base en la métrica del agrado. Después aplicando el filtro colaborativo basado en objetos calcula la similitud de los n elementos para encontrar los elementos más parecido a los que se obtuvieron con el enfoque anterior. Por último el sistema ofrece las recomendaciones a los usuarios. A continuación en las tablas 5.17 a 5.19 se muestran las recomendaciones multimedia generadas para el

resto de los participantes identificados como U_2 , U_3 y U_4 . Para comprobar las decisiones del sistema para recomendar un elemento u otro, en el apéndice A de este documento se encuentran las tablas con los valores de similitud entre cada tipo de elemento multimedia por cada usuario del experimento.

multimedia	anterior	recomendación	similitud
audio	mus_004	mus_003	0.999984
imagen	img_011	img_007	0.997413
imagen	img_008	img_011	0.997413
imagen	img_007	img_008	0.985636
imagen	img_004	img_005	0.996519

Tabla 5.17: Recomendaciones para U2

multimedia	anterior	recomendación	similitud
audio	mus_003	mus_004	0.110196
video	vid_002	vid_003	0.250687
imagen	img_001	img_010	0.704774
imagen	img_008	img_002	0.713302
imagen	img_010	img_006	0.908293

Tabla 5.18: Recomendaciones para U3

multimedia	anterior	recomendación	similitud
imagen	img_008	img_003	0.996478
imagen	img_002	img_011	0.987623
audio	mus_002	mus_005	0.999958
imagen	img_009	img_008	0.938197
imagen	img_003	img_008	0.996478

Tabla 5.19: Recomendaciones para U4

Considerando todas las recomendaciones generadas la tabla 5.20 se exponen las frecuencias de los elementos multimedia recomendados por el sistema, dónde la mayoría de los elementos recomendados son imágenes, después los audios y por último los vídeos

Es decir que de las recomendaciones generadas el 75 % son imágenes, 15 % son audios y únicamente el 1 % de los elementos recomendados son los vídeos. En la figura 5.13 se observa la distribución mencionada, misma de la que podemos tomar algunas conclusiones.

	Frec.Abs	Frec.Acum	Frec.Rel	Frec.Rel Acum
Imágenes	15	15	0.75	0.75
Audio	3	18	0.15	0.9
Vídeos	2	20	0.1	1

Tabla 5.20: Tabla de frecuencias de las recomendaciones generadas por el sistema

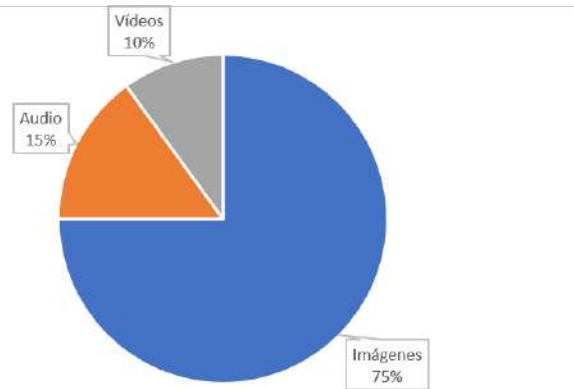


Figura 5.13: Distribución de los elementos multimedia recomendados

Anteriormente en la figura 5.12 que muestra la frecuencia de las calificaciones de cada tipo de elemento multimedia, observamos que:

- Las imágenes son las mejor evaluadas en el rango de calificaciones que va de $[3, 5]$. Esto se ve reflejando siendo la mayoría de los elementos recomendados.
- En el mismo rango de calificaciones se observa que los vídeos son mejor valorados en el rango $[3, 4]$. Sin embargo en la valoración de 5 que es dónde están los mejores elementos multimedia, el audio se posiciona en 2do lugar por detrás de las imágenes. Por esta razón en la distribución de recomendaciones podemos observar que el 15 % de los elementos recomendados son audios.

5.3. Conclusiones

Esta sección expone la puesta en producción del sistema de recomendaciones. El objetivo es mostrar al lector las recomendaciones audiovisuales realizadas por el sistema. Para lograr este objetivo, el capítulo comienza ofreciendo

una descripción del experimento, aquí se echa un vistazo a los elementos multimedia que se mostraron en la sesiones con los participantes, además de la información general de los mismo. Después la sección continua analizando la información obtenida de las interacciones para evaluar tres aspectos relevantes de la actividad (reminiscencia, duración de los elementos, experiencia de usuario). De estos datos se llega a las siguientes conclusiones:

- Los elementos audiovisuales tienen un alto efecto de reminiscencia.
- El orden de los elementos, así como su duración fue la adecuada.
- La experiencia de usuario con la aplicación debe estar sujeta a mejoras continuas.

Luego de conocer la información acerca de la evaluación del experimento, el capítulo continua describiendo el procesamiento de los datos obtenidos del experimento con el sistema de recomendaciones. En estos párrafos se resume el proceso por el cual el sistema transforma la métrica del agrado en un sistema de puntuaciones para generar las recomendaciones. Así las partes finales de esta capítulo nos muestran las recomendaciones realizadas para cada uno de los usuarios. Estas recomendaciones están sujetas a la validación, sin embargo es una proposición que permite evitar el problema del “arranque en frío” que presentar los sistemas de recomendaciones para generar resultados cuando se ingresa un nuevo usuario. Como conclusión final, en este capítulo no se valida la efectividad de la nueva recomendación multimedia. Sin embargo deja puesto el camino iniciado para generar una nueva generación de recomendaciones sin comenzar de cero.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

El objetivo del presente trabajo de tesis fue investigar la posibilidad de medir el estado emocional de una persona. Empleando el concepto de lógica difusa y cómputo afectivo, la investigación propone el desarrollo de un sistema de recomendaciones multimedia que incorpora el factor emocional para generar resultados. Uno de los más significantes encuentros que emergieron de este estudio es la propuesta de un sistema de puntuaciones, que además de ser una forma automática para evaluar el contenido mostrado al usuario, también funciona como un factor adicional para generar una recomendación multimedia.

Entonces en esta tesis hemos detallado nuestra experiencia en la investigación y desarrollo de este sistema para utilizarlo como una herramienta que utiliza tecnología de realidad aumentada para la estimulación cognitiva audiovisual en adultos mayores. Para el desarrollo en primera instancia se consideró el problema actual de las metodologías existentes para medir el estado emocional de una persona. Este problema se resume en el grado de invasión del espacio en los usuarios; es decir que para modelar el estado emocional, estas metodologías necesita invadir muchas secciones del cuerpo para medir las reacciones y obtener la información que puedan usar para relacionar un valor cuantitativo con un estado emocional. Es así que en este trabajo se retoma esta situación como una oportunidad inicial para medir el estado emocional de una persona de forma no invasiva. Por lo tanto el primer requerimiento

que se aborda es la investigación de herramientas actuales capaces de detectar emociones a partir de una fuente que pueda medirse de forma no invasiva, y que al mismo tiempo tenga una correlación directa con el estado emocional. Dada la investigación realizada, se introdujo la voz como la característica que cumple con la relación requerida. Esta investigación llevó a identificar metodologías ampliamente utilizadas por la comunidad científica que permiten modelar las emociones de manera computacional. La metodología elegida se compone de dos conceptos. El primero es la consideración de un conjunto básico de emociones y la segunda consideración es utilizar una herramienta de una metodología psicológica para evaluar la inteligencia emocional.

Así entonces el conjunto básico de emociones empleado son las primarias propuesto por Ekman y la herramienta para medir el estado emocional se encuentra en la metodología de RULER, donde el medidor emocional es una cuadrícula afectiva que encaja con nuestros intereses, además de ser una herramienta con una implementación sencilla. Para desarrollar un sistema que integre los diferentes elementos para la medición de estados emocionales fue necesario recurrir al concepto de los sistemas de recomendaciones, que al ser impulsados por la idea de un sistema afectivo incorporamos el estado emocional obtenido de la voz de una persona como el factor a analizar para las recomendaciones multimedia. Este sistema se probó en una institución que combate las enfermedades producidas por el deterioro cognitivo, principalmente sus usuarios son adultos mayores. Los resultados de esta prueba indican que es posible detectar el cambio emocional al ser estimulados con elementos audiovisuales tales como; fotografías, música y vídeos afines a sus gustos. Uno de los principales logros de este trabajo fue introducir al mundo de la tecnología mediante la realidad aumentada a un sector históricamente marginado en estos temas.

Sin embargo, aunque este sistema pensado inicialmente para la comunidad de adultos mayores para otorgarles una herramienta que les permitiera ser auto-percibir y ser conscientes de sus estados emocionales. El sistema además funciona como una herramienta útil para los cuidadores al momento de identificar emociones negativas y así ayudar a la detección oportuna de la depresión. Además la propuesta de este proyecto se puede expandir al público en general, brindando así una herramienta funcional para los usuarios. El desarrollo

de esta propuesta requirió un enfoque multidisciplinario para poder combinar diferentes áreas del conocimiento como lo son la psicología y la inteligencia artificial. Así en esta propuesta se utilizó un agente inteligente desarrollado por la empresa IBM llamado TJBot para que actúe como un puente entre estas dos áreas para completar así el concepto del cómputo afectivo. Entonces esta propuesta está basada en la interacción humano-máquina, que se apoya de un modelo de inteligencia artificial y lógica difusa para analizar la voz del usuario y obtener información emocional para el sistema de recomendaciones multimedia. Un enfoque muy importante de este trabajo está en el manejo de múltiples servicios que retornan información en un formato específico para que cada uno de los módulos genere nueva información.

6.2. Trabajo futuro

A medida que se desarrolló este trabajo surgieron nuevas preguntas de investigación, nuevas ideas y conceptos importantes que pueden complementar el funcionamiento de este sistema de recomendaciones multimedia. Al término de la redacción de este trabajo de tesis se identifican los siguientes puntos de trabajo a futuro:

- Incorporar el sistema de recomendaciones junto con la aplicación de realidad aumentada como una actividad continua en el instituto de la memoria, con la finalidad de recabar más datos y tener información histórica de los usuarios.
- Desarrollar un módulo de administración multimedia para que el usuario pueda cargar los elementos audiovisuales que más le gusten para visualizarlos en el módulo de realidad aumentada.
- Automatizar el ingreso de las reglas difusas para el controlador difuso, ofreciendo la posibilidad al experto actualizar o añadir reglas de control de forma sencilla.
- Por último se sugiere adaptar completamente la metodología de RULER, ya que en este trabajo solamente se utiliza la herramienta del medidor emocional. Mientras que esta metodología se compone de otros

3 componentes que aún no se ha pensado como adaptarlos a un entorno computacional.

Apéndice A

Tabla de similitudes entre elementos multimedia

A.1. Vídeos

	vid_001	vid_002	vid_003	vid_004	vid_005
vid_001	1.000000	0.902071	0.996187	0.805184	-0.442071
vid_002	0.902071	1.000000	0.860977	0.470392	-0.011654
vid_003	0.996187	0.860977	1.000000	0.853853	-0.518643
vid_004	0.805184	0.470392	0.853853	1.000000	-0.887880
vid_005	-0.442071	-0.011654	-0.518643	-0.887880	1.000000

Tabla A.1: Similitud de vídeos del usuario 1

	vid_001	vid_002	vid_003	vid_004	vid_005
vid_001	1.000000	0.961524	-0.960611	-0.966378	-0.960872
vid_002	0.961524	1.000000	-0.999995	-0.999833	-0.999997
vid_003	-0.960611	-0.999995	1.000000	0.999768	1.000000
vid_004	-0.966378	-0.999833	0.999768	1.000000	0.999787
vid_005	-0.960872	-0.999997	1.000000	0.999787	1.000000

Tabla A.2: Similitud de vídeos del usuario 2

	vid_001	vid_002	vid_003	vid_004	vid_005
vid_001	1.000000	-0.263395	0.867854	0.490545	0.955163
vid_002	-0.263395	1.000000	0.250687	-0.969852	-0.537212
vid_003	0.867854	0.250687	1.000000	-0.007215	0.681843
vid_004	0.490545	-0.969852	-0.007215	1.000000	0.726560
vid_005	0.955163	-0.537212	0.681843	0.726560	1.000000

Tabla A.3: Similitud de vídeos del usuario 3

	vid_001	vid_002	vid_003	vid_004	vid_005
vid_001	1.000000	-0.998347	0.417043	0.991992	-0.162059
vid_002	-0.998347	1.000000	-0.468595	-0.997612	0.218510
vid_003	0.417043	-0.468595	1.000000	0.528495	-0.964458
vid_004	0.991992	-0.997612	0.528495	1.000000	-0.285391
vid_005	-0.162059	0.218510	-0.964458	-0.285391	1.000000

Tabla A.4: Similitud de vídeos del usuario 4

A.2. Audios

	mus_001	mus_002	mus_003	mus_004	mus_005
mus_001	1.000000	-0.884696	-0.701088	0.984598	-0.832503
mus_002	-0.884696	1.000000	0.952663	-0.952571	0.994779
mus_003	-0.701088	0.952663	1.000000	-0.814958	0.978716
mus_004	0.984598	-0.952571	-0.814958	1.000000	-0.916541
mus_005	-0.832503	0.994779	0.978716	-0.916541	1.000000

Tabla A.5: Similitud de audios del usuario 1

A.3. Imágenes

	mus_001	mus_002	mus_003	mus_004	mus_005
mus_001	1.000000	0.953521	0.994779	-0.676888	-0.778115
mus_002	0.953521	1.000000	0.979294	-0.867229	-0.552679
mus_003	0.994779	0.979294	1.000000	-0.748475	-0.709950
mus_004	-0.676888	-0.867229	-0.748475	1.000000	0.064345
mus_005	-0.778115	-0.552679	-0.709950	0.064345	1.000000

Tabla A.6: Similitud de audios del usuario 2

	mus_001	mus_002	mus_003	mus_004	mus_005
mus_001	1.000000	0.878953	-0.984820	-0.281045	0.709507
mus_002	0.878953	1.000000	-0.782829	-0.704712	0.959700
mus_003	-0.984820	-0.782829	1.000000	0.110196	-0.576415
mus_004	-0.281045	-0.704712	0.110196	1.000000	-0.875699
mus_005	0.709507	0.959700	-0.576415	-0.875699	1.000000

Tabla A.7: Similitud de audios del usuario 3

	mus_001	mus_002	mus_003	mus_004	mus_005
mus_001	1.000000	0.725686	0.867463	-0.311306	0.731976
mus_002	0.725686	1.000000	0.971800	-0.879748	0.999958
mus_003	0.867463	0.971800	1.000000	-0.742827	0.973925
mus_004	-0.311306	-0.879748	-0.742827	1.000000	-0.875343
mus_005	0.731976	0.999958	0.973925	-0.875343	1.000000

Tabla A.8: Similitud de audios del usuario 4

img_001	img_002	img_003	img_004	img_005	img_006	img_007	img_008	img_009	img_010	img_011
1.000000	-0.996535	-0.996048	-0.319401	0.946271	-0.739693	-0.821062	0.708333	0.007288	-0.640876	-0.328917
-0.996535	1.000000	0.999984	0.397114	-0.969889	0.793103	0.770736	-0.764590	-0.090436	0.702505	0.249229
-0.996048	0.999984	1.000000	0.402306	-0.971253	0.796541	0.767115	-0.768229	-0.096076	0.706525	0.243739
-0.319401	0.397114	0.402306	1.000000	-0.608676	0.873954	-0.278690	-0.895147	-0.949922	0.932131	-0.789836
0.946271	-0.969889	-0.971253	-0.608676	1.000000	-0.917563	-0.592352	0.898538	0.330262	-0.854679	-0.005863
-0.739693	0.793103	0.796541	0.873954	-0.917563	1.000000	0.223191	-0.998966	-0.678317	0.990634	-0.392203
-0.821062	0.770736	0.767115	-0.278690	-0.592352	0.223191	1.000000	-0.178641	0.564841	0.087997	0.809138
0.708333	-0.764590	-0.768229	-0.895147	0.898538	-0.998966	-0.178641	1.000000	0.711022	-0.995817	0.433621
0.007288	-0.090436	-0.096076	-0.949922	0.330262	-0.678317	0.564841	0.711022	1.000000	-0.772294	0.941937
-0.640876	0.702505	0.706525	0.932131	-0.854679	0.990634	0.087997	-0.995817	-0.772294	1.000000	-0.514137
-0.328917	0.249229	0.243739	-0.789836	-0.005863	-0.392203	0.809138	0.433621	0.941937	-0.514137	1.000000

Tabla A.9: Similitud de imágenes del usuario 1

img_001	img_002	img_003	img_004	img_005	img_006	img_007	img_008	img_009	img_010	img_011
1.000000	0.184144	-0.840398	-0.533770	-0.602404	0.997322	0.655030	0.518011	0.829118	-0.107974	0.455180
0.184144	1.000000	0.377947	-0.929459	-0.895471	0.255538	-0.622062	-0.745358	0.702191	0.957270	-0.791354
-0.840398	0.377947	1.000000	-0.009726	0.073664	-0.798509	-0.960000	-0.898922	-0.393788	0.629542	-0.865102
-0.533770	-0.929459	-0.009726	1.000000	0.996519	-0.594188	0.289325	0.446831	-0.915328	-0.783053	0.509987
-0.602404	-0.895471	0.073664	0.996519	1.000000	-0.659169	0.208523	0.370700	-0.945712	-0.728481	0.436507
0.997322	0.255538	-0.798509	-0.594188	-0.659169	1.000000	0.598012	0.454064	0.867787	-0.034975	0.388839
0.655030	-0.622062	-0.960000	0.289325	0.208523	0.598012	1.000000	0.985636	0.120659	-0.821912	0.970945
0.518011	-0.745358	-0.898922	0.446831	0.370700	0.454064	0.985636	1.000000	-0.048725	-0.906305	0.997413
0.829118	0.702191	-0.393788	-0.915328	-0.945712	0.867787	0.120659	-0.048725	1.000000	0.466282	-0.120401
-0.107974	0.957270	0.629542	-0.783053	-0.728481	-0.034975	-0.821912	-0.906305	0.466282	1.000000	-0.934341
0.455180	-0.791354	-0.865102	0.509987	0.436507	0.388839	0.970945	0.997413	-0.120401	-0.934341	1.000000

Tabla A.10: Similitud de imágenes del usuario 2

img_001	img_002	img_003	img_004	img_005	img_006	img_007	img_008	img_009	img_010	img_011
1.000000	-0.853959	-0.999899	-0.051617	-0.218457	0.343362	-0.616123	-0.244446	-0.026476	0.704774	-0.964224
-0.853959	1.000000	0.846490	-0.475568	-0.321219	-0.781923	0.116297	0.713302	-0.497548	-0.970994	0.685472
-0.999899	0.846490	1.000000	0.065782	0.232281	-0.330001	0.627237	0.230663	0.040658	-0.694637	0.967888
-0.051617	-0.475568	0.065782	1.000000	0.985822	0.920227	0.818403	-0.955753	0.999683	0.672107	0.314506
-0.218457	-0.321219	0.232281	0.985822	1.000000	0.841508	0.903222	-0.892841	0.981288	0.538334	0.469327
0.343362	-0.781923	-0.330001	0.920227	0.841508	1.000000	0.528210	-0.994644	0.929783	0.908293	-0.082106
-0.616123	0.116297	0.627237	0.818403	0.903222	0.528210	1.000000	-0.613146	0.803687	0.124557	0.802877
-0.244446	0.713302	0.230663	-0.955753	-0.892841	-0.994644	-0.613146	1.000000	-0.962851	-0.860189	-0.021346
-0.026476	-0.497548	0.040658	0.999683	0.981288	0.929783	0.803687	-0.962851	1.000000	0.690523	0.290525
0.704774	-0.970994	-0.694637	0.672107	0.538334	0.908293	0.124557	-0.860189	0.690523	1.000000	-0.491498
-0.964224	0.685472	0.967888	0.314506	0.469327	-0.082106	0.802877	-0.021346	0.290525	-0.491498	1.000000

Tabla A.11: Similitud de imágenes del usuario 3

img_001	img_002	img_003	img_004	img_005	img_006	img_007	img_008	img_009	img_010	img_011
1.000000	0.605988	-0.871566	-0.648981	-0.819796	-0.427741	-0.374846	-0.827383	-0.581865	0.073887	0.723256
0.605988	1.000000	-0.138155	-0.998475	-0.952319	-0.978236	-0.964626	-0.054616	0.294344	-0.748525	0.987623
-0.871566	-0.138155	1.000000	0.192624	0.433746	-0.070359	-0.127827	0.996478	0.905870	-0.553335	-0.291790
-0.648981	-0.998475	0.192624	1.000000	0.967711	0.965288	0.948600	0.109658	-0.241132	0.710774	-0.994776
-0.819796	-0.952319	0.433746	0.967711	1.000000	0.868284	0.838199	0.356659	0.011278	0.510519	-0.988387
-0.427741	-0.978236	-0.070359	0.965288	0.868284	1.000000	0.998332	-0.153761	-0.486243	0.869826	-0.933582
-0.374846	-0.964626	-0.127827	0.948600	0.838199	0.998332	1.000000	-0.210547	-0.535877	0.896857	-0.911337
-0.827383	-0.054616	0.996478	0.109658	0.356659	-0.153761	-0.210547	1.000000	0.938197	-0.621236	-0.210554
-0.581865	0.294344	0.905870	-0.241132	0.011278	-0.486243	-0.535877	0.938197	1.000000	-0.854054	0.140801
0.073887	-0.748525	-0.553335	0.710774	0.510519	0.869826	0.896857	-0.621236	-0.854054	1.000000	-0.635253
0.723256	0.987623	-0.291790	-0.994776	-0.988387	-0.933582	-0.911337	-0.210554	0.140801	-0.635253	1.000000

Tabla A.12: Similitud de imágenes del usuario 4

Apéndice B

Publicación Artículo I

Towards an automatic recommendation system to well-being for elderly based on augmented reality.

Luis Ronquillo, Víctor Zamudio,
David Gutiérrez-Hernández, Carlos Lino
Division of Research and Postgraduates Studies
Tecnológico Nacional de México/ IT de León
León, México
m13240306@itleon.edu.mx,
vic.zamudio@ieee.org

Javier Navarro
State Center for Timely Screening
Hospital de Especialidades-
Materno Infantil de León
León, México
fnavarrob@guajuato.gob.mx

Faiyaz Doctor
School of Computer Science
and Electronic Engineering
University of Essex
Essex, United Kingdom
fdocto@essex.ac.uk

Abstract—Accordingly to the National Population Council (CONAPO) in Mexico, people over 60 years old are equivalent to 10% of the population [1]. This age is considered the beginning of the older adult stage, and by 2050 there will be an inevitable generational transition where older adults will represent 21.5% of the Mexican population. One of the most common diseases of this sector is cognitive impairment or dementia, being Alzheimer’s Disease (AD) the most common with 60% of cases. AD causes depression and negative emotional states that impact the physical, mental and social health of adults and their families. Advances in artificial intelligence have proven to approach and understand human behavior and their emotional state under different circumstances. In this paper, we propose an Augmented Reality based strategy for measuring different emotional states of older adults. By interacting with multimedia content (audios, photos, and videos) we are laying the foundations for the creation of an intelligent platform that detects the negative emotional state and issues multimedia recommendations based on tastes customized to move the patient to a positive emotional state.

Index Terms—Augmented Reality, Recommendations Systems, Sentiment Analysis, Affective Computing, Non-pharmacological therapies, IBM Watson.

I. INTRODUCTION

Emotions play an important role in successful and effective human communication. In fact, in many situations, emotional intelligence is more important than the *IQ* for effective communication [2]. Emotions are a factor that influences humans’ physical, social and mental health, thus, emotions are reflected in daily life activities.

Most recent theories on Affective Computing (AC) point that the influence of emotions and the mechanisms of rational thinking influence perception and daily tasks such as learning, communication or decision making. Although emotions are a fundamental factor in human life, these have been ignored for many years from the technological point of view generating frustration in those who use it [3]. This explains recent efforts to advance in providing computers with the ability to recognize and express emotions. Thus, Rosalind Picard coined the term *Affective Computing* [4] arguing this need for taking into account human emotions as a key requirement for creating truly intelligent computers and systems.

Currently, AC and Sentiment Analysis (SA) can measure emotional states from natural language. Together are a technological sub-component for other systems who can improve user relationship capabilities, also with AC and SA it’s feasible to develop recommendation systems [2] which they aim to recognize and respond to the affective states (i.e. moods and emotions) of the user [5].

For example in [6] show us an emotion recognition system capable of preventing depression using algebraic representations of the emotional state as multidimensional vectors. The analysis and processing of emotions are complemented by the extraction of signals from facial expressions, voice, and psychological signals. Additionally in the same field Matiko *et.al* [7] classified positive and negative emotions in real-time from the extraction of electroencephalogram (EEG) signals using fuzzy logic systems.

In [2] describes the potential of AC and SA with emerging projects such as that of [8] where they correlate the events and interactions of a user in their social networks against its behavior and analyzing user expressions with the IBM Watson Developer Cloud tools to model emotions, feelings and personality to improve the user experience and create complex computing systems.

In 2013 Navarro *et.al.* [9] reported an innovative investigation about the creation of a game-based software as a non-pharmacological therapy tool for older adults with cognitive impairment. This software features a fuzzy inference system and artificial neural networks based module for monitoring the performance of the older adult during the game session and detect changes in their performance.

Following the same line of this research in their proposal Cruz *et.al.* [10] included more characteristics to improve up the work of [9] using the IBM Cloud Services and TJBot to detect the emotional state of patients with cognitive impairment and help the psychologist to define a series of game exercises appropriate to the patient.

Even though it is important to detect the emotional state of the patient and suggest cognitive game exercises, this study would have more interesting if it had included recommenda-

Apéndice C

Formato de encuesta Likert

ENCUESTA DE PERCEPCIÓN

La presente encuesta forma parte de la evaluación del proyecto “Módulo Inteligente de Recomendaciones Basado en Realidad Aumentada” y tiene como finalidad recabar información referente a su experiencia en la interacción con la plataforma, debido a esto no hay respuestas correctas o incorrectas, le invitamos a responder con honestidad.

Núm. de Participante:	Fecha:
Nombre Completo:	

<i>Antes de usar la plataforma responde la sección de Esfera anímica previa.</i>						
Esfera anímica previa						
Tache la emoción que ha predominado en usted el día de hoy.	Alegría	Sorpresa	Miedo	Ira	Tristeza	Desagrado
<i>A continuación se le presentarán una serie de preguntas, lea con atención y tache en las casillas de la derecha el grado de desacuerdo o acuerdo en el que usted se encuentra con respecto a cada enunciado.</i>						
Efecto de Reminiscencia	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni deacuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	
Los videos observados propician el recuerdo de información o experiencias previas.						
Las fotografías observadas propician el recuerdo de información o experiencias previas.						
La música escuchada propicia el recuerdo de información o experiencias previas.						
Estructura y duración de la presentación de estímulos	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni deacuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	
El orden en el que fueron						

presentadas las actividades (Tarjetas) me permitió comprender la experiencia.							
La duración de la sección de videos es la adecuada.							
La duración de la sección de imágenes es la adecuada.							
La duración de la sección de música es la adecuada.							
Esfera anímica posterior							
Tache la emoción que experimento al usar la plataforma.	Alegría	Sorpresa	Miedo	Ira		Tristeza	Desagrado
¿Por qué?							
Uso técnico del equipo	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo		
El sistema le fue fácil de utilizar.							
Durante el tiempo que lo utilizó, se le presentaron dificultades en el manejo del programa.							
Considera que para utilizar el sistema se requiere de un técnico que lo acompañe durante su experiencia.							
Considera que la mayoría de las personas podrán utilizar el sistema rápidamente.							
Le gustaría utilizar este programa (sistema) frecuentemente.							

Por favor escriba cualquier otra sugerencia o comentario que tenga acerca de su experiencia al usar la plataforma:

¡GRACIAS POR SU APOYO!

Apéndice D

Formato de consentimiento informado



FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO

Título del estudio: Terapia no farmacológica basada en realidad aumentada

Descripción: Este estudio forma parte de un proyecto de tesis de maestría. Aquí se pretende encontrar el consentimiento informado del usuario para participar en la prueba con realidad aumentada.

Proyecto: Medición De Estado Emocional Empleando Técnicas De Lógica Difusa Y Cómputo Afectivo En Un Ambiente Inmersivo Basado En Realidad Aumentada.

Nombre del investigador:

Nombre del participante:

1. Confirmando que he leído y entiendo la hoja de información del estudio y he tenido la oportunidad de hacer preguntas.

2. Entiendo que mi participación es voluntaria y que soy libre de retirarme en cualquier momento, sin dar ninguna razón y sin que mi cuidado médico o mis beneficios legales se vean afectados. Entiendo que si me retiro, la información recolectada hasta ahora no se puede borrar y que esta información todavía puede ser utilizada en el análisis del proyecto.

3. Entiendo que secciones relevantes de mi historial médico y los datos recolectados en el estudio podrían ser consultados por personas autorizadas por el Instituto Tecnológico de León, el grupo de investigación y las autoridades reguladoras donde sea relevante. Doy permiso a estas personas para tener acceso a estos registros y de recopilar, almacenar, analizar y publicar información obtenida de mi participación en este estudio. Entiendo que mis datos personales serán confidenciales y anónimos, y que no serán identificados de ninguna manera.

4. Entiendo y acepto que los datos recolectados de mi estado emocional serán utilizados.

5. Estoy de acuerdo en que la información recogida sobre mí puede ser almacenada por el Instituto Tecnológico de León, para su posible uso en futuros estudios. Entiendo que algunos de estos estudios pueden ser realizados por investigadores que no sean el equipo actual que dirigió el primer estudio.

6. Estoy de acuerdo que la coordinación de talleres del instituto de la memoria (responsable) está informado de mi participación en este estudio.

7. Estoy de acuerdo en participar en este estudio.

Firma del Participante

Fecha

Firma

Firma del responsable

Fecha

Firma

** En caso de aplicar, por favor firme la siguiente sección.*

Nombre y firma del familiar

Fecha

Firma

3 copias: 1 para el participante, 1 para el archivo del proyecto y 1 para el archivo médico.

Apéndice E

Formato de volante informativo



INSTRUCTIVO DE USO APLICACIÓN CON REALIDAD AUMENTADA

A continuación se presentan los pasos para completar el uso correcto de la aplicación móvil con realidad aumentada. En estos 4 pasos sencillos el cuidador/familiar estará en posición de hacer un uso adecuado de la aplicación.

1. COLOCAR OBJETIVOS.

Pegar las tarjetas de contenidos en un lugar cómodo para el usuario. Preferiblemente colocarlos al nivel de la altura de los hombros hacia arriba.



2. COMODIDAD.

Colocar al usuario en una posición cómoda. De preferencia en un lugar aislado del ruido externo.



ESTO HA SIDO LO BÁSICO. AHORA COMENCEMOS CON
LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA.

3. INICIAR LA APLICACIÓN.

Colocar el celular dentro de los lentes especiales para entrar en la realidad aumentada.



4. DISFRUTA DE LA EXPERIENCIA

Apuntando los lentes a las tarjetas de contenidos comenzará la experiencia con realidad aumentada. Cada una de ellas mostrará diferente contenido, así que ha disfrutar!



Bibliografía

- [Adolphs et al., 1999] Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A. W., Calder, A. J., Phelps, E. A., Anderson, A., Lee, G. P., and Damasio, A. R. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37(10):1111–1117.
- [Adomavicius and Tuzhilin, 2005] Adomavicius, G. and Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 17(6):734–749.
- [Aggarwal et al., 2016] Aggarwal, C. C. et al. (2016). *Recommender systems*, volume 1. Springer.
- [Bowles and Peláez, 1995] Bowles, J. B. and Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 50(2):203–213.
- [Brackett et al., 2006] Brackett, M. A., Rivers, S. E., Shiffman, S., Lerner, N., and Salovey, P. (2006). Relating emotional abilities to social functioning: a comparison of self-report and performance measures of emotional intelligence. *Journal of personality and social psychology*, 91(4):780.
- [Cambria, 2016] Cambria, E. (2016). Affective computing and sentiment analysis. *IEEE intelligent systems*, 31(2):102–107.
- [Candillier et al., 2009] Candillier, L., Jack, K., Fessant, F., and Meyer, F. (2009). State-of-the-art recommender systems. In *Collaborative and Social Information Retrieval and Access: Techniques for Improved User Modeling*, pages 1–22. IGI Global.

- [Chande, 2014] Chande, R. H. (2014). *El envejecimiento en México: el siguiente reto de la transición demográfica*. El Colegio de la Frontera Norte.
- [Costa and Macedo, 2013] Costa, H. and Macedo, L. (2013). Emotion-based recommender system for overcoming the problem of information overload. In *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, pages 178–189. Springer.
- [Cox, 1993] Cox, E. (1993). Adaptive fuzzy systems. *IEEE Spectrum*, 30(2):27–31.
- [De Bonis, 1976] De Bonis, M. (1976). Connaitre les émotions humaines.
- [Doniger et al., 2018] Doniger, G. M., Beerli, M. S., Bahar-Fuchs, A., Gottlieb, A., Tkachov, A., Kenan, H., Livny, A., Bahat, Y., Sharon, H., Ben-Gal, O., et al. (2018). Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high alzheimer’s disease risk: A randomized controlled trial. *Alzheimer’s & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, 4:118–129.
- [Dragoni et al., 2014] Dragoni, M., Tettamanzi, A. G., and da Costa Pereira, C. (2014). A fuzzy system for concept-level sentiment analysis. In *Semantic web evaluation challenge*, pages 21–27. Springer.
- [Ekman and Davidson, 1994] Ekman, P. E. and Davidson, R. J. (1994). *The nature of emotion: Fundamental questions*. Oxford University Press.
- [Ferragut and Fierro, 2012] Ferragut, M. and Fierro, A. (2012). Emotional intelligence, well-being and academic achievement in preadolescents. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 44(3):95–104.
- [Frijda, 1988] Frijda, N. H. (1988). The laws of emotion.
- [González, 2015] González, K. D. (2015). Envejecimiento demográfico en México: análisis comparativo entre las entidades federativas. *La situación demográfica de México*. CDMX: Consejo Nacional de Población.

- [Jones et al., 2011] Jones, H., Saunier, J., and Lourdeaux, D. (2011). Fuzzy rules for events perception and emotions in an agent architecture. In *Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology*, pages 657–664. Atlantis Press.
- [Kaur and Kaur, 2012] Kaur, A. and Kaur, A. (2012). Comparison of mamdani-type and sugeno-type fuzzy inference systems for air conditioning system. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(2):323–325.
- [King and Mamdani, 1977] King, P. J. and Mamdani, E. H. (1977). The application of fuzzy control systems to industrial processes. *Automatica*, 13(3):235–242.
- [Koumakis et al., 2019] Koumakis, L., Chatzaki, C., Kazantzaki, E., Maniadi, E., and Tsiknakis, M. (2019). Dementia care frameworks and assistive technologies for their implementation: A review. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 12:4–18.
- [Mandryk and Atkins, 2007] Mandryk, R. L. and Atkins, M. S. (2007). A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies. *International journal of human-computer studies*, 65(4):329–347.
- [Matiko et al., 2014] Matiko, J. W., Beeby, S. P., and Tudor, J. (2014). Fuzzy logic based emotion classification. In *2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pages 4389–4393. IEEE.
- [Mayer et al., 2002] Mayer, J. D., Salovey, P., and Caruso, D. R. (2002). Mayer-salovey-caruso emotional intelligence test (msceit) item booklet.
- [Meftah et al., 2012] Meftah, I. T., Le Thanh, N., and Amar, C. B. (2012). Detecting depression using multimodal approach of emotion recognition. In *2012 IEEE International Conference on Complex Systems (ICCS)*, pages 1–6. IEEE.

- [Montés, 2013] Montés, J. B. (2013). Una reflexión sobre las terapias no farmacológicas y su aplicación desde la experiencia: 20 años del “programa de atención a afectados de alzheimer” de la asociación cotlas. *Informació psicológica*, (104):84–99.
- [Morency et al., 2011] Morency, L.-P., Mihalcea, R., and Doshi, P. (2011). Towards multimodal sentiment analysis: Harvesting opinions from the web. In *Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces*, pages 169–176.
- [Mostafa et al., 2016] Mostafa, M., Crick, T., Calderon, A. C., and Oatley, G. (2016). Incorporating emotion and personality-based analysis in user-centered modelling. In *International conference on innovative techniques and applications of artificial intelligence*, pages 383–389. Springer.
- [Nathanson et al., 2016] Nathanson, L., Rivers, S. E., Flynn, L. M., and Brackett, M. A. (2016). Creating emotionally intelligent schools with ruler. *Emotion Review*, 8(4):305–310.
- [Navarro et al., 2013] Navarro, F., Zamudio, V., Baltazar, R., Lino, C., Díaz, C., and 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*, pages 1–6.
- [Olazarán et al., 2010] Olazarán, J., Reisberg, B., Clare, L., Cruz, I., Peña-Casanova, J., del Ser, T., and Muñoz, R. (2010). Eficacia de las terapias no farmacológicas en la enfermedad de alzheimer: una revisión sistemática. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 30(2):161–178.
- [Picard, 2000] Picard, R. W. (2000). *Affective computing*. MIT press.
- [Picard, 2003] Picard, R. W. (2003). Affective computing: challenges. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2):55–64.
- [Plutchik, 1960] Plutchik, R. (1960). The multifactor-analytic theory of emotion. *the Journal of Psychology*, 50(1):153–171.

- [Plutchik, 1980] Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In *Theories of emotion*, pages 3–33. Elsevier.
- [Ramos et al., 2008] Ramos, C., Augusto, J. C., and Shapiro, D. (2008). Ambient intelligence—the next step for artificial intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, 23(2):15–18.
- [Rivers et al., 2013] Rivers, S. E., Brackett, M. A., Reyes, M. R., Elbertson, N. A., and Salovey, P. (2013). Improving the social and emotional climate of classrooms: A clustered randomized controlled trial testing the ruler approach. *Prevention science*, 14(1):77–87.
- [Russell et al., 1989] Russell, J. A., Weiss, A., and Mendelsohn, G. A. (1989). Affect grid: a single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of personality and social psychology*, 57(3):493.
- [Takagi and Sugeno, 1985] Takagi, T. and Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (1):116–132.
- [Thong et al., 2015] Thong, N. T. et al. (2015). Intuitionistic fuzzy recommender systems: an effective tool for medical diagnosis. *Knowledge-Based Systems*, 74:133–150.
- [Woods et al., 2005] Woods, B., Spector, A., Jones, C., Orrell, M., and Davies, S. (2005). Reminiscence therapy for dementia. *status and date: Edited (no change to conclusions), published in*, (1).
- [Zadeh, 1965] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3):338–353.
- [Zadeh, 1996] Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets. In *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh*, pages 394–432. World Scientific.

