

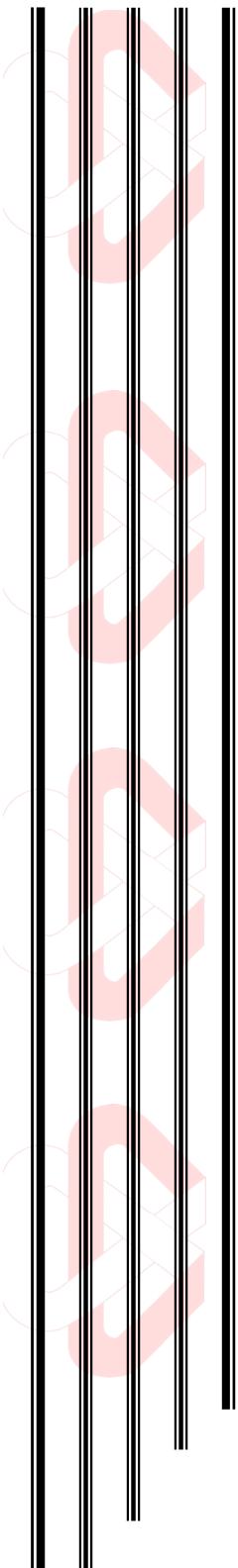


Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

---

---

CIMAT



# Control difuso para apoyar el proceso de aprendizaje en video juegos a través de reconocimiento de emoción por voz

T E S I S  
Que para obtener el grado de  
**Maestría**  
con Orientación en  
**Ingeniería de Software**

P r e s e n t a  
**María Oyuki Fuentes Uc**

Co-Directores de Tesis:  
**Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez**  
**Dr. Hugo Arnoldo Mitre Hernández**

Zacatecas, Zac. 8 de Julio de 2016

Dedico esta tesis a mis dos Adaras y futuras Adaras o Altairs.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por el apoyo que me brindaron desde el inicio. A Carlos Naal por su apoyo en el proceso de enseñanza en esta experiencia. A todos ellos infinitas gracias por creer en mí y por su paciencia.

A mis Directores de tesis Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez y Dr. Hugo Arnoldo Mitre Hernández, por su paciencia y sabiduría. Con especial agradecimiento al Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez por alentarme en cada paso del proceso de investigación.

A todo el personal y estudiantes de la 8a y 9a generación de CIMAT Unidad Zacatecas, por el apoyo otorgado en los experimentos.

Por último deseo agradecer a Conacyt por el apoyo recibido durante la realización de este trabajo de investigación a través de sus programas de becas de posgrado nacional.

## RESUMEN

Se ha demostrado que el estado emocional de los estudiantes tiene una importante relación con el aprendizaje; v.g., la concentración inmersa se correlaciona positivamente con el aprendizaje. En este trabajo, se propone el Control Inductivo –**IC** del inglés *Inductive Control*– para video juegos educativos. A diferencia de los enfoques convencionales que sólo modifican el nivel de juego, la técnica propuesta también induce emociones en el jugador para apoyar el proceso de aprendizaje. Este trabajo explora un sistema difuso que analiza el desempeño de los jugadores –puntuación– y su estado emocional para controlar el nivel y el contenido estético de un video juego educativo. El estado emocional del jugador se reconoce a través del análisis de la voz. Un total de 20 participantes jugaron un video juego diseñado para mejorar las habilidades matemáticas básicas; en cada sesión de prueba un estudiante jugó dos veces seguidas el mismo juego, pero cada vez el contenido y la dificultad se controlaron por uno de los dos enfoques -DDA e IC-, el orden de juego se asignó aleatoriamente. Los resultados muestran que cuando se utiliza el enfoque propuesto, los participantes cambiaron rápidamente de emociones desagradables-bajas a emociones agradables o altas. También, los participantes alcanzaron su zona de flujo con suavidad y se mantuvieron más fácilmente en ella. Con respecto a los niveles del juego, el enfoque propuesto aumenta el nivel sin tener que realizar cambios radicales innecesarios. Además, en el experimento se observó que el tiempo de respuesta de los jugadores en los estados desagradables-bajos es más lento que el tiempo de respuesta de los jugadores en otros estados. Estos experimentos demuestran que la técnica de control inductivo mejora la eficacia de aprendizaje a través de la detección y la estimulación de emociones.

**Palabras clave:** Control difuso, Video juegos educativos, Inducción de emociones, Ajuste de dificultad.

## ABSTRACT

It has been shown that the emotional state of students has an important relationship with learning; for instance, engaged concentration is positively correlated with learning. This thesis proposes the Inductive Control (**IC**) for educational games. Unlike conventional approaches that only modify the game level, the proposed technique also induces emotions in the player for supporting the learning process. This thesis explores a fuzzy system that analyzes the players' performance and their emotional state for controlling the level and aesthetic content of an educational video game. The emotional state of the player was recognized through voice analysis. A total of 20 subjects played a video game designed to practice basic math skills; for each trial, a student plays two times in a row the same game but each time the game was controlled by one of the two approaches -Dynamic Difficulty Adjustment (**DDA**) and IC, the playing order was assigned randomly. Results show that when the proposed approach is used the participants changed faster from unpleasant-low to pleasant or high emotions, and reached softly and kept in the flow zone. It was also showed that the IC approach controlled the difficulty level without making unnecessary radical changes. In addition, the experiment shows that the response times of the players in the Unpleasant-low states is slower than the response time of the players in other states. Those experiments demonstrate that the inductive control technique improves the learning effectiveness through detection and stimulation of positive emotions.

**Keywords:** Fuzzy control, Educational Video Games, Emotion Induction, Difficulty Adjustment.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>V</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>X</b>
<b>1    Introducción .....</b>	<b>2</b>
1.1    Antecedentes en la investigación .....	3
1.2    Video juegos educativos .....	3
1.3    Emociones y aprendizaje .....	4
1.4    Métodos adaptativos .....	5
1.5    Motivación .....	6
1.6    Resumen de la propuesta .....	7
1.7    Objetivos .....	8
1.8    Hipótesis .....	9
1.9    Alcances y limitaciones .....	10
1.10    Estructura de la tesis.....	11
<b>2    Marco Teórico .....</b>	<b>13</b>
2.1    Técnicas y métodos para el ajuste de dificultad en video juegos .....	13
2.2    Inducción de emociones .....	14
2.3    Teorías educativas para la adaptación de video juegos educativos .....	17
2.4    Lógica difusa .....	18
2.4.1    Conceptos básicos .....	18
2.4.2    Variables lingüísticas .....	18
2.4.3    Conjuntos difusos .....	19
2.4.4    Funciones de membresía.....	19
2.4.5    Operadores de lógica difusa .....	20
2.4.6    Reglas si-entonces .....	20
2.5    Controlador difuso .....	21
2.5.1    Ejemplo.....	24
2.5.2    Áreas de aplicación.....	25
2.6    Conclusión del capítulo.....	26
<b>3    Trabajos Relacionados .....</b>	<b>28</b>
3.1    Video juegos educativos .....	28

3.2	Video juegos con enfoque emocional.....	29
3.3	Lógica difusa en video juegos .....	30
3.4	Resumen .....	32
<b>4</b>	<b>Propuesta.....</b>	<b>34</b>
4.1	Descripción general .....	34
4.2	Control difuso .....	34
4.2.1	Funciones de membresía.....	34
4.2.2	Reglas difusas .....	35
4.2.3	Fuzzificación y defuzzificación .....	38
4.3	Selección del detector de emociones en voz.....	39
4.4	Conclusión del capítulo.....	39
<b>5</b>	<b>Experimento.....</b>	<b>41</b>
5.1	Diseño del video juego.....	41
5.2	Participantes y procedimiento .....	42
5.3	Métricas .....	43
5.4	Análisis estadístico .....	44
5.5	Conclusión de capítulo.....	44
<b>6</b>	<b>Resultados y discusiones .....</b>	<b>46</b>
6.1	Resultados.....	46
6.2	Discusión.....	48
6.3	Validación de hipótesis .....	50
<b>7</b>	<b>Conclusión y trabajo a Futuro .....</b>	<b>53</b>
7.1	Conclusión.....	53
7.2	Publicaciones del autor .....	53
7.3	Trabajos a futuro.....	54
<b>Bibliografía.....</b>		<b>55</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>i</b>
Anexo A Fuzzylite .....	i	
Anexo B UNITY .....	v	
Anexo C Componentes principales del juego.....	vi	
Anexo D IADS-2 International Affective Digitized Sounds.....	ix	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 El ciclo adaptativo de juegos emocionales (Tijs, 2008).....	6
Figura 2 Descripción general de la propuesta .....	8
Figura 3 Estructura general de la tesis .....	11
Figura 4 Ejemplos de estados emocionales en el modelo circunflejo (Russell, 1980)....	15
Figura 5 Modelo de Flujo (Csikszentmihalyi, 2008) .....	17
Figura 6 Funciones de membresía.....	20
Figura 7 Tabla de verdad para los operadores AND, OR y NOT.....	21
Figura 8 Componentes de un controlador difuso.....	22
Figura 9 Ejemplo de configuración de un control difuso.....	25
Figura 10 Ejemplo del comportamiento de un control difuso .....	26
Figura 11 Comparación del framework EDPCG con la propuesta (Yannakakis, 2011) ...	28
Figura 12 Evaluación de estados emocionales en (Chaffar, 2004) .....	30
Figura 13 Video juego utilizado en (Mandryk, 2007) .....	31
Figura 14 Funciones de membresía para la dificultad de la propuesta.....	35
Figura 15 Funciones de membresía para la estética de la propuesta .....	36
Figura 16 Video juego utilizado para la prueba.....	42
Figura 17 Comparación general del estado emocional del jugador según la etapa.....	46
Figura 18 Ejemplo comparativo entre las técnicas utilizadas para el mismo jugador....	49
Figura 19 Pantalla principal del GUI FuzzyLite.....	ii
Figura 20 Pantalla de configuración de las variables a fuzzificar y defuzzificar .....	iii
Figura 21 Pantalla de simulación en el GUI de Fuzzylite .....	iv
Figura 22 Listado de los posibles proyectos a comprar en Unity Asset Store .....	v
Figura 23 Principales componentes del juego.....	vi

Figura 24 Código para obtener los valores emocionales del jugador.....	vii
Figura 25 Código para obtener el siguiente nivel de dificultad y la estética .....	vii
Figura 26 Código para seleccionar la nueva estética.....	viii
Figura 27 Diagrama de sonidos de la base IADS (Bradley, 2007) .....	ix

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa de los métodos utilizados en los trabajos relacionados y la propuesta .....	32
Tabla 2 Reglas Difusas para el factor de dificultad, considerando la tasa de éxito .....	36
Tabla 3 Reglas difusas de la estética para la siguiente etapa considerando el estado emocional del jugador y la estética utilizada en la etapa anterior.....	37
Tabla 4 Comparativa del rendimiento de los algoritmos utilizados para el reconocimiento de emociones en voz (Anagnostopoulos, 2015) .....	39
Tabla 5 Tablas comparativas de las transiciones de estados emocionales para DDA e IC .....	47
Tabla 6 Tabla comparativa de las métricas obtenidas de la propuesta IC y la estrategia DDA .....	47
Tabla 7 Diferencia de velocidad entre la estrategia DDA y la propuesta IC ( $\Delta t$ ) .....	48

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

---

*En este capítulo se describen brevemente los conceptos incluidos en este trabajo de tesis. Se explican las aportaciones, motivación y planteamiento general de la propuesta. Por último, se describe la estructura del resto de la tesis.*

# 1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Asociación de software en entretenimiento –**ESA** del inglés *Entertainment Software Association*–, más de 150 millones de estadounidenses juegan video juegos y el 63% de los hogares son hogares donde al menos una persona juega video juegos con regularidad, o por lo menos tres horas a la semana. En 2014, la industria vendió más de 135 millones de juegos y generó más de 22 mil millones en ingresos (Association, 2016).

Más allá del entretenimiento, los video juegos ayudan a impulsar los avances sociales. Investigadores de la Universidad de Carolina del Este encontraron una disminución del 57% en los síntomas depresivos entre los que jugaron video juegos casuales. De acuerdo a una encuesta nacional realizada a los profesores de los Estados Unidos que utilizan juegos en el aula, el 70% expresaron que los video juegos permite el aumento de los niveles de motivación e inmersión en los estudiantes (Association, 2016).

En el desarrollo de un video juego, el principal objetivo es poder crear un juego que proporcione experiencias estéticamente agradables, para apoyar la conexión social o permitir que el jugador se identifique con el juego. Hoy en día las comunidades de Interacción hombre-máquina –**HCI** del inglés *Human-Computer Interaction*– y las investigaciones en video juegos están empezando a relacionarse para: el diseño, mejora y evaluación de los aspectos de la experiencia del juego –v.g., inmersión y diversión.

La emoción se ha identificado como un factor clave en la experiencia del usuario. Para Desmet (Desmet, 2007) la experiencia emocional es uno de los tres factores principales que contribuyen a la experiencia de un video juego, incluyendo los sentimientos y las emociones que provocan.

Debido a las cualidades motivacionales evidentes en los video juegos, se tiene el interés del uso de video juegos en diferentes áreas como: la educación, negocios, artes y en la salud. Más que sólo jugar, los video juegos ayudan a impartir conocimientos, enseñar habilidades para la vida, y reforzar hábitos positivos en las personas de todas las edades.

Esta tesis aborda el área de los video juegos aplicados en la educación, con enfoque en la inducción de emociones para optimizar el proceso de aprendizaje.

## 1.1 Antecedentes en la investigación

El Programa de Maestría en Ingeniería de Software nace en Agosto del 2004 a partir de un esfuerzo realizado por el Grupo de Ingeniería de Software –IngSoft– para atender la demanda de profesionales de la industria del software. En el año 2007 el grupo de Ingeniería de Software se traslada a la Ciudad de Zacatecas, para dar cobertura a otras entidades federativas. En 2012 se inicia la investigación en video juegos, en la tesis doctoral de Mario Salazar (Salazar, 2012) se propone un framework de desarrollo de video juegos para optimizar la experiencia de los jugadores. Lo anterior, dio origen a la formación del grupo de interacción humano computadora en el año 2013.

Con el conocimiento de las problemáticas en video juegos y la creación del grupo HCI, se inició con la línea de investigación Computación afectiva, e inició la investigación para inducir emociones en los estudiantes para mejorar el aprendizaje. La presente tesis, estudia como generar contenido en tiempo real para mejorar el aprendizaje en juegos serios a partir de la evaluación del estado emocional del estudiante.

## 1.2 Video juegos educativos

Un video juego educativo permite la inmersión de los usuarios mientras promueve el aprendizaje cognitivo y las habilidades sociales. Varios autores han observado el potencial de contenidos multimedia y juegos de consola –computadora– como herramientas educativas (Silvern, 1986); v.g., Rosas et al. (Rosas, 2003) muestran que el aprendizaje a través de video juego tiene efectos positivos para los niños en los primeros años de la escuela.

En (Kickmeier-Rust, 2012), se argumentan factores cruciales para el éxito de los juegos; v.g., la retroalimentación inmediata, el desafío, un alto nivel de interactividad, entre otros; estos factores repercuten en la capacidad del juego para mantener la motivación y el interés del alumno a través de la adaptación de contenidos al aprendizaje individual y a la experiencia de juego, las necesidades, preferencias, metas y habilidades del alumno. Además, los juegos de computadora no sólo integran el saber y el hacer, sino que también "reúnen las maneras de conocer, modos de hacer y formas de ser: los entendimientos situados, prácticas sociales eficaces, identidades de gran alcance y los valores compartidos que hacen que alguien sea un experto" (Shaffer, 2004).

En general, un juego educativo exitoso requiere que su mecánica –componentes de juego–, la dinámica –comportamiento como respuesta de las entradas de los

jugadores– y estética –formas del entorno, animaciones, sonido, etc.– cumplan con las expectativas de la población objetivo.

Tapscott (Tapscott, 1998) argumenta que las nuevas generaciones están aprendiendo, jugando, comunicándose, trabajando y creando comunidades muy diferentes a los de sus padres. También es ampliamente aceptado que este nuevo estilo de aprendizaje requiera nuevas formas de enseñanza. Se requieren nuevas formas para aproximarse a la nueva generación de estudiantes y cerrar la brecha entre sus expectativas, la enseñanza tradicional y prácticas de aprendizaje. Los juegos serios han surgido en este contexto, y resultando ser efectivos para distintos ambientes de aprendizaje.

Rowe (Rowe, 2015) define a los video juegos serios como “Juegos digitales no creados con el propósito principal de entretenimiento, pero con la intención de uso serio como en capacitación educativa y el cuidado de la salud”. Por otro lado, Ghergulescu et al. (Ghergulescu, 2012) definen el término video juegos educativos como: “Aplicaciones de software que utilizan juegos para fines de aprendizaje y educativos”.

Ghergulescu et al. (Ghergulescu, 2012) comprueba que los video juegos educativos son las herramientas más efectivas de aprendizaje y que algunos de sus beneficios son:

- Mejora el conocimiento del estudiante.
- Soporte al estudiante para adquirir nuevas habilidades.
- Incrementa la motivación.
- Satisfacción en estudiantes.

### 1.3 Emociones y aprendizaje

Las emociones pueden definirse como disposiciones de acciones basadas en la biología que tienen un papel importante en la determinación del comportamiento (Lang, 1995). Es común que un estudiante experimente una serie de emociones durante el proceso de aprendizaje como: aburrimiento –cuando el material no le atrae–, confusión –cuando tiene dificultad para comprender el material y no está seguro de cómo continuar–, frustración –cuando comete errores y queda detenido–, e incluso desesperación y ansiedad –cuando sus esfuerzos parecen inútiles– (Kort, 2001), (D'Mello, 2012).

Las emociones experimentadas durante un proceso de aprendizaje proporcionan pistas no sólo de la eficacia de una actividad de aprendizaje, sino también en el proceso de aprendizaje ya que las emociones mantienen el equilibrio entre la complejidad de la tarea y las características del alumno. Es decir, las emociones afectan directamente con el aprendizaje y el rendimiento (Novak, 2012).

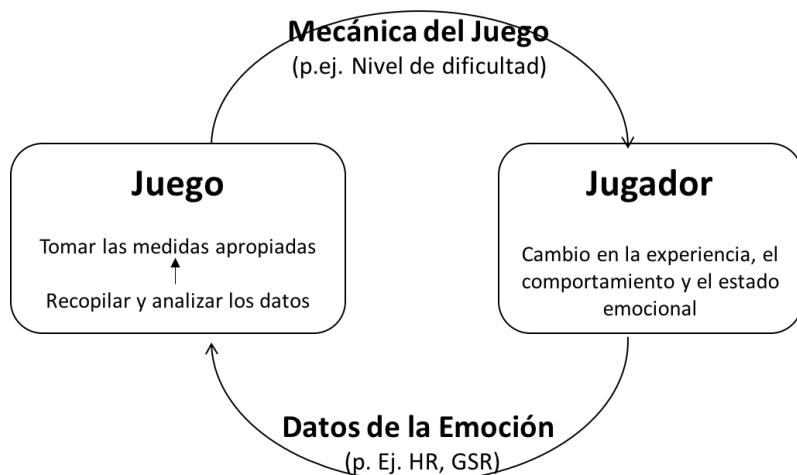
Investigadores como Erez et al. (Erez, 2002) han encontrado que las emociones positivas facilitan la memoria a largo plazo, la recuperación y los procesos de memoria de trabajo, y por lo tanto puede mejorar la motivación, la creatividad y las habilidades de resolución de problemas. Por su contraparte, las emociones negativas, como el aburrimiento, la ira o la ansiedad, pueden inhibir el aprendizaje (Goleman, 2006).

#### 1.4 Métodos adaptativos

El enfoque común para optimizar las medidas de rendimiento de salida del juego; v.g., la experiencia del jugador, se conoce como Ajuste Adaptivo del Juego –**AGA** del inglés *Adaptive Game Adjustment*. Los métodos de AGA se pueden dividir en dos clases generales (Nagle, 2014):

- **Ajuste dinámico de la dificultad –DDA del inglés *Dynamic Difficulty Adjustment*.** Este grupo de métodos, también conocido como balanceo dinámico del juego –**DGB** del inglés *Dynamic Game Balancing*– cambia automáticamente los parámetros, escenarios y comportamiento del video juego en tiempo real, para que se ajusten a la habilidad del jugador. En el contexto de los juegos serios, estos métodos hacen uso de la teoría de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP), propuesta por (Vygotsky, 1978). En su teoría, Vygotsky considera dos niveles de desarrollo para los estudiantes: el *nivel de desarrollo actual*- lo que un estudiante puede hacer por si mismo- y el *nivel de desarrollo potencial*- lo que un alumno puede realizar con cierta asistencia. Vygotsky define la ZDP como: "La distancia entre el nivel actual de desarrollo, determinado por la resolución independiente de problemas, y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de problemas bajo la guía de un adulto o la colaboración de los compañeros más capaces". Una interpretación simple de la teoría ZDP es que el material didáctico no debe ser demasiado difícil o fácil para el alumno (Murray, 2002). Este enfoque argumenta que al mantener los estudiantes en su ZDP, los extremos emocionales negativos pueden prevenirse; v.g., estar aburrido, confundido o frustrado (Murray, 2002).

- **Método adaptativo con enfoque emocional –EA del inglés *Emotionally Adaptive Methods*.** Estos métodos consideran que manteniendo un alto nivel de inmersión, la experiencia de juego podría conducir a beneficios psicológicos, como el sentido de eficacia, y de poder sobre el entorno, así como mejoras en el aprendizaje (Ryan, 2006). Las emociones se pueden observar en: las expresiones faciales, los gestos, los movimientos del cuerpo, así como en la voz. Además, de los canales directamente observables, los cambios fisiológicos pueden ocurrir también en parámetros tales como la presión arterial, la frecuencia cardíaca, o la actividad electro-dérmica que no pueden ser reconocidos directamente por observadores humanos (Peter, 2012). El ciclo emocional (Tijss, 2008) (Sundström, 2005) establece que: proporcionando el contenido adecuado el juego puede influir en la experiencia del jugador, y al detectar el estado emocional del jugador el juego puede adaptar su contenido (Figura 1).



*Figura 1 El ciclo adaptativo de juegos emocionales (Tijss, 2008)*

## 1.5 Motivación

Las razones por la que se llevó a cabo esta investigación son:

- Existen muy pocas investigaciones en el área de video juegos educativos donde se inducen emociones. A diferencia de otras investigaciones, en esta investigación se inducen emociones a partir del conocimiento de algunos factores –v.g., dificultad, tasa de aciertos, estética del video juego– que influyeron en el estado emocional del estudiante.

- A diferencia de otras investigaciones, donde solo se adapta el contenido del video juego en base al desempeño del estudiante. La propuesta adapta el contenido estético, tomando en cuenta las emociones de los estudiantes.
- Otros trabajos hacen estudios grupales para aprender un modelo de cómo se debe ajustar la dificultad de cada nivel. En esta investigación, se realiza un ajuste del contenido en base a la evidencia teórica encontrada en la literatura; y además este ajuste es personalizado y en tiempo real en base al desempeño y estado emocional de los estudiantes.

## 1.6 Resumen de la propuesta

Este trabajo propone el control inductivo –**IC** del inglés *Inductive Control*– para video juegos educativos. La propuesta utiliza el estado emocional estimado del jugador para inducir emociones para apoyar el proceso de aprendizaje; es decir, la propuesta IC considera que los mejores resultados de aprendizaje se pueden obtener mediante la inducción de emociones deseables a estudiantes a través del control tanto del nivel y la estética del juego.

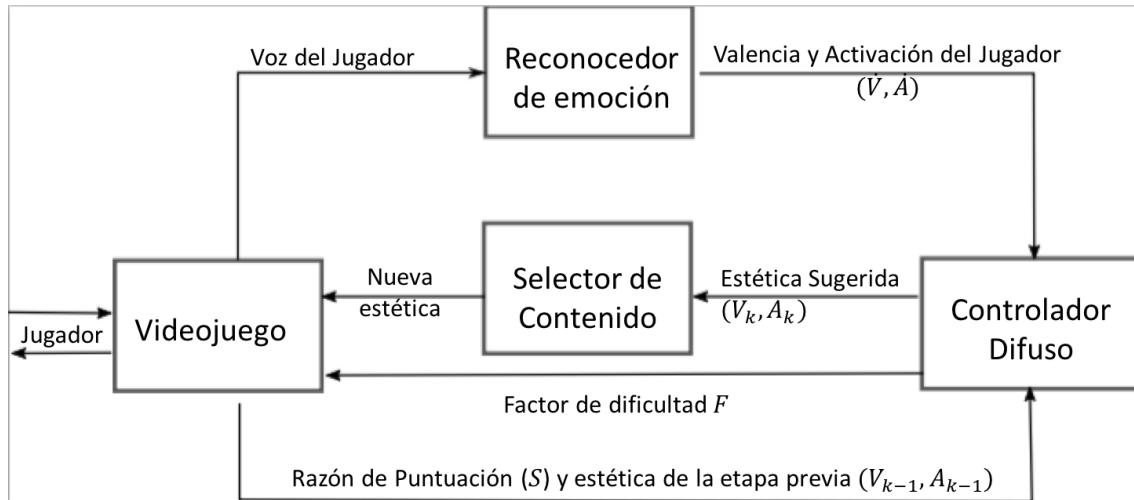
El esquema general de la propuesta se muestra en la Figura 2. El video juego puede obtener información emocional del jugador y el desempeño –puntuación– cuando el jugador –estudiante– interactúa con él. La propuesta IC requiere conocer el estado emocional de los usuarios para seleccionar la mejor estética y el mejor nivel de dificultad. Con este fin, un detector emocional en voz se utiliza para estimar el estado emocional de los jugadores –expresado por la activación y valencia. Un controlador difuso analiza la puntuación obtenida por el jugador y la estética en la etapa anterior, la activación y la valencia actual del jugador, para proporcionar el nuevo nivel de dificultad y la estética para la siguiente etapa.

Los objetivos de generar contenido multimedia de acuerdo al estado emocional del jugador son:

- Aliviar estados emocionales negativos que son comunes en el proceso de aprendizaje constructivo –v.g., frustración.
- Activar a estudiantes que se encuentran en estados que impiden el aprendizaje –v.g., aburrimiento o cansancio.
- Mantener a los estudiantes en los estados que favorecen el aprendizaje –v.g., felicidad.

Para este fin, las reglas incluidas en el control difuso consideran muchos de estos casos, también aprovechan el conocimiento del contenido estético utilizado

previamente. Esto podría ser vital para evitar estados de no-aprendizaje durante largos períodos; v.g., vale la pena intentar sonidos desagradables para estimular un estudiante aburrido que no se puede activar mediante el uso de nivel de dificultad más difícil, ni usando sonidos agradables.



*Figura 2 Descripción general de la propuesta*

## 1.7 Objetivos

### Objetivo General

El objetivo general de la tesis es: desarrollar un control difuso para apoyar el proceso de aprendizaje mediante el reconocimiento de emoción por voz.

Para lograr este objetivo son necesarias la interacción e integración de diversas áreas de conocimiento como: Ingeniería de software, Computación afectiva, Psicología emocional y Educativa.

### Objetivos específicos

Para dar cumplimiento tanto con el objetivo general como con el desarrollo adecuado del trabajo de tesis, se consideran los siguientes objetivos específicos:

**Objetivo 1:** Identificar las técnicas y métodos reportadas en la literatura para el ajuste dinámico de dificultad en video juegos para mejorar la experiencia del jugador.

**Objetivo 2:** Identificar las técnicas y métodos reportadas en la literatura para inducir emociones en individuos.

**Objetivo 3:** Explicar las teorías educativas que fundamentan el ajuste de dificultad, la mecánica y la estética en el contexto de video juegos educativos.

**Objetivo 4:** Describir un controlador lógico difuso del tipo Mamdani.

**Objetivo 5:** Diseñar una técnica de control inductivo que use lógica difusa y favorezca un estado emocional óptimo en el jugador para facilitar el aprendizaje a través del cambio del nivel de dificultad y la mecánica del juego.

**Objetivo 6:** Desarrollar un video juego simple para fomentar las habilidades matemáticas y que use control inductivo para evaluar emociones en voz.

**Objetivo 7:** Comparar la técnica de control inductivo con técnicas convencionales de ajuste dinámico de dificultad de video juegos.

## 1.8 Hipótesis

Para validar la propuesta en esta tesis y en base a los objetivos establecidos, se plantean las siguientes hipótesis:

**Hipótesis 1:** Es posible mezclar técnicas de ajuste de dificultad y mecánica del video juego, a través de un control lógico difuso para mejorar la experiencia del jugador.

**Hipótesis 2:** El control inductivo basado en lógica difusa permite el incremento de dificultad en el juego sin ocasionar cambios innecesarios.

**Hipótesis 3:** El control inductivo favorece estados emocionales positivos en el jugador.

**Hipótesis 4:** El control inductivo reduce el tiempo de cambio de emociones desagradables-bajas a emociones agradables o altas.

## 1.9 Alcances y limitaciones

La limitante principal para el desarrollo de esta investigación es la duración del proyecto, para contrarrestar posibles riesgos se tomaron las siguientes medidas con el fin de asegurar la calidad de la investigación:

- **Tipo de video juego:** se sabe que el tiempo promedio para el diseño, desarrollo y prueba de un video juego simple es de 6 meses. Por lo tanto, la aplicación del video juego, se centra en mejorar la habilidad matemática de las personas, en lugar de generar nuevos conocimientos sobre un tema en específico.
- **Herramientas de desarrollo:** las herramientas se seleccionaron en base a la experiencia en desarrollo de video juegos de la autora, para hacer uso eficiente del tiempo.
- **Lógica para el control difuso:** las reglas de control difuso son basadas en conocimiento de expertos y no en técnicas de aprendizaje automatizadas.
- **Tamaño de la muestra y sesgo:** por facilidad o cercanía respecto a los participantes, se seleccionaron al azar estudiantes de nivel secundaria del Estado de Zacatecas.

## 1.10 Estructura de la tesis

La Figura 3 propone las trayectorias de lectura de los capítulos que presenta la tesis. El resto de esta tesis se organiza: en el Capítulo 2 se describe el marco teórico. En el Capítulo 3 se describe el estado del arte, es decir, los trabajos relacionados, mientras que en el Capítulo 4 se describe la propuesta, en el Capítulo 5 se describe el método utilizado en el estudio empírico. En el Capítulo 6 se presentan y discuten los resultados, y finalmente, en el Capítulo 7 se da la conclusión general y los trabajos a futuro.

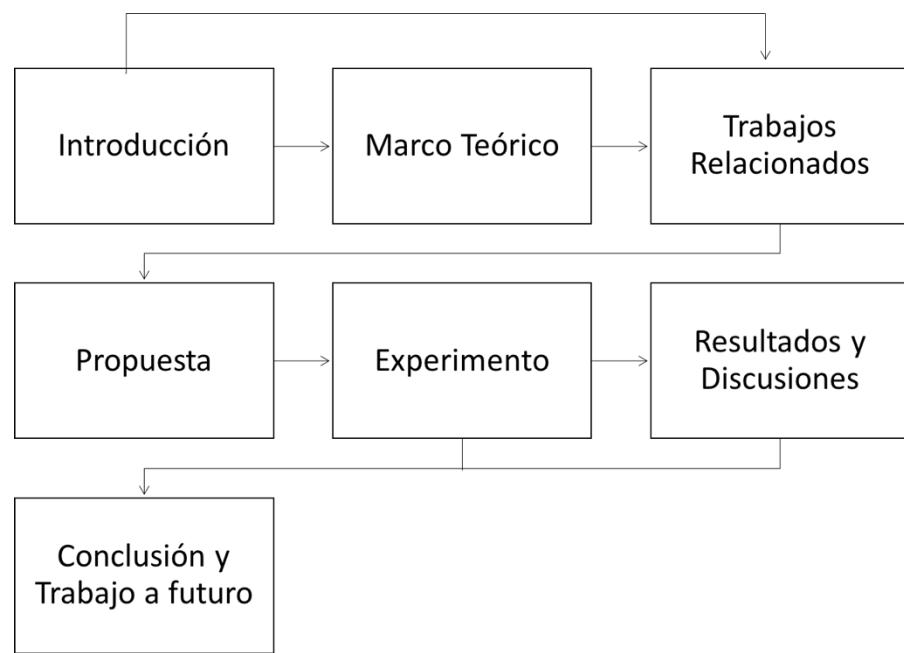


Figura 3 Estructura general de la tesis

## CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

---

*En este capítulo se describen los conceptos relacionados con la propuesta específicamente relacionados con la emoción, además cómo se puede inducir y reconocer emociones. Finalmente, se introducen los conceptos de lógica difusa y sus aplicaciones.*

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Técnicas y métodos para el ajuste de dificultad en video juegos

En un juego cuando el nivel de dificultad coincide con la habilidad del jugador, la experiencia de juego es más entretenida que la de un juego donde la dificultad es muy fácil o difícil. El ajuste dinámico de la dificultad en video juegos es un proceso que debe satisfacer al menos tres requisitos básicos (Andrade, 2006):

- **Adaptarse al perfil del jugador:** El juego debe, tan pronto como sea posible, identificar y adaptarse al jugador, que puede variar ampliamente, desde los principiantes hasta expertos.
- **Controlar el rendimiento del jugador:** El juego debe realizar un seguimiento lo más cercano y rápido posible a las evoluciones y regresiones en el desempeño del jugador.
- **Mantener al jugador interesado:** La adaptación de sí mismo, el comportamiento del video juego debe ser creíble.

Existen diferentes enfoques para lograr el ajuste dinámico de dificultad, algunos son (Andrade, 2006):

- **Algoritmos genéticos.** Son funciones heurísticas, las cuales mapean un estado de juego a un valor que especifica el grado de dificultad del jugador en un momento específico.
- **Reglas de comportamiento.** Una técnica de implementación tradicional, es modificar el comportamiento de los personajes en el video juego, usualmente modelado con agentes inteligentes –v.g., inteligencia artificial.
- **Técnicas de refuerzo basado en aprendizaje.** La idea consiste en acoplar el aprendizaje de un mecanismo de selección de una acción con las habilidades actuales del usuario.
- **Manipulación de las variables de entorno para poder hacer retos más fáciles o difíciles.** Es decir, conocer si el juego es muy difícil, si el jugador recibe más

armas, si recuperó los puntos de vida más rápido o se enfrenta a un menor número de oponentes.

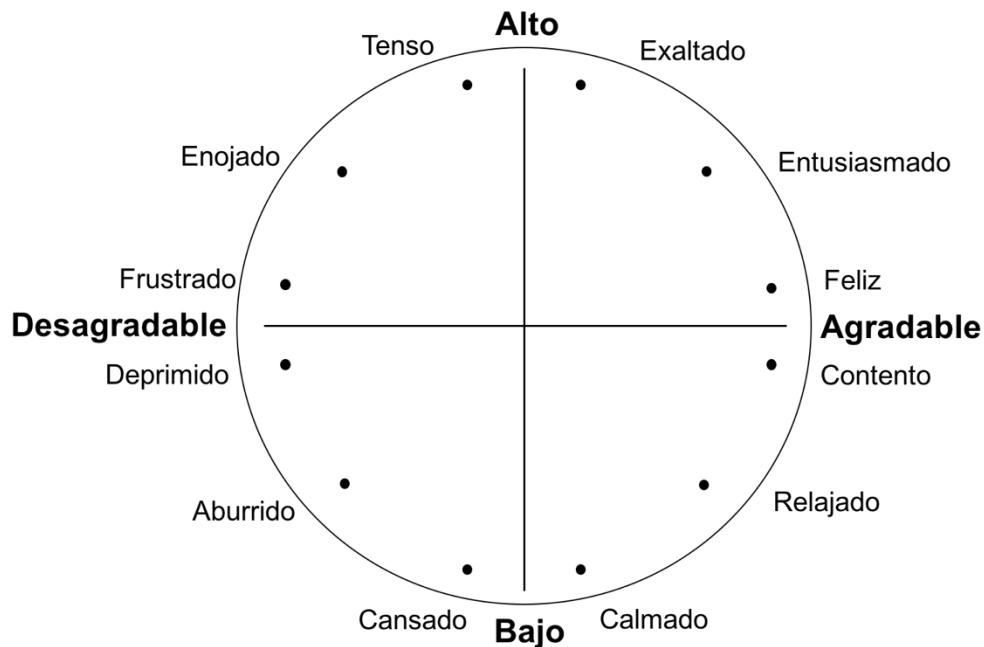
## 2.2 Inducción de emociones

"Emoción" es un término que puede tener muchos significados e interpretaciones. La mayoría de los grandes filósofos -Platón, Aristóteles, Spinoza, Descartes, Hobbes- tenían teorías reconocibles de la emoción, concebidos como respuestas a ciertos tipos de eventos de interés para un sujeto, lo que provoca cambios corporales y típicamente comportamientos característicos (Lewis, 2010).

Investigaciones como la de Lewis et al. (Lewis, 2010) demuestran que las emociones juegan un papel crítico en el comportamiento racional, funcional e inteligente. La Neurofisiología, ciencia que estudia el sistema nervioso, nos indica que el sistema límbico, el segundo cerebro en evolucionar, alberga los centros primarios de la emoción. Incluye la amígdala, que es importante en la asociación de los acontecimientos con las emociones, y el hipocampo, que se activa para convertir la información en la memoria a largo plazo y en la recuperación de la memoria (LeDoux, 1993). Además, un estado emocional implica cambios en el comportamiento facial, corporal y vocal.

Los estados emocionales se pueden colocar dentro de un modelo dimensional de dos o tres dimensiones afectivas. El objetivo principal del modelo dimensional, es permitir una descripción continua de las emociones. Se han propuesto diferentes modelos dimensionales. Estos modelos consideran que las emociones humanas pueden considerarse como una combinación de diferentes componentes. El modelo circunflejo de Russell (Russell, 1980) sugiere que las emociones pueden ser distribuidas en un espacio de dos dimensiones. El eje horizontal representa la dimensión de la valencia – rango de emociones agradables a desagradable –. El eje vertical representa la dimensión de la activación – rango de emociones altas y bajas – (Figura 4).

Los Procedimientos de inducción del estado de ánimo –**MIP** del inglés *Mood Induction Procedures*–, se definen como estrategias que tienen como objetivo cambiar momentáneamente el estado de ánimo o emocional de las personas de una manera artificial y controlada. Para eso, se han desarrollado una variedad de técnicas experimentales para inducir estados emocionales en las personas, las cuales se clasifican en dos categorías:



**Figura 4 Ejemplos de estados emocionales en el modelo circunflejo (Russell, 1980)**

En este estudio estos estados se dividen en cuatro grupos: agradables-altos, agradables-bajos, desagradables-bajos, y desagradables-altos.

- **Simple:** en esta categoría se encuentran las estrategias que hacen uso de solo una técnica para la inducción de estados emocionales; v.g., la técnica autobiográfica en donde se pide a los participantes recordar y anotar un acontecimiento feliz o triste que han experimentado en el pasado.
- **Combinada:** se encuentran las estrategias que hacen uso de más de una técnica. La más utilizada es la de Mayer (Mayer, 1990), en donde asocian las imágenes con la música. Por lo general utilizan primero una técnica que produce la atención en primer plano y una segunda técnica contribuye a un ambiente de fondo congruente.

Diversos estudios tratan de seleccionar la mejor estrategia para la inducción de estados emocionales positivos y negativos; Jallais (Jallais, 2010) demuestra que las estrategias simples son más eficientes para realizar cambios de estados emocionales deseables, en comparación con las estrategias con técnicas combinadas. Para esta tesis, se hace uso de la implementación de una sola técnica, para poder lograr inducir estados emocionales en los participantes.

La computación afectiva es un área de la computación que permiten conocer el estado emocional del jugador. En el área de los video juegos a esta área se le conoce como Juegos afectivos. Picard (Picard, 1997) describe la computación afectiva como "Computación que se relaciona o surge deliberadamente con la influencia de las emociones".

Actualmente, los juegos afectivos se enfocan principalmente en la detección y reconocimiento de las emociones, y en la adaptación de las respuestas del video juego a esas emociones; v.g., minimizar la frustración asegurando un desafío apropiado (Robin Hunicke, 2004). Las emociones se pueden manifestar a través de distintas modalidades, la más visible es el comportamiento/expresiva –v.g., expresión facial, habla, postura corporal–, la segunda modalidad conocida es la fisiológica/somática –v.g., cambio en la presión arterial, el ritmo cardiaco, dilatación de la pupila. Existen tres tipos de métodos que se utilizan para medir emociones (Öhman, 1987):

- **Auto-reporto:** se considera un método subjetivo, debido a que depende de la auto evaluación de la persona encuestada.
- **Análisis de la conducta:** en donde una serie de expertos evalúan el comportamiento visible del jugador.
- **Análisis de las respuestas fisiológicas (Biometría):** es la práctica de utilizar sensores conectados al cuerpo del jugador con el propósito de monitorear los datos corporales. Las medidas fisiológicas comunes incluyen monitores de ritmo cardíaco –**IBI** del inglés *cardiac Inter-Beat Intervals*–, monitores de actividad electro dérmicos (**GSR** del inglés *Galvanic Skin Response*), electroencefalografía –**EEG** del inglés *Electroencephalography*–, medidas de los músculos faciales o electromiografía –**EMG** del inglés *Electromyography*. Este método es considerado un método Objetivo.

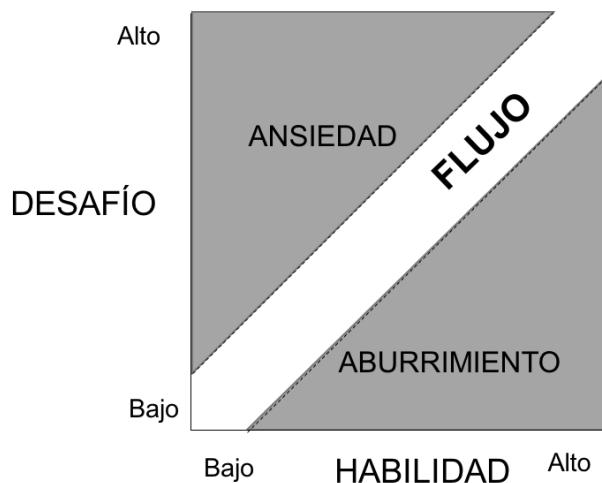
Las herramientas utilizadas para medir EEG, IBI, GSR, entre otros; son consideradas herramientas intrusivas; por el contrario las herramientas como: el seguimiento ocular, reconocimiento a través de la voz y reconocimiento facial son herramientas no intrusivas.

## 2.3 Teorías educativas para la adaptación de video juegos educativos

La teoría ZDP de Vygotsky (Vygotsky, 1978), descrita en el Capítulo 1, es la teoría ampliamente adoptada en el desarrollo de video juegos. Esta teoría permite equilibrar las habilidades y aumentar la confianza mientras se incrementa el nivel de dificultad. Por lo tanto, la zona de desarrollo próximo es un modelo para optimizar el desempeño de aprendizaje en las personas.

La teoría de flujo de Csíkszentmihályi (Csikszentmihalyi, 2008), afirma que las actividades se pueden realizar de manera óptima cuando una persona está en el flujo, siendo este un estado mental donde la persona está completamente enfocada y motivada. Una persona puede entrar en esta inmersión en su actividad -en este caso el aprendizaje- cuando su nivel de habilidad y el nivel de desafío del material están en equilibrio Figura 5. En video juegos, el mantener a la persona en el “estado de flujo” es primordial para generar diversión mientras incrementa la habilidad y el desafío.

Como se puede observar, ambas teorías tienen similitudes las cuales permite su integración. Entonces, se puede argumentar que el permanecer en el “estado de flujo”/ZDP puede mantener a la persona motivada y entretenida mientras se lleva a cabo un aprendizaje efectivo.



**Figura 5** Modelo de Flujo (Csikszentmihalyi, 2008)

Flujo, relación entre los estados emocionales, la dificultad de una tarea y las habilidades de una persona.

## 2.4 Lógica difusa

En esta sección se describen los conceptos y el funcionamiento de la lógica difusa, la cual se utilizó para la propuesta IC. El contenido de este capítulo se basa en (Passino, 1998) (Steve, 1992) (Cox, 1992) y (Jang, 1997).

En un sentido limitado, la lógica difusa es un sistema lógico, que es una extensión de la lógica de valores múltiples. Sin embargo, en un sentido más amplio, la lógica difusa –**FL** del inglés *Fuzzy Logic*– es casi sinónimo de la teoría de conjuntos difusos, una teoría que se refiere a las clases de objetos con límites poco definidos en el que la membresía, o pertenencia, es una cuestión de grado. Incluso en su más limitada definición, la lógica difusa se diferencia tanto en su concepto y su sustancia de los sistemas tradicionales de lógica de valores múltiples. Entonces, una definición simple sería: La lógica difusa imita la forma en que toman decisiones los humanos, ya que utiliza un lenguaje impreciso pero descriptivo para hacer frente a los datos de entrada, al igual que un operador humano (Jang, 1997).

La lógica difusa se diseñó para reaccionar a cambios continuos de la variable a ser controlada y se diferencia de la lógica Booleana por no estar restringida a dos únicos valores (0 y 1).

### 2.4.1 Conceptos básicos

Para entender la lógica difusa y poder implementarlo en un control difuso, es necesario conocer los siguientes conceptos (Passino, 1998) (Steve, 1992) (Cox, 1992).

- **Entradas Abruptas:** Diferentes valores discretos de la variable del sistema.
- **Universo de Discurso:** Rango de todos los valores posibles de la variable del sistema.
- **Rango o Dominio:** Intervalo sobre el cual una función de membresía es mapeada.
- **Superposición:** El grado en que el dominio de un conjunto difuso se solapa con el de otro.

### 2.4.2 Variables lingüísticas

Una variable lingüística (Passino, 1998) es un conjunto de términos expresados en lenguaje natural que puede representar los posibles valores que una variable puede tomar; v.g., la variable de un sistema de lógica difusa *Altura*, es una variable lingüística,

en donde existe los tipos: Bajo, Mediano, Alto. Estos son llamados términos lingüísticos y representan los posibles valores de una variable lingüística. Así una variable puede asociarse en mayor o menor grado a un término lingüístico; v.g., la variable Altura se puede asociar con el siguiente conjunto de términos lingüísticos:

$$Altura = \{Bajo, Mediano, Alto\}$$

El conjunto de términos de una variable lingüística es un conjunto difuso cuando cada valor de la variable pertenece con grados de certeza a uno o más de sus términos lingüísticos de acuerdo con sus respectivas funciones de membresía.

#### 2.4.3 Conjuntos difusos

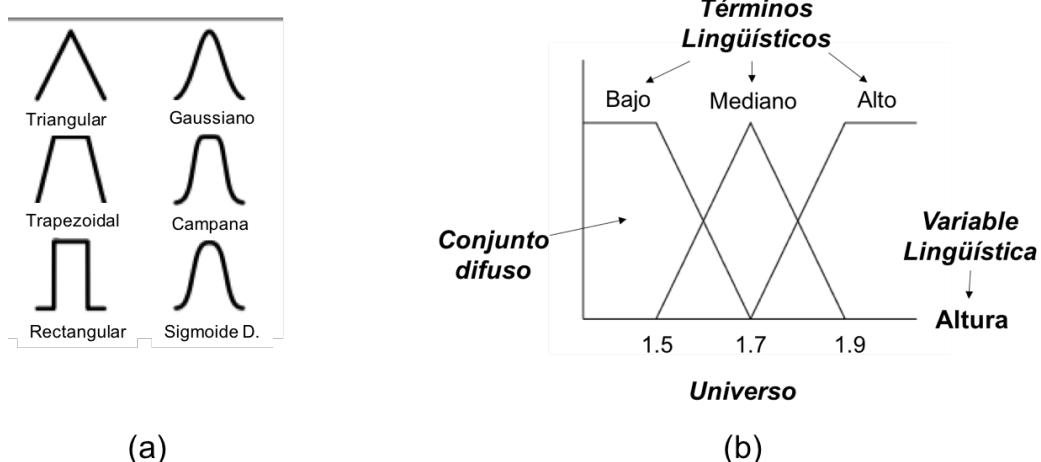
Un conjunto difuso es un conjunto con un límite definido, el cual se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, términos lingüísticos o adjetivos. Además, pueden contener elementos con solamente un grado parcial de pertenencia.

Un conjunto difuso A se expresa generalmente en términos de su función de membresía ( $\mu_A$ ) que mapea elementos del dominio y sus respectivos grados de pertenencia en el intervalo (0,1). Un conjunto difuso en un universo se puede definir como lo muestra la siguiente ecuación:

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

#### 2.4.4 Funciones de membresía

Una función de membresía es una curva que define la forma en cada punto en el espacio de entrada se asigna a un valor de membresía –o grado de membresía– entre 0 y 1. El espacio de entrada se refiere a veces como el universo de discurso. Algunas de las formas de funciones de membresía se presentan en la Figura 6a; las funciones más utilizadas debido a su simplicidad matemáticas son las funciones triangular, trapezoidal y gaussiana. Una sola variable puede tener diferentes términos lingüísticos asociados, v.g., la Figura 6b.



**Figura 6 Funciones de membresía**  
 (a) Funciones de membresía que se pueden utilizar en un control difuso. (b) Términos lingüísticos involucrados al diseñar las funciones de membresía.

#### 2.4.5 Operadores de lógica difusa

Un operador de lógica difusa define una operación entre dos valores. Puede ser un T-Norm cuando es modelo de conjunción, o un S-Norm cuando es un modelo de disyunción. Ejemplos de T-Norm son el mínimo y el producto algebraico entre dos valores, mientras que los ejemplos de los S-Norm son el máximo y la suma algebraica. Los operadores son cruciales para las reglas base de un sistema de lógica difusa. Las operaciones básicas son las siguientes:

- Y (*AND*)
- O (*OR*)
- NO (*NOT*)

Las operaciones utilizadas para conjuntos difusos, al igual que en la teoría clásica de conjuntos, cumplen con la asociatividad, conmutatividad y distribución, así como las leyes de Morgan Figura 7. Lo más importante para tener en cuenta sobre el razonamiento lógico difuso es el hecho de que es un superconjunto de la lógica booleana estándar.

#### 2.4.6 Reglas si-entonces

Las reglas de inferencia son instrucciones condicionales que controlan el sistema. Cada regla se compone de un antecedente y un consecuente, cada uno de los cuales consta de proposiciones en la forma "variable es término".

SI  $x$  es  $A$  ENTONCES  $y$  es  $B$

donde  $A$  y  $B$  son valores lingüísticos definidos por conjuntos difusos en los rangos –universos de discurso–  $X$  e  $Y$ , respectivamente. La parte de la regla "x es A" se llama el antecedente o premisa, mientras que la parte de la regla "y es B" se llama consecuente o conclusión. Un ejemplo de una norma de este tipo podría ser:

SI la Altura es Alta, ENTONCES Zapatos es Grande.

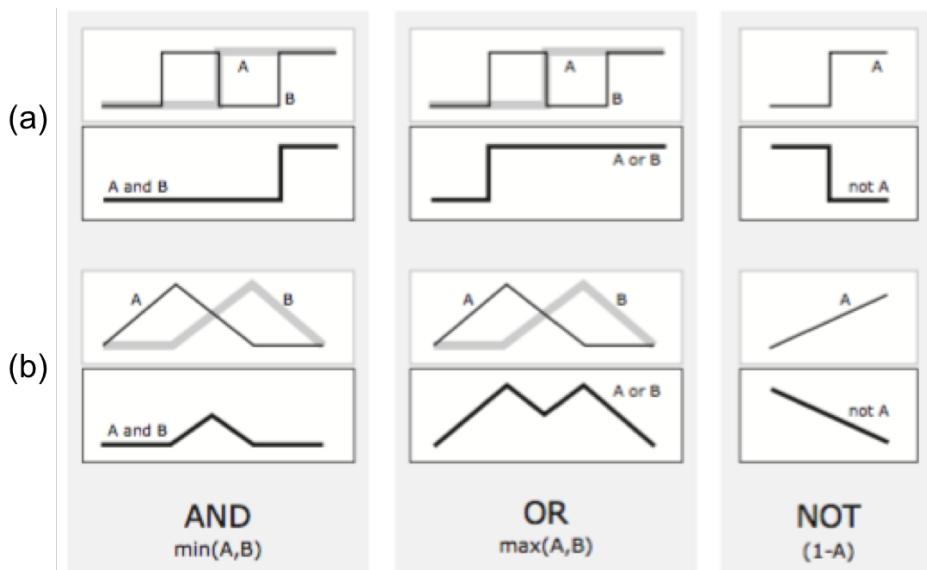


Figura 7 Tabla de verdad para los operadores AND, OR y NOT

(a) Funcionamiento de los operadores en la lógica clásica.(b) Funcionamiento de las operaciones difusas en un rango de variación continua de valores de verdad  $A$  y  $B$  de acuerdo con las operaciones difusas.

## 2.5 Controlador difuso

El sistema de inferencia difusa que hasta el momento se describe, es conocido como un controlador de Mamdani (Mamdani, 1975). El Método de inferencia difusa de Mamdani es la metodología más utilizada. Su configuración consiste en cuatro operadores de lógica difusa y un defuzzificador, que se describirá más adelante. Las palabras clave AND y OR conectan las proposiciones en el antecedente de las reglas que están definidas por una T-Norm –conjunción lógica de valores– y S-Norm –disyunción lógica de valores–, respectivamente. Las consecuencias de las reglas son modificados por el operador de activación, que es una T-Norm. Las salidas difusas de las reglas se van acumulando por un operador de acumulación, que es un S-Norm (Jang, 1997).

La Inferencia-Mamdani, espera las funciones de membresía de salida para ser conjuntos difusos. Después del proceso de agregación, hay un conjunto difuso para cada variable de salida que necesita defuzzificación. Es posible, y en muchos casos mucho más eficientes, el uso de un solo punto como la función de membresía de salida en lugar de un conjunto difuso distribuido. Este tipo de salida se conoce a veces como una función de membresía de salida singleton, y puede ser pensado como un conjunto difuso pre-defuzzificado. Se mejora la eficiencia del proceso de defuzzificación porque simplifica en gran medida el cálculo requerido por el método más general de Mamdani, que encuentra el centro de gravedad de una función de dos dimensiones (Cox, 1992).

El controlador de lógica difusa se compone de 3 fases (Figura 8):

- **Fuzzificación:** Tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En la fuzzificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de membresía asociadas a los conjuntos difusos. Los métodos básicos en la fuzzificación son el triangular, trapezoidal y rectangular, otras son la gaussiana y la linear.
- **Inferencia:** En esta fase se relacionan los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. Emula la toma de decisiones del experto en la interpretación y aplicación del conocimiento, para ello se generan reglas mediante el uso de condiciones; v.g., si caso1 y caso2, entonces acción1.
- **Defuzzificación:** Realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores de salidas, que posteriormente se utilizarán en el proceso

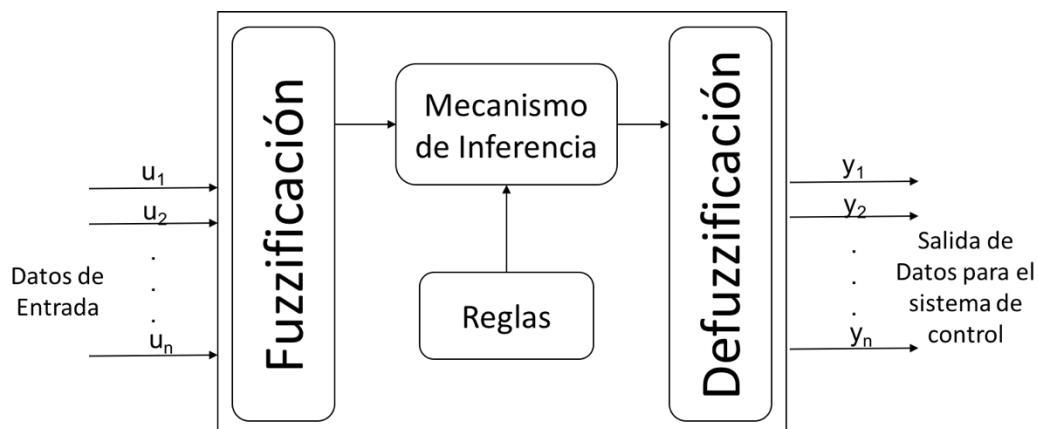


Figura 8 Componentes de un controlador difuso

de control –que convierte las conclusiones del mecanismo de inferencia en las entradas reales para un proceso. En la defuzzificación se utilizan métodos matemáticos simples como el Método de Centro de gravedad, Método del Promedio Ponderado y Método de Membresía del Medio Máximo.

La lógica difusa se aplica a conceptos en donde una variable puede tomar cualquier valor de un conjunto que oscila entre dos extremos. Es decir, lógica difusa es una manera conveniente para asignar un espacio de entrada a un espacio de salida. No es recomendable utilizar la lógica difusa cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.

Lotfi Zadeh, considerado el padre de la lógica difusa, dijo una vez: "En casi todos los casos se puede construir el mismo producto sin la lógica difusa, pero el método basado en lógica difusa es más rápido y más barato" (Jang, 1997).

Aquí está una lista de observaciones generales acerca de la lógica difusa:

- **La lógica difusa es fácil de entender.** Los conceptos matemáticos detrás del razonamiento difuso son muy simples. La lógica difusa es un enfoque más intuitivo sin la complejidad de largo alcance.
- **La lógica difusa es flexible.** Con cualquier sistema dado, es fácil para estratificar más funcionalidades sin empezar de nuevo desde cero.
- **La lógica difusa se basa en el lenguaje natural.** La base de la lógica difusa es la base para la comunicación humana. Esta observación respalda muchas de las otras declaraciones acerca de la lógica difusa. Debido a que la lógica difusa se basa en las estructuras de la descripción cualitativa del lenguaje habitual, la lógica difusa es fácil de usar.
- **La lógica difusa se puede mezclar con técnicas de control convencional.** Los sistemas difusos no necesariamente reemplazan los métodos de controles convencionales. En muchos casos, los sistemas difusos aumentan y simplifican su aplicación.

### 2.5.1 Ejemplo

Para poder consolidar la información con respecto a la lógica difusa, el siguiente ejemplo describe los datos que se requieren para poder diseñar un control difuso.

Dado el problema:

“Conocer el nivel de felicidad de las personas en base a su estado económico”.

Se inicia definiendo las variables de entrada y salida del control difuso:

- Variables de entrada: Edad, Sueldo.
- Variables de salida: Disposición.

Luego, se especifica los términos que pueden tener las variables –universo–:

$$\begin{aligned} \text{Edad} &= \{\text{Joven}, \text{Adulto}\} \\ \text{Sueldo} &= \{\text{Haciéndolo bien}, \text{Rico}\} \\ \text{Disposición} &= \{\text{Feliz}, \text{Alegre}\} \end{aligned}$$

Después, es necesario establecer la técnica para la fuzzificación y defuzzificación de los valores. Para este ejemplo, se selecciona la técnica Gaussiana para la fuzzificación y la defuzzificación.

En las variables de entrada, es necesario definir las funciones de membresía de cada término:

*Joven* ( $\mu = 0$ ), *Adulto* ( $\mu = 85$ ), *Rico* ( $\mu = 100$ ) y *Haciéndolo bien* ( $\mu = 60$ ).

Para la variable de salida, su función de membresía sería:

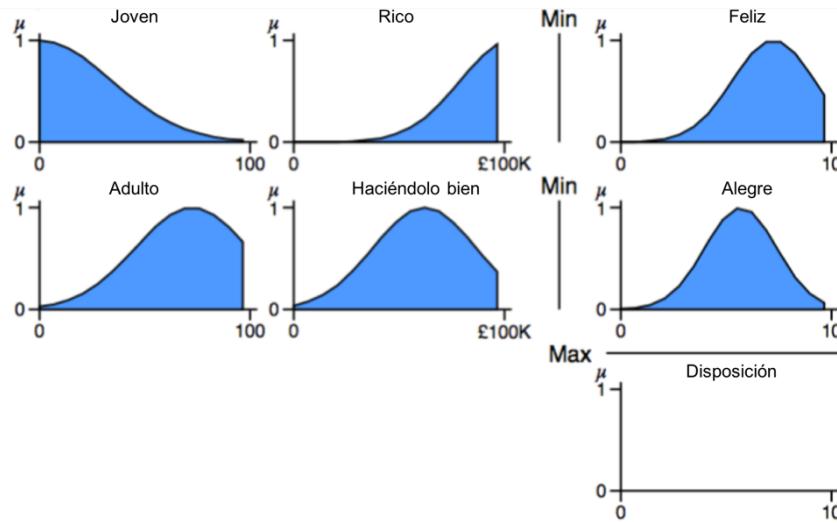
*Feliz* ( $\mu = 80$ ), *Alegre* ( $\mu = 50$ ).

Para defuzzificar los datos arrojados por la inferencia difusa, se debe establecer el método de defuzzificación de los datos, en este ejemplo se selecciona el método de centro de gravedad. Un ejemplo de regla para el control difuso es:

*Si Edad es Joven Y Sueldo es Rico ENTONCES Disposición es Feliz*

La configuración de este control difuso, se puede visualizar en la Figura 9. Para probar el comportamiento de este control difuso, tomamos la información de una persona donde:

$$\text{Edad} = 45 \text{ años} \text{ y } \text{Sueldo} = 65 \text{ euros.}$$



*Figura 9 Ejemplo de configuración de un control difuso*

*Para conocer el estado de humor de una persona de acuerdo a su nivel económico*

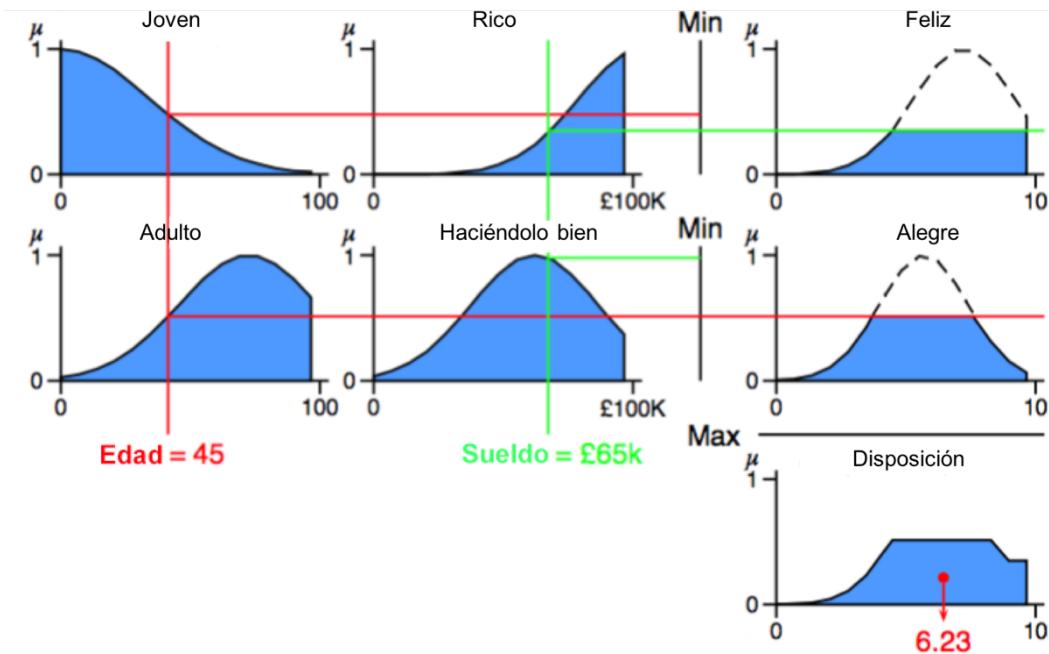
El control difuso nos indicará que el humor de la persona es de 6.5, es decir, su humor es de 65% (Figura 10). En la Figura 10, se observa la lógica en conjuntos difusos, como en la regla utilizada en el control difuso hace uso del operador lógico Y, entonces, a partir de la intersección mínima de los conjuntos se obtiene el centro de gravedad y con él se obtiene el valor de salida.

### 2.5.2 Áreas de aplicación

Los sistemas difusos se han utilizado en una amplia variedad de aplicaciones en la ingeniería, la ciencia, los negocios, la medicina, la psicología y otros campos. Algunos ejemplos en el área de ingeniería incluyen (Passino, 1998):

- **Aviones / nave espacial:** los mandos de vuelo, control del motor, diagnóstico de fallos, navegación y control de posición satelital.
- **Automóviles:** frenos, transmisión, suspensión y control del motor.
- **Vehículos autónomos:** en tierra y bajo el agua.

- **Robótica:** Posición de control y planificación de ruta.



**Figura 10 Ejemplo del comportamiento de un control difuso**  
Valor de salida de un control difuso.

## 2.6 Conclusión del capítulo.

En este Capítulo se abordaron los primeros cuatro objetivos específicos descritos en la Sección 1.7. En base a la información anterior, se realizó la selección de técnicas y métodos para el desarrollo de la propuesta. Para la inducción de emociones se seleccionó la técnica simple, en el reconocimiento de emociones se seleccionó el reconocimiento a través de la voz, por ser una herramienta no intrusiva.

Para lograr el objetivo general, se pretende integrar las teorías educativas, previamente descritas, el desempeño y el estado emocional de la persona. Con ellas se diseñó y desarrolló la propuesta de esta tesis, la cual se detalla en el Capítulo 4.

## CAPÍTULO 3 TRABAJOS RELACIONADOS

---

*En este capítulo se discuten los trabajos relacionados en cada área relacionada con la presente. Se incluye también un breve resumen de las aportaciones de los trabajos relacionados y su comparación con el método propuesto en esta tesis.*

### 3 TRABAJOS RELACIONADOS

#### 3.1 Video juegos educativos

El Marco de generación de contenido basado en experiencias –**EDPCG** del inglés *The Experience-Driven Procedural Content Generation framework*– (Yannakakis, 2011) ve el contenido del juego como bloques de construcción de juegos, y a los juegos como potenciadores de la experiencia del jugador. Se establece que para obtener la experiencia del jugador, es necesario evaluar la calidad de los contenidos generados –vinculado a las experiencias del jugador–, buscar a través de los contenidos disponibles, y generar contenido que optimice la experiencia para el jugador. En este sentido, la propuesta aplica el framework EDPCG en los video juegos educativos mediante el uso de un modelo objetivo del jugador –activación y valencia– y la jugabilidad –Razón de puntuación–, y dirigida por la teoría de la calidad del contenido, con un selector de contenido exhaustivo (Figura 11).

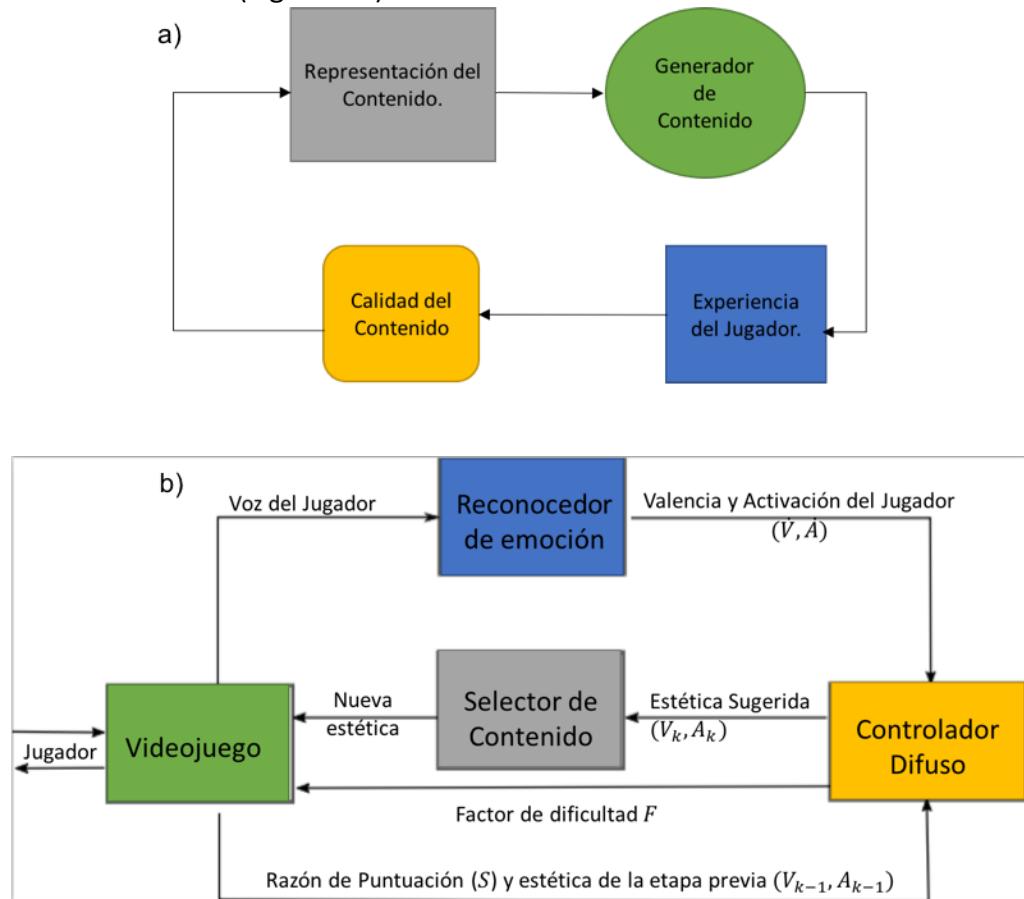


Figura 11 Comparación del framework EDPCG con la propuesta (Yannakakis, 2011)

a) El Framework se compone de 4 bloques principales, b) la propuesta implementa el framework con un modelo objetivo en la experiencia del jugador.

### 3.2 Video juegos con enfoque emocional

Existen diferentes investigaciones, en donde se utiliza el enfoque DDA para la generación de niveles de dificultad en base al desempeño del jugador (van Oostendorp, 2013) o la adaptación de la estética del juego (Kickmeier-Rust, 2012) donde indican que la estética se puede cambiar de menor –v.g., imágenes, sonidos, narrativa– a mayor escala –v.g., la navegación en el juego. El uso de la biometría se ha convertido en una área cada vez más activa en la comunidad de investigación en video juegos. Varios estudios académicos han publicado el uso de diversas técnicas de análisis en base a la biometría. Algunos investigadores utilizan la biometría basada en eventos para construir el perfil emocional de un jugador. Nacke et al. (Nacke, 2008) crearon un sistema automatizado que permite reportar las respuestas fisiológicas a los eventos del juego.

En relación con la propuesta, los métodos EA necesitan modelar las emociones de los jugadores; algunos trabajos se centran en una característica emocional específica; v.g., la carga de trabajo mental, el nivel de ansiedad (Rani, 2005) (Liu, 2009) o la activación (Parnandi, 2015). Hay muchos estudios que se centran en proporcionar objetos didácticos en el nivel correcto de dificultad para el estudiante. Un enfoque común consiste en la planificación de la secuencia curricular, es decir, proporcionar al estudiante con la secuencia más adecuada de unidades de conocimiento y tareas de aprendizaje –ejemplos, preguntas, problemas, etc.– (Brusilovsky, 1999). Este enfoque resuelve el problema de encontrar una ruta óptima a través del material de aprendizaje. El IC propuesto en este documento puede ser fácilmente adaptado a estos objetos didácticos porque encuentra el nivel correcto de dificultad, pero también toma decisiones basadas en las emociones percibidas de los estudiantes.

Pocos estudios han investigado como mejorar el desempeño del aprendizaje en video juegos adaptando el material didáctico de acuerdo al desarrollo actual y particularidades individuales del alumno, v.g., la manera de pensar, de sentir, de comportarse y relacionarse con los demás. Algunos enfoques (Hung, 2016) (Dascalu, 2015) identifican el estilo de aprendizaje para proporcionar los materiales de aprendizaje personalizados –grupos de estilos de aprendizaje más comunes donde las personas aprenden (Felder, 1988)– estos métodos utilizan auto-reporte o puede analizar las respuestas fisiológicas para conocer el estado emocional del usuario. Como se muestra en la Figura 12, otros investigadores realizan predicciones del estado emocional del jugador en base a auto-reporte y la personalidad del participante (Chaffar, 2004).

En este sentido, la propuesta adopta el modelo circunflejo (Figura 4) para la representación de las emociones; por lo tanto, tanto el contenido del juego y el estado de los usuario se pueden modelar de la misma manera.



**Figura 12 Evaluación de estados emocionales en (Chaffar, 2004)**

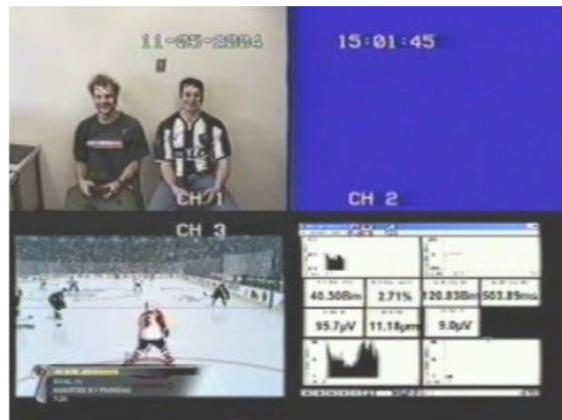
Pantalla donde los participantes eligen su estado emocional para luego predecir, en base a su personalidad, el estado emocional óptimo para aprender (Chaffar, 2004).

### 3.3 Lógica difusa en video juegos

Un trabajo relacionado cercano es el de Liu et al. (Liu, 2009), en donde se analizaron las señales fisiológicas del jugador para inferir su nivel probable de ansiedad y el nivel de dificultad del juego para ajustar automáticamente en tiempo real en función al estado afectivo del jugador. Ellos utilizaron una máquina de estados finitos para modelar el ajuste dinámico de dificultad basado en el efecto; pero, su enfoque no ajusta el contenido del juego.

La propuesta se basa en un control de lógica difusa. La lógica difusa imita la forma en que toman decisiones los humanos, ya que utiliza un lenguaje impreciso pero descriptivo para hacer frente a los datos de entrada, al igual que un operador humano. En este sentido, un trabajo estrechamente relacionado es la de Hsieh y Wang (Hsieh, 2008), que propone un enfoque difuso para adaptar la táctica del rival al comportamiento del jugador, de tal manera que, la tasa de victorias/derrotas de los jugadores se mantiene a la velocidad deseada. Es decir, sólo se centra en el nivel de dificultad.

Por último, la lógica difusa también se ha utilizado para cuantificar la emoción durante el juego a partir de datos fisiológicos; v.g., Mandryk y Atkins (Mandryk, 2007) utilizan un modelo de lógica difusa para transformar las señales fisiológicas -respuesta galvánica de la piel (GSR), electrocardiograma (ECG), electromiografía de la cara (EMG), y la frecuencia cardíaca (FC)- en la activación y valencia. Un segundo modelo de lógica difusa se utiliza para transformar la activación y valencia en cinco estados emocionales relevantes para el juego de ordenador: el aburrimiento, el desafío, excitación, la frustración y la diversión Figura 13. Esto demuestra que los modelos de lógica difusa se pueden utilizar para analizar las emociones. La propuesta IC considera que se cuenta con un detector de emoción, y en su lugar se centra en cómo promover un mejor escenario de aprendizaje.



**Figura 13** Video juego utilizado en (Mandryk, 2007)

Juego utilizado para modelar las emociones en (Mandryk, 2007).

En conclusión, la propuesta en este documento puede ser valiosa en muchos contextos para mejorar la interacción entre el alumno y el material de aprendizaje.

### 3.4 Resumen

Para conocer la aportación de la propuesta frente a los trabajos relacionados, en la Tabla 1 se describen los enfoques utilizados en los trabajos relacionados y la comparativa con la propuesta.

**Tabla 1 Comparativa de los métodos utilizados en los trabajos relacionados y la propuesta**

TRABAJO RELACIONADO (TR)	MÉTODO	VENTAJAS	COMPARACIÓN	
			TR	Propuesta
(Yannakakis, 2011)	Propuesta de un marco de generación de contenido basado en experiencias.	Diseño de video juegos en base a las experiencias del jugador.	Propuesta de un framework.	Implementación del framework.
(Chaffar, 2004) (Hung, 2016) (Dascalu, 2015)	Evaluación de la emoción por medio de auto-reportes.	Permite al participante auto-evaluarse.	No ajustan la estética del juego.	Implementa una técnica Biométrica que no es intrusivo, es decir, el participante no tiene conocimiento de la evaluación.
(Nacke, 2008)	Evaluación de las emociones por medio de una técnica biométrica para generar logs (bitácoras) de información.	Uso de técnicas biométricas en lugar de auto-reporte.	Solo implementa para generar log de información.	Implementa una técnica de biométrica para evaluar y modelar el estado emocional del participante.
(van Oostendorp, 2013)	Evaluación de la emoción por medio de auto-reportes. Adaptación de los niveles de dificultad en base a su desempeño.	Permite al participante auto-evaluarse.	No modifica la estética del juego.	Implementa técnicas no intrusivas para conocer el estado emocional. Ajusta el nivel de dificultad con un control difuso.
(Kickmeier-Rust, 2012)	Evaluación de la emoción por medio de auto-reportes. Adaptación de los niveles de dificultad en base a su desempeño.	Permite al participante auto-evaluarse. Adapta el juego de acuerdo al desempeño del jugador, modificando el nivel de dificultad y la retroalimentación del juego.	No modifica la estética del juego.	Implementa técnicas no intrusivas para conocer el estado emocional.
(Liu, 2009)	Utilizan máquina de estados finitos para modelar el ajuste dinámico de dificultad basado en el efecto.	Uso de técnicas biométricas en lugar de auto-reporte.	No ajusta el contenido del juego.	Uso de un control de lógica difusa para el ajuste de dificultad.
(Hsieh, 2008)	Adapta la táctica del rival en base al desempeño del jugador.		No modifica la estética del juego.	Evaluá el estado emocional del jugador.
(Mandryk, 2007)	Cuantifica la emoción durante el juego a partir de datos fisiológicos.	Implementa un control difuso para medir las emociones del jugador.		Modifica la estética del juego.

## CAPÍTULO 4 PROPUESTA

---

*En este capítulo se describe la propuesta, la configuración del control difuso y la selección del detector de emoción por voz.*

## 4 PROPUESTA

### 4.1 Descripción general

El IC propuesto se basa en un control de lógica difusa. Como se dijo anteriormente, tanto el contenido estético y el estado emocional están representados por el modelo circunflejo de Russell.

Como se muestra en la Figura 2, las entradas para el control difuso son:  $S \in [0,1]$  la razón de la puntuación obtenida por el jugador en la etapa anterior;  $(\dot{V}, \dot{A})$ , el estado emocional del jugador actual; y  $(V_{k-1}, A_{k-1})$ , sean la emoción nominal inducida por la estética utilizados en la etapa anterior, en donde  $V$  es la valencia y  $A$  es la activación. Las salidas del control difuso son  $F$  el factor de cambio de nivel de dificultad y  $(V_k, A_k)$ , la emoción esperada inducida por la estética en la etapa  $k$ . El factor  $F$  se utiliza para seleccionar el nuevo nivel de dificultad  $D_k$  de la anterior  $D_{k-1}$ ; es decir,

$$D_k = F \cdot D_{k-1} \quad (1)$$

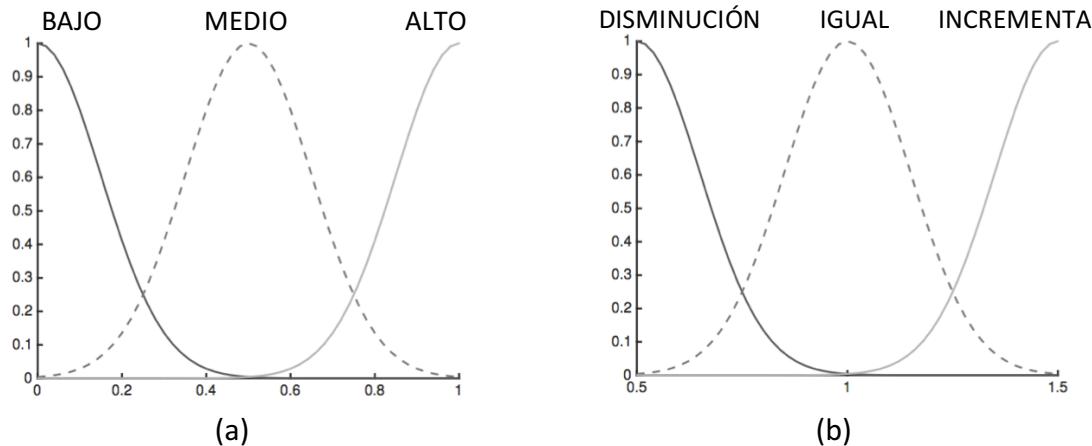
### 4.2 Control difuso

#### 4.2.1 Funciones de membresía

La función de control diseñado para el IC toma como variables de entrada la Valencia y la Activación en diferentes etapas; tenemos que definir los términos lingüísticos que esas variables pueden asumir. Junto con cada término lingüístico, tenemos que definir sus funciones de membresía. Aunque, la mayor parte de los trabajos dedicados a inferencia y control difuso utilizan un número impar de términos lingüísticos, eso no es un requisito. Las variables que se utilizaron en la realización de inferencia difusa se definen con 2, 3, 4, o 5 términos lingüísticos; el número de ellos y sus etiquetas se tomaron del dominio de aplicación (Passino, 1998).

Otra decisión de diseño importante del sistema de inferencia difusa es la forma de las funciones de membresía de los términos lingüísticos de las variables involucradas. Se eligieron funciones gaussianas para representar la membresía del conjunto difuso. Esta representación tiene dos ventajas principales: en primer lugar, debido a que son

funciones continuas, los niveles de membresía inferidos de las variables de salida tienden a ser continuas. En segundo lugar, estas funciones necesitan menos parámetros en su especificación –es decir,  $\mu$  y  $\sigma$ –, mientras que las funciones triangulares necesitan tres y las funciones trapezoidales necesitan cuatro. En las Figura 14 y Figura 15 se muestran los términos lingüísticos asociados a las variables del proceso y sus correspondientes funciones de membresía.



**Figura 14 Funciones de membresía para la dificultad de la propuesta**

(a) Razón de Puntuación (b) Factor de dificultad F.

#### 4.2.2 Reglas difusas

Las reglas difusas para el factor de dificultad, que se muestran en la Tabla 2, siguen la teoría de la ZDP (Vygotsky, 1978). Para inducir emociones en el jugador, la implementación actual sólo cambia sonidos –pero los resultados pueden generalizarse a otras estéticas. Para este fin, se utilizan el IADS-2 International Affective Digitized Sounds (Bradley, 2007). El IADS fue desarrollado para proporcionar un conjunto de estímulos emocionales normativos para las investigaciones experimentales de la emoción y la atención. Para este estudio, se descartaron los sonidos que se encontraban en las regiones de desagradable-bajo.

Aunque podría parecer que los sonidos deben ser capaces de inducir una gama de estados emotivos –mayor a los que estas etiquetas implican. El IC utiliza las etiquetas y las cambia de estrategia en casos que el sonido no pueda inducir la emoción requerida.

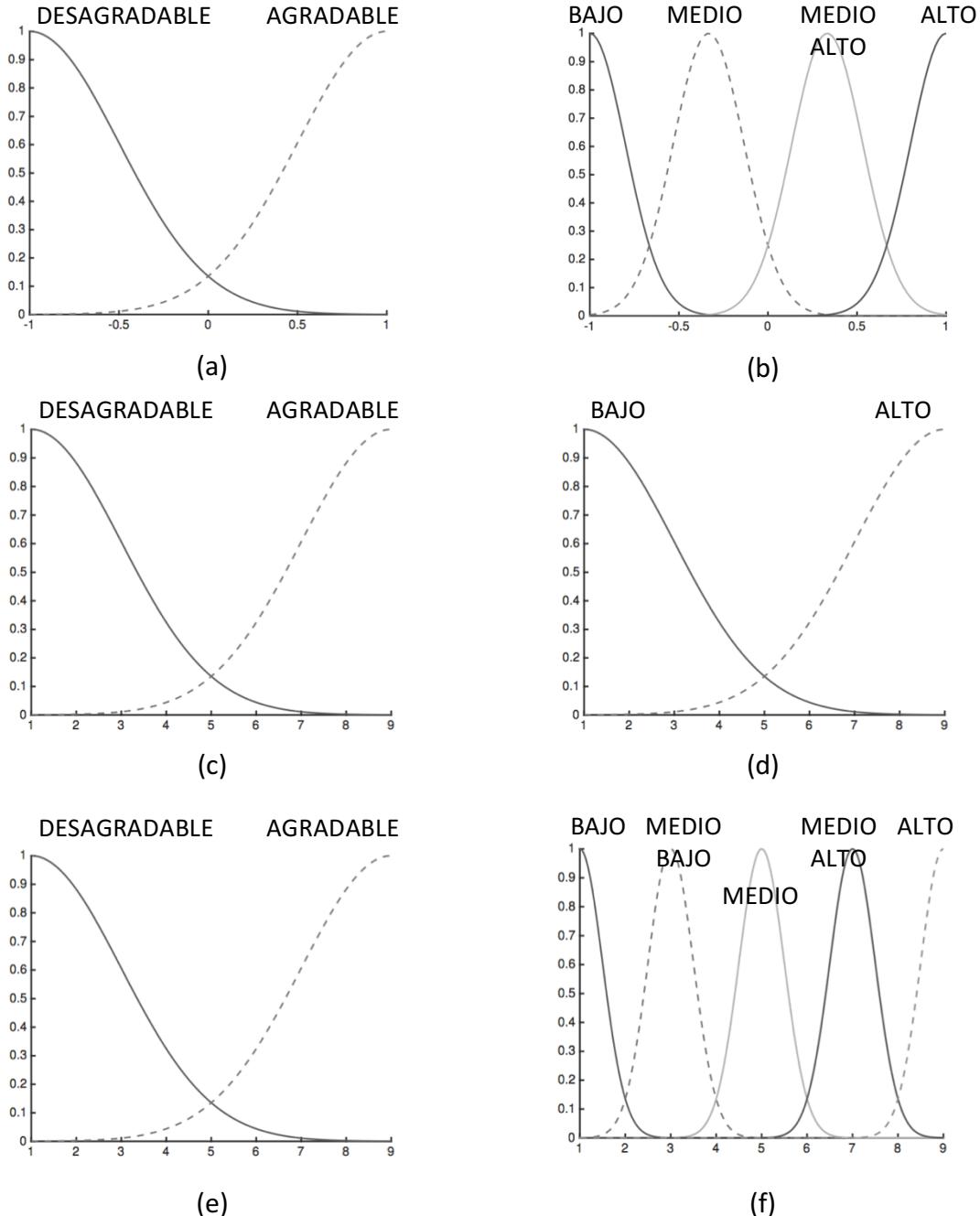


Figura 15 Funciones de membresía para la estética de la propuesta

(a)  $\dot{V}$  (b)  $\dot{A}$  (c)  $V_{k-1}$  (d)  $A_{k-1}$  (e)  $V_k$  (f)  $A_k$

Tabla 2 Reglas Difusas para el factor de dificultad, considerando la tasa de éxito

Razón de puntuación (S)	Factor de Dificultad (F)
ALTO	INCREMENTA
MEDIO	IGUAL
BAJO	DISMINUYE

Las reglas difusas para la estética, que se muestran en la Tabla 3, se seleccionaron mediante la aplicación de las siguientes teorías y hechos:

- a) Russell (Russell, 2003) afirma que el estado emocional es un producto biológico de la evolución y, por tanto, es probable que tenga una función. Russell sugiere un principio general de congruencia: estados agradables facilitan la atención al material positivo –y viceversa; v.g., la sensación de entusiasmo da a la persona una sensación de optimismo en la elección de objetivos y planes. Por lo tanto, uno podría elegir una tarea más difícil y podría trabajar más duro en la meta elegida (Russell, 2003). En este sentido, las normas propuestas tienen mucho más salidas con estéticas que inducen emociones positivas que las que inducen emociones negativas.
- b) Emociones agradables-altas están asociadas a la concentración inmersa que está correlacionada positivamente al aprendizaje (Russell, 2003) (Csikszentmihalyi, 2008) (Baker, 2010); por lo tanto, cada regla de  $\{R_1, R_3, \dots, R_6, R_{13}, R_{15}, R_{16}, R_{18}\}$  selecciona la estética que induce el incremento de emociones positivas. Las reglas de este conjunto tienen como objetivo activar a los estudiantes.
- c) Las emociones desagradables-altas –v.g., la frustración o la confusión– puede ser naturales e inevitables cuando se aprende un material difícil (Baker, 2010) (Kort, 2001), tal es el caso de las condiciones requeridas para las reglas  $\{R_{19} \dots R_{24}\}$ . Con

**Tabla 3 Reglas difusas de la estética para la siguiente etapa considerando el estado emocional del jugador y la estética utilizada en la etapa anterior**

Todos los estados están representados por el par: (Valencia, activación del nivel). El subíndice en cada celda indica el número de la regla. La ejecución de una o varias reglas depende del estado emocional del jugador y la estética previa; v.g., el estado del jugador se encuentra en (+, Bajo) y la estética previa es (+, Bajo), por lo tanto la siguiente estética va a contener Valencia positiva con Activación MUY ALTO (+, MUY ALTO).

Estado del jugador	Estética previa		
	(+, BAJO)	(+, ALTO)	(-, BAJO)
(+, BAJO)	R <sub>1</sub> :(+, MUY ALTO)	R <sub>2</sub> :(-, ALTO)	R <sub>3</sub> :(+, MUY ALTO)
(+, MEDIO)	R <sub>4</sub> :(+, ALTO)	R <sub>5</sub> :(+, ALTO)	R <sub>6</sub> :(+, ALTO)
(+, MEDIO-ALTO)	R <sub>7</sub> :(+, MEDIO)	R <sub>8</sub> :(+, MEDIO)	R <sub>9</sub> :(-, MEDIO)
(+, ALTO)	R <sub>10</sub> :(+, MEDIO)	R <sub>11</sub> :(+, MEDIO)	R <sub>12</sub> :(-, MEDIO)
(-, BAJO)	R <sub>13</sub> :(+, MUY ALTO)	R <sub>14</sub> :(-, ALTO)	R <sub>15</sub> :(+, MUY ALTO)
(-, MEDIO)	R <sub>16</sub> :(+, ALTO)	R <sub>17</sub> :(-, ALTO)	R <sub>18</sub> :(+, ALTO)
(-, MEDIO-ALTO)	R <sub>19</sub> :(+, MEDIO BAJO)	R <sub>20</sub> :(+, MEDIO BAJO)	R <sub>21</sub> :(+, MEDIO BAJO)
(-, ALTO)	R <sub>22</sub> :(+, BAJO)	R <sub>23</sub> :(+, BAJO)	R <sub>24</sub> :(+, BAJO)

el objetivo de reducir la excitación, estas reglas aplican estéticas que evocan emociones agradables-bajas –v.g., la calma.

- d) Al probar la experiencia en los video juegos educativos, se ha encontrado que el aburrimiento es el estado más persistente –v.g., la detección del mismo estado emocional durante dos observaciones sucesivas– (Baker, 2010). Baker et al., también sugieren que el aburrimiento se debe detectar y manejar rápidamente. Por otra parte, los acontecimientos emocionales reclutan más recursos cognitivo –v.g., la atención, el procesamiento distintivo y organización– (McGaugh, 2004) (Talmi, 2013). Las condiciones de aburrimiento están en las reglas {R<sub>13</sub>. . . R<sub>18</sub>}; por lo tanto, estas reglas sugieren el incremento de la estética con el objetivo de elevar la activación de los estudiantes.
- e) De manera similar, las emociones agradables-altas pueden ser un mecanismo de motivación eficaz para el aprendizaje. En rangos moderados a altos de niveles de activación –es decir, la detección de una amenaza más grave–, el sistema aversivo se activa más ágil y vigorosamente que el sistema apetitivo. Sin embargo, en una amenaza muy grande de los niveles de activación –es decir, contenido que amenaza la vida–, el sistema aversivo falla en identificar y recordar contenido en las condiciones externas (Chung, 2015). En este sentido, las reglas {R<sub>2</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>17</sub>} sugieren emociones desagradables-altos cuando se utilizaron emociones agradables-altos en la fase anterior y el jugador todavía experimenta emociones de baja-activación –v.g., aburrido. Para evitar niveles de activación muy altos, ninguna de estas reglas sugieren estéticas negativas "MUY ALTO"; es decir, sólo sugieren contenido con estéticas negativas "ALTO".

#### 4.2.3 Fuzzificación y defuzzificación

La fuzzificación transforma las entradas en conjuntos difusos de tal manera que puedan ser utilizados por el sistema difuso; para este fin, se utilizó un simple fuzzificador singleton. Existen numerosas estrategias de defuzzificación, cada una proporciona un medio para elegir una única salida en base a los conjuntos difusos implícitos. Para la propuesta IC, se utilizó la estrategia típica, Centro de gravedad –COG del inglés *Center of Gravity*– (Passino, 1998).

### 4.3 Selección del detector de emociones en voz

Para esta tesis se utilizó un reconocedor de emociones por voz, debido a que es no intrusiva. La selección de la herramienta se basó principalmente en las salidas, es decir, proporcione los valores emocionales en valencia y activación. Otros criterios de selección fueron:

- No tenga ningún costo monetario.
- Ofrezca una implementación compatible con las herramientas utilizadas para el desarrollo del video juego.
- Tenga buen desempeño.

En base a estos criterios se seleccionó el algoritmo de Schuller (Schuller, 2003) que se basa en un Modelo oculto de Markov –**HMM** en inglés *Hidden Markov Model*–, el cual según estudios (Anagnostopoulos, 2015) es el mejor algoritmo en base a su rendimiento (Tabla 4) y su arquitectura permite distinguir entre las diferentes emociones.

*Tabla 4 Comparativa del rendimiento de los algoritmos utilizados para el reconocimiento de emociones en voz (Anagnostopoulos, 2015)*

Algoritmo	% de rendimiento
SVM en inglés <i>Support Vector Machines</i>	87.5
GMM en inglés <i>Gaussian Mixture Models</i>	81
<b>HMM</b> inglés <i>Hidden Markov Model</i>	<b>89</b>
ANN en inglés <i>Artificial Neural Networks</i>	83.2
C4.5 en inglés <i>Decision Trees</i>	61.5
RF en inglés <i>Random Forest</i>	72.2

### 4.4 Conclusión del capítulo.

El control difuso, descrito en este Capítulo, se diseñó en base a la información encontrada y seleccionada en la literatura. Las reglas del control difuso, se diseñaron para poder mitigar los casos de no aprendizaje e inducir escenarios ideales para el aprendizaje. El control difuso se desarrolló con la ayuda de la herramienta FuzzyLite, ver ANEXO A.

## CAPÍTULO 5 EXPERIMENTO

---

*En este capítulo se investiga la pertinencia del método IC en términos de las emociones detectadas en el jugador, su desempeño, y la persistencia de las emociones negativas. Se describe el video juego, los participantes y las métricas utilizadas en este estudio.*

## 5 EXPERIMENTO

### 5.1 Diseño del video juego

En este estudio, se diseñó el juego de la Figura 16. El juego muestra secuencialmente dos escenas para cada etapa:

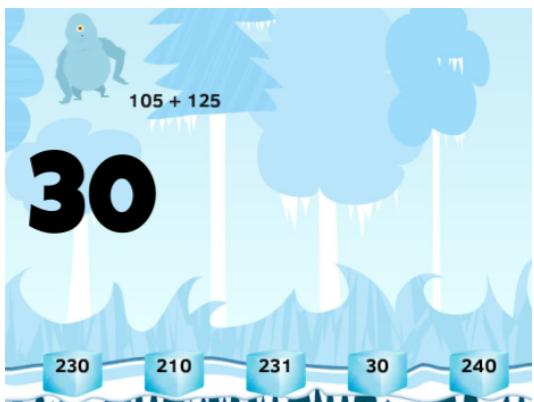
- 1 **Escena de operaciones:** Es la primera escena de cada nivel, en ella se muestran 10 operaciones aritméticas de dos cantidades numéricas. Para cada operación, el jugador debe elegir la respuesta correcta moviendo el objeto –la operación– que va en caída libre, para ello el jugador debe usar las teclas de dirección izquierda y derecha, la caída también puede acelerarse usando la tecla de dirección abajo. Además, cuando se muestra la operación, las posibles respuestas van cambiando de acuerdo a la suma de la operación. Para obtener puntos, el objeto que cae – la operación– debe ser introducido en el contenedor correcto –la respuesta– antes de alcanzar la parte inferior de la pantalla, al termino de las operaciones se inicia la escena 2.
- 2 **Escena de habla:** En esta escena se pretende obtener la voz del usuario. Por lo cual, se diseño un personaje que invita al usuario a hablar. Una vez que se detecta la voz, el personaje repite la voz del usuario –modificado por un efecto. La escena sugiere un texto para ser leído –que garantiza que el extracto es el tiempo suficiente para estimar el estado emocional del usuario. Al termino de la escena se envía el extracto de voz y los datos requeridos para realizar el ajuste necesario, de acuerdo a las siguientes versiones del juego, para la próxima escena de operaciones.

De este juego se diseñaron dos versiones para las pruebas:

**Juego A.** Para el ajuste de dificultad se utiliza un algoritmo DDA simple lineal para seleccionar el siguiente nivel de dificultad. El factor de cambio se calcula como:

$$F = S + 0.5;$$

es decir, el Factor de cambio  $F$  es una función lineal de la Razón de puntuación  $S$ . La nueva dificultad se calcula utilizando (1). La estética –sonido– se seleccionaron al azar de la base de datos.



(a)



(b)

*Figura 16 Video juego utilizado para la prueba*

(a) Escena de operaciones, el usuario debe introducir la operación ( $105+125$ ) en el recipiente de la izquierda (230). (b) Personaje invitando a los participantes a hablar, la escena también sugiere un texto para ser leído.

**Juego B.** Utiliza la propuesta IC para ajustar la dificultad y la estética. Una vez que se obtiene el extracto de voz del jugador, el método estima el estado emocional del usuario. Para este fin, el juego utiliza el algoritmo propuesto por Schuller et al. (Schuller, 2003). Por lo tanto, el control difuso sugiere la nueva estética y el nivel de dificultad para la siguiente etapa de operaciones. Finalmente, el selector de estética selecciona la estética – sonido de la base de datos, ver ANEXO D –más cercana a la sugerida.

## 5.2 Participantes y procedimiento

Un total de 20 participantes de secundaria de diferentes géneros y edades participaron en este experimento. Los participantes jugaron dos sesiones de 12 minutos consecutivos, separados por un periodo de descanso de 5 minutos. Cada sujeto jugó el "juego A" en una sesión y el "juego B" en la otra -el orden de juego de estas sesiones se asignó al azar. En total, 10 participantes jugaron por primera vez el 'Juego A' y luego el 'Juego B' –y los otros 10 participantes jugaron por primera vez el 'Juego B'.

Para el ambiente del experimento, se seleccionó un lugar controlado donde sólo se encontraba el participante y el investigador. Al inicio del experimento, se le explicaba la mecánica del juego al participante, sin comentar el reconocimiento de las emociones o el ajuste de la dificultad.

### 5.3 Métricas

En cada sesión de participante y juego se obtuvieron las siguientes mediciones:

- **Persistencia media de emociones desagradables ( $P_{UL}$ ,  $P_{UH}$ )**. Esta métrica evalúa el número promedio de etapas empleadas para cambiar al estudiante de una emoción desagradable a un estado emocional diferente. Específicamente, se realiza el estudio de la persistencia de los estados desagradables-bajos ( $P_{UL}$ ) y desagradables-altos ( $P_{UH}$ ). Para la comparación, aquellos jugadores que no entraron en las emociones estudiadas ( $P_{UL}$  y  $P_{UH}$ ) fueron retirados de los datos.
- **Diferencia en el tiempo de respuesta ( $\Delta t$ )**. Esta métrica se utiliza para comparar el desempeño de los participantes entre los estados emocionales. Sea  $T_n = \{(S_{ni}, t_{ni}) | i = 1 \dots N\}$  los datos obtenidos de las etapas N jugado por un participante dado n, donde  $S_{ni}$  es la puntuación obtenida, y  $t_{ni}$  es el tiempo medio de respuesta en la  $i$ -ésima etapa. La distancia de desempeño de dos jugadores con datos  $T_m$  y  $T_n$  se calcula a partir de la última puntuación obtenida como

$$d(T_m, T_n) = |S_{mN} - S_{nN}| \quad (2)$$

por lo tanto, la Diferencia de Tiempo de Respuesta se calcula como

$$\Delta t_{ni} = |t_{ni} - \hat{t}_{ni}|$$

con

$$\hat{t}_{ni} = \frac{1}{k} \sum_{T_j \in Neig(T_n)} \chi(S_{ni}, T_j)$$

donde  $Neig(T_n)$  es el conjunto de k vecinos más cercanos de  $T_n$  de acuerdo con (2), y  $\chi$  es una función que estima el tiempo de respuesta en la puntuación  $S_{ni}$  de  $T_j$  mediante el uso de la interpolación lineal. La estimación dada por  $\chi$  es necesaria porque  $T_j$  usualmente no tiene un punto en el puntaje  $S_{ni}$ .

- **Última Puntuación ( $S_N$ )**. Para comparar el nivel de dificultad entre la propuesta y la técnica DDA. Teniendo en cuenta el registro de los datos  $T_n = \{(S_{ni}, t_{ni}) | i = 1 \dots N\}$ , la última puntuación es

$$S_N(T_n) = S_{nN}.$$

- **Número de saltos de reducción ( $H$ )**. Un nivel ideal de dificultad adaptativo debe aumentar el nivel de dificultad como el jugador aumenta su conocimiento y habilidades sobre el problema. Un salto de reducción –un aumento del nivel perceptible seguido de una disminución perceptible– no es deseable. En este sentido, el nivel de dificultad debe ser una función no decreciente. Para aceptar los cambios de menor importancia, esta métrica considera un salto de reducción cuando:

$$\frac{D_k - D_{k-1}}{D_{k-1}} \leq -\varepsilon,$$

se utilizó un valor de  $\varepsilon = 0.02$  para las pruebas.

## 5.4 Análisis estadístico

En el análisis, los datos se representan como la media  $\pm$  D.E. y la significación se evaluó mediante la prueba t de Student para datos pareados. El test de Wilcoxon Signed-Rank se utilizó para probar el desempeño de los estudiantes. Las diferencias entre los valores se consideraron significativos cuando  $p < 0.05$ .

## 5.5 Conclusión de capítulo

En este Capítulo se describieron los elementos requeridos para la realización del experimento y la validación de la propuesta. El video juego fue diseñado para permitir obtener el estado emocional del jugador por medio de la voz. Además, de obtener dos versiones del mismo juego donde la única diferencia radica en la técnica implementada para la inducción de emociones y el ajuste de dificultad (IC y DDA).

Las métricas se seleccionaron para realizar la validación y la comparación correspondiente de la propuesta con la estrategia DDA. Por lo tanto, en el experimento se utilizó intervalos de descanso de 5 minutos entre las sesiones de juego y se utilizó un lugar donde solo se encontraba el jugador con el investigador, para evitar posibles variables externas no controlables. La arquitectura del juego se puede observar en el ANEXO C.

## CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

---

*En este capítulo se presentan los resultados del análisis realizado a los datos generados a partir de la aplicación del experimento en los participantes. Además, se presentan las discusiones.*

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 Resultados

Una comparación simple entre la propuesta IC y la estrategia DDA se puede hacer mediante la integración del estado emocional de cada etapa para todos los jugadores. La comparación global de la proporción de escenarios de los grupos se muestra en la Figura 17. El porcentaje total de los estados agradables-altos son más elevado para IC (33.93%) que para DDA (26.95%). Además, la proporción global de los estados desagradables-altos son más bajos para IC (26.79%) que para DDA (36.53%).

También es interesante el estudio de la progresión global de un estado emocional a otro. La proporción de transiciones de estados emocionales para las etapas consecutivas se muestra en la Tabla 5. Hay una proporción menor de auto-transiciones de estados desagradables-bajos para IC (0.514) que para DDA (0.661), y una proporción menor de auto-transiciones de estados en desagradable-alto para IC (0.5) que para DDA (0.664). Esto significa que la propuesta IC puede disminuir las auto-transiciones de estados negativos.

La Tabla 6 muestra las estadísticas generales de las métricas: persistencia media de emociones desagradables-bajas ( $P_{UL}$ ), Persistencia media de emociones desagradables-altas ( $P_{UH}$ ), Número de saltos de reducción ( $H^-$ ) y Última Puntuación ( $S_N$ ).

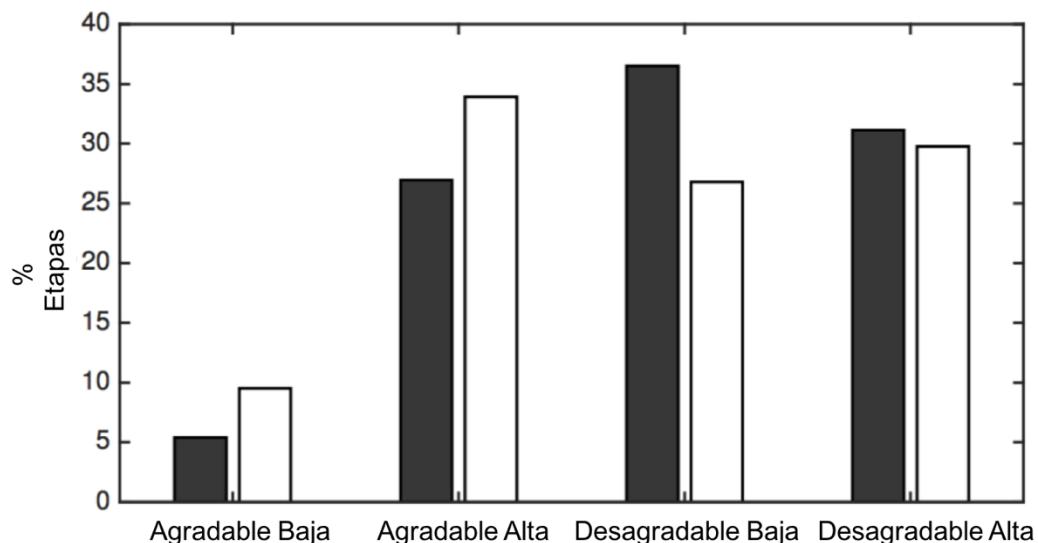


Figura 17 Comparación general del estado emocional del jugador según la etapa (oscuro -DDA, blanco - IC).

Hubo una diferencia significativa en la persistencia de las emociones desagradables-bajas ( $P_{UL}$ ) para la propuesta IC y la estrategia DDA;  $t(20) = 2.56$ ,  $p = 0.019$ . No había una diferencia significativa en la persistencia de las emociones desagradables-altas ( $P_{UL}$ ) para la propuesta IC y la estrategia DDA;  $t(15) = 1.62$ ,  $p = 0.129$ . También había mayor número de saltos de reducción ( $H^-$ ) para DDA que para la propuesta IC;  $t(20) = 3.27$ ,  $p = 0.004$ . Además, no había una diferencia estadísticamente significativa en la puntuación máxima para la propuesta IC y la estrategia DDA;  $t(20) = -0.936$ ,  $p = 0.361$ .

**Tabla 5 Tablas comparativas de las transiciones de estados emocionales para DDA e IC**

Como se muestra en negrita, las auto-transiciones de estados desagradables-bajos y desagradables-altos son más bajos para IC que para DDA.

		DDA			
		(Estado emocional) <sub>k+1</sub>			
		Agradable		Desagradable	
Agradable	Bajo	0.429	0.286	0.286	0.000
	Alto	0.026	0.718	0.077	0.179
Desagradable	Bajo	0.071	0.071	0.661	0.196
	Alto	0.000	0.200	0.156	0.644

		IC			
		(Estado emocional) <sub>k+1</sub>			
		Agradable		Desagradable	
Agradable	Bajo	0.467	0.267	0.200	0.067
	Alto	0.000	0.680	0.100	0.220
Desagradable	Bajo	0.189	0.081	<b>0.514</b>	0.216
	Alto	0.022	0.348	0.130	<b>0.500</b>

**Tabla 6 Tabla comparativa de las métricas obtenidas de la propuesta IC y la estrategia DDA**

Comparación del adaptativo contra la propuesta de control inductiva ( $N = 20$ ). Los mejores resultados, con diferencia significativa, se muestran en negrita.

	Algoritmos	
	DDA	IC
$P_{UL}$ (etapas) ‡	$2.23 \pm 2.10$	<b><math>1.14 \pm 1.11</math></b>
$P_{UH}$ (etapas)	$2.04 \pm 1.89$	<b><math>1.52 \pm 1.49</math></b>
$H^-$ (etapas) ‡	$0.60 \pm 0.82$	<b><math>0.00 \pm 0.00</math></b>
$S_N$ (puntos)	$253 \pm 184$	$276 \pm 242$

‡ Diferencia significativa

Por último, como se muestra en la Tabla 7, el tiempo de respuesta es más lento para los jugadores en las emociones desagradables-bajas que otras emociones;  $W = 5.091$ ,  $p = 0.012$ .

*Tabla 7 Diferencia de velocidad entre la estrategia DDA y la propuesta IC ( $\Delta t$ )*

Estado Emocional		
	Desagradable-bajo	Agradable o alta
$\Delta t$ (s)†	<b>0.119 ± 1.503</b>	-0.689 ± 1.754

† Diferencia significativa

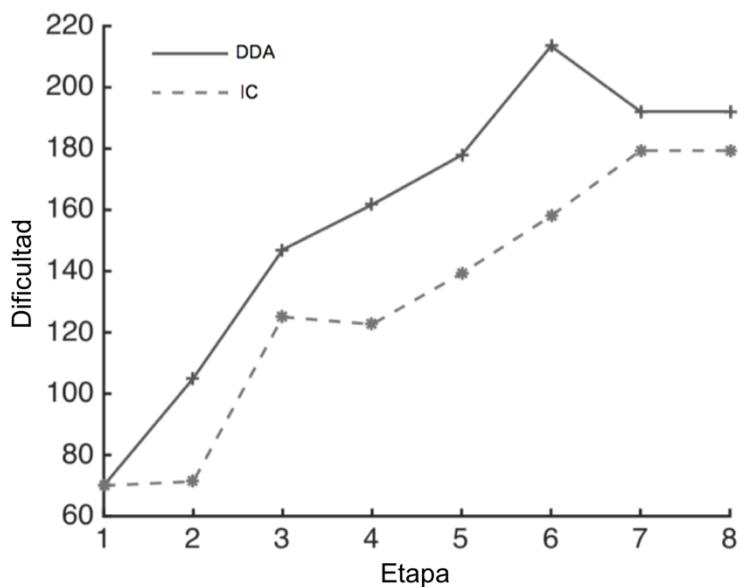
## 6.2 Discusión

Las emociones son eventos complejos, Russell (Russell, 1980) considera que en el corazón de un evento cargado de emociones hay estados de experiencias de simplemente sentirse bien o mal, lleno de energía o venerado. La combinación de estas dos dimensiones -valencia y activación- es lo que Russell llama el núcleo afectivo (Russell, 2003). Los cambios en el núcleo afectivo es el resultado de una combinación de eventos. Para cada individuo, existen diferencias individuales de base genética y causas internas temporales –v.g., la actividad de las células inmunes, ritmos diurnos, y los cambios hormonales. Las causas externas que podrían cambiar el núcleo afectivo trabajan en esta línea de base flotante (Russell, 2003). Esto implica que a veces una causa externa, como el cambio de la estética, no puede inducir un estado emocional deseable. A pesar de esto, los resultados experimentales muestran que la propuesta de control inductivo es capaz de reducir la persistencia de las etapas desagradables-bajas ( $P_{UL} = 1.14$  para IC y 2.23 para DDA). Este efecto también se muestra en la Tabla 5, en el que la auto-transición de estado desagradable-bajo es menor para la propuesta IC (0.514) que para la estrategia DDA (0.661). Aburrimiento también puede ser causada por una baja dificultad (Csikszentmihalyi, 2008), pero los resultados muestran que no hubo una diferencia significativa en el nivel de dificultad alcanzado al final de cada sesión de juego ( $S_N$ ) entre la propuesta IC y la estrategia DDA.

La auto-transición entre desagradable-alto es menor para la propuesta IC que para la estrategia DDA (Tabla 5), y la persistencia media de emociones desagradables-altos es ligeramente inferior para IC que para DDA (Tabla 6); pero, no había una diferencia significativa. Esto puede ser causado por la estrategia de relajar los estudiantes cuando se sentían frustrados –reglas difusas R<sub>19</sub>-R<sub>24</sub>– compite directamente con el aumento natural de la dificultad del video juego. Estados emocionales

desagradables-altos no siempre requieren corrección (Mentis, 2007), ya que dichos estados -v.g., frustración o confusión- están relacionados con el aprendizaje y están vinculados a las ganancias de aprendizaje (Baker, 2010).

También se observó una diferencia significativa en  $H^*$  entre la propuesta IC y la estrategia DDA lineal. Esto se explica porque los cambios radicales innecesarios se evitan en el control de ajuste de dificultad basados en la lógica difusa. Aunque los cambios radicales pueden ayudar a alcanzar más rápido la zona de flujo, también pueden causar dificultades para mantener al jugador en el flujo (Figura 18). Las funciones de membresía gaussianas (Figura 14) ayudan hacer cambios suaves en la dificultad. Hay una desventaja de las funciones de membresía gaussianas: sus colas se extienden desde el infinito negativo a infinito positivo. Este hecho implica la ejecución de todas las reglas todo el tiempo, incluso para valores infinitesimales de la función de membresía de las variables que intervienen en las reglas de los sistemas de inferencia. Dado que la cola de la función gaussiana se convierten rápidamente insignificante, este problema se resuelve mediante el redondeo a un número fijo de decimales, cortando de este modo sus colas.



*Figura 18 Ejemplo comparativo entre las técnicas utilizadas para el mismo jugador*

Un ejemplo que compara las estrategias de control de dificultad para el mismo jugador (DDA- línea continua, IC- línea discontinua). El IC que se basa en el control difuso no muestra reducción notorio y súbito debido a las funciones de pertenencia gaussianas utilizadas, el cambio es suave en los casos cuando se requiere reducir la dificultad (como en la etapa 3 y 4). A veces, el DDA lineal incrementa y luego reduce la dificultad de manera notoria y súbita (como en las etapas 6 y 7).

Por último, se observó una diferencia significativa en  $\Delta t$  entre los estados emocionales desagradables-bajos y otros (Tabla 7), esto significa que el tiempo de

respuesta de los jugadores en los estados desagradables-bajos es más lento que el tiempo de respuesta de los jugadores en otros estados. Se verifica que los participantes están menos concentrados en los estados sugeridos en diversos estudios (Baker, 2010) (d Baker, 2012). Basado en los hechos anteriores, se argumenta que el cambio estético puede inducir cambios deseables en los estudiantes, y es capaz de evitar estados emocionales de no-aprendizaje.

### 6.3 Validación de hipótesis

En la introducción de esta tesis, se plantearon las hipótesis para la validación de la propuesta. Con el trabajo realizado, y dado los resultados obtenidos, se pueden validar cada una de ellas.

**Hipótesis 1:** *Es posible mezclar técnicas de ajuste de dificultad y mecánica del video juego, a través de un control lógico difuso para mejorar la experiencia del jugador.*

La validación de la hipótesis se basa en la métrica Última puntuación ( $S_N$ ), con ella podemos validar que la implementación de la propuesta IC para el ajuste de dificultad es viable. Los resultados indican que la propuesta y la estrategia DDA tienen similitudes en su último nivel de dificultad obtenido.

**Hipótesis 2:** *El control inductivo basado en lógica difusa permite el incremento de dificultad en el juego sin ocasionar cambios innecesarios.*

Utilizando la métrica de número de Saltos de reducción  $H^-$  se realiza la validación de la hipótesis. La propuesta IC incrementa el nivel de dificultad en proporción adecuada con respecto al nivel de desempeño del jugador, sin tener que llevarlo a un nivel donde el jugador no pueda lograr incrementar o repetir su desempeño actual.

**Hipótesis 3:** *El control inductivo favorece estados emocionales positivos en el jugador.*

La validación de la hipótesis se realizó con la métrica Persistencia media de emociones desagradables-bajos ( $P_{UL}$ ) Tomando la Tabla 5, se puede comparar que el enfoque IC tiene más transiciones de desgradable a agradable-alto o bajo, con esto se puede corroborar que la hipótesis se cumple.

**Hipótesis 4:** *El control inductivo reduce el tiempo de cambio de emociones desagradables-bajas a emociones agradables o altas.*

Con la métrica de Persistencia media de emociones desagradables ( $P_{UH}$  y  $P_{UL}$ ), se demostró que el enfoque propuesto es capaz de reducir la persistencia de los estados desagradables-bajos.

Con lo anterior se confirman las hipótesis y la propuesta de la tesis es viable para, principalmente, inducir emociones deseables para el proceso de aprendizaje en los participantes.

## CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN Y TRABAJOS A FUTURO

---

*En este capítulo se describen las conclusiones del trabajo de tesis, así como los trabajos a futuro que se pueden derivar de la propuesta IC y la referencia de la publicación de los resultados en la revista Computers & Education.*

## 7 CONCLUSIÓN Y TRABAJO A FUTURO

### 7.1 Conclusión

A diferencia de otros enfoques que sólo ajustan el nivel de juego, la propuesta también induce emociones en el jugador para apoyar el proceso de aprendizaje. Los resultados generales muestran que en comparación con DDA, IC aumenta la proporción de las etapas donde los estudiantes experimentan emociones agradables-altos y reduce sus etapas desagradables-bajos. Este efecto se debe principalmente a la reducción de las transiciones de estados emocionales desagradables. Especialmente, los participantes cambiaron rápidamente de emociones desagradables-bajos a agradables o altos. Desgradable-bajo se considera un estado de no-aprendizaje, por lo que debe evitarse, ya que puede hacer que sea difícil para los estudiantes completar algunas tareas. Este estudio mostró que estos estados provocan una disminución en el tiempo de respuesta.

La estrategia de control de dificultad basada en la lógica difusa y la membresía Gaussiana ayuda a los estudiantes llegar sin problemas –con suavidad– a su "zona de flujo" y, una vez alcanzado, ayuda a mantenerlos en flujo.

Este trabajo contribuye a modelar y entender los estados emocionales inmersos en el proceso de aprendizaje, además de alentar positivamente al desarrollo de video juegos educativos que permitan conocer las reacciones emocionales de las personas para poder ajustar el contenido didáctico.

En conclusión, un enfoque sistémico que controla la dificultad del material de aprendizaje, la mecánica, dinámica y estética del video juego podría ser una herramienta valiosa. Para el conocimiento del autor, este es el primer esfuerzo para ajustar tanto la dificultad y la estética del juego usando un control difuso basado en el desarrollo actual y estado emocional del alumno.

### 7.2 Publicaciones del autor

Los resultados de este experimento se encuentran en proceso de revisión en la revista Computers & Education bajo la referencia: Lara-Alvarez, C., Fuentes-Uc, Oyuki, T., Mitre-Hernández, H., & Flores J.J. **Inductive Video Games: A Fuzzy Control System for Improving Learning through Voice Emotion Recognition.** (Subm. To Computers & Education, Jun 28, 2016).

### 7.3 Trabajos a futuro

Esta investigación es un primer paso a video juegos con IC. Al igual que otras investigaciones, existen limitaciones que dan pie a trabajos a futuro. En primer lugar, los resultados de este trabajo se basan en un solo tipo de género de juego. Investigaciones como (Heeter, 2008) han demostrado que los diferentes géneros de juego pueden tener diferentes efectos en las personas.

Actualmente, se estudia la propuesta IC en otros entornos de aprendizaje, es decir, lograr un objetivo de aprendizaje con mecánicas más elaboradas. También se quiere implementar estrategias para elaborar máquinas de aprendizaje para la generación automática de reglas y funciones de membresía.

Se pretende investigar la relación entre las emociones y el perfil de aprendizaje de las personas. Además, realizar experimentos con una muestra de participantes de diferentes regiones geográficas, con el objetivo de conocer el comportamiento tanto de la propuesta como la diversidad de las personas durante el proceso de aprendizaje.

Como parte de un escenario experimental, la técnica de reconocimiento por voz fue adecuada, pero si se quiere lograr implementar el enfoque IC en video juegos comerciales, se tiene como otro trabajo a futuro utilizar otra técnica biométrica para el reconocimiento de las emociones; v.g., reconocimiento facial, galvánica o ritmo cardíaco.

## BIBLIOGRAFÍA

- Chaffar, S. a. (2004). Inducing Optimal Emotional State for Learning in Intelligent Tutoring Systems. En *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (págs. 45--54). Springer.
- Lang, P. J. (1995). The Emotion Probe: Studies of motivation and attention. *American psychologist*, 50(5), 372.
- LeDoux, J. E. (1993). Emotional Memory Systems in The Brain. *Behavioural brain research*, 58(1-2), 69--79.
- Lewis, M. a.-J. (2010). *Handbook of Emotions*. Guilford Press.
- Liu, C. A. (2009). Dynamic Difficulty Adjustment in Computer Games through Real-Time Anxiety-Based Affective Feedback. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 25(6), 506-529.
- Cox, E. (1992). Fuzzy Fundamentals. *IEEE spectrum*, 29(10), 58--61.
- Csikszentmihalyi, M. (2008). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial Modern Classics.
- Chung, S. C.-W. (2015). Emotion and Multimedia Learning: an Investigation of the Effects of Valence and Arousal on Different Modalities in an Instructional Animation. *Instructional Science*, 43(5), 545-559.
- Öhman, A. (1987). The Psychophysiology of Emotion: An evolutionary-cognitive perspective. *Advances in psychophysiology*, 2(79), 127.
- Anagnostopoulos, C.-N. a. (2015). Features and Classifiers for Emotion Recognition from Speech: a Survey from 2000 to 2011. *Artificial Intelligence Review*, 43(2), 155--177.
- Andrade, G. a. (2006). Dynamic Game Balancing: An Evaluation of User Satisfaction. *AIIDE*, 1, 3--8.
- Association, E. S. (Abril de 2016). *2016 Essential Facts About the Computer and Video Game Industry*. Obtenido de <http://www.theesa.com/wp-content/uploads/2016/04/Essential-Facts-2016.pdf>
- Baker, R. S. (2010). Better to be Frustrated than Bored: The Incidence, Persistence, and Impact of Learners' Cognitive--Affective States during Interactions with three Different Computer-Based Learning Environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(4), 223--241.
- Bradley, M. M. (2007). The International Affective Digitized Sounds (IADS-2): Affective ratings of sounds and instruction manual. *University of Florida, Gainesville, FL, Tech. Rep. B-3*.
- Brusilovsky, P. a. (1999). Adaptive and Intelligent Technologies for Web-Based Education. *KI*, 13(4), 19-25.
- d Baker, R. S. (2012). Towards Sensor-Free Affect Detection in Cognitive Tutor Algebra. *International Educational Data Mining Society*.
- Dascalu, M.-I. B.-N. (2015). A Recommender Agent Based on Learning Styles for Better Virtual Collaborative Learning Experiences. *Computers in Human Behavior*, 45, 243-253.

- Desmet, P. a. (2007). Framework of Product Experience. *International journal of design*, 1(1).
- D'Mello, S. a. (2012). Emotions During Learning with AutoTutor. *Adaptive technologies for training and education*, 169--187.
- Don, T. (1998). Growing up Digital. The rise of the net generation. *Journal of Engineering Education*, 87(3), 338.
- Eerola, T. a. (2010). A Comparison of the Discrete and Dimensional Models of Emotion in Music. *Psychology of Music*.
- Erez, A. a. (2002). The Influence of Positive Affect on the Components of Expectancy Motivation. *Journal of Applied psychology*, 87(6), 1055.
- Felder, R. M. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engineering education*, 78(7), 674-681.
- Ghergulescu, I. a. (2012). Measurement and Analysis of Learner's Motivation in Game-Based e-Learning. En *Assessment in game-based learning* (págs. 355--378). Springer.
- Goleman, D. (2006). *Emotional Intelligence*. New York: Bantam.
- Heeter, C. a. (2008). Alien Games: Do girls prefer games designed by girls? *Games and Culture*.
- Hsieh, H.-M. W.-L. (2008). A Fuzzy Approach to Generating Adaptive Opponents in the Dead end Game. *Asian Journal of Health and Information Sciences*, 3(1-4), 19-37.
- Hung, Y. H. (2016). Hybrid Learning Style Identification and Developing Adaptive Problem-Solving Learning Activities. *Computers in Human Behavior*, 55, 552-561.
- Hunicke, R. (2005). The Case for Dynamic Difficulty Adjustment in Games. *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology* (págs. 429-433). ACM.
- Jallais, C. a.-L. (2010). Inducing Changes in Arousal and Valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior research methods*, 42(1), 318--325.
- Jang, J. R. (1997). *MATLAB: Fuzzy Logic Toolbox User's Guide: Version 1*. Math Works.
- Jegers, K. (2007). Pervasive Game Flow: Understanding player enjoyment in pervasive gaming. *Computers in Entertainment (CIE)*, 5(1), 9.
- Kickmeier-Rust, M. D. (2012). A Psycho-Pedagogical Framework for Multi-Adaptive Educational Games. *Developments in Current Game-Based Learning Design and Deployment*, 103.
- Kort, B. R. (2001). External Representation of Learning Process and Domain Knowledge: Affective state as a determinate of its structure and function. *Workshop on Artificial Intelligence in Education (AI-ED 2001)*, (May 2001), (págs. 64-69). San Antonio.
- McGaugh, J. L. (2004). Memory Reconsolidation Hypothesis Revived but Restrained: Theoretical comment on Biedenkapp and Rudy (2004). *Behavioural Neuroscience*.
- Mamdani, E. H. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1--13.

- Mandryk, R. L. (2007). A Fuzzy Physiological Approach for Continuously Modeling Emotion during Interaction with Play Technologies. *International journal of human-computer studies*, 65(4), 329-347.
- Mayer, J. D.-K. (1990). Toward Better Specification of the Mood-Congruency Effect in Recall. *Journal of Experimental Social Psychology*, 26(6), 465--480.
- Mentis, H. M. (2007). Memory of Frustrating Experiences. *Information and Emotion: The Emergent Affective Paradigm in Information Behavior Research and Theory*, Eds. Diane Nahl and Dania Bilal, 197-210.
- Murray, T. A. (2002). Toward Measuring and Maintaining the Zone of Proximal Development in Adaptive Instructional Systems. *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (págs. 749-758). Springer.
- Nacke, L. a. (2008). Log Who's Playing: Psychophysiological game analysis made easy through event logging. En *Fun and games* (págs. 150--157). Springer.
- Nagle, A. N. (2014). The Effect of Different Difficulty Adaptation Strategies on Enjoyment and Performance in a Serious Game for Memory Training. *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2014 IEEE 3rd International Conference on*, (págs. 1-8).
- Novak, E. a. (2012). Assessment of Student's Emotions in Game-Based Learning. En *Assessment in Game-Based Learning* (págs. 379--399). Springer.
- Parnandi, A. G.-O. (2015). A Comparative Study of Game Mechanics and Control Laws for an Adaptive Physiological Game. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9(1), 31-42.
- Passino, K. M. (1998). *Fuzzy Control* (Vol. 20). Addison Wesley.
- Peter, C. U. (2012). Emotion in Human-Computer Interaction. En *Expanding the Frontiers of Visual Analytics and Visualization* (págs. 239-262). Springer.
- Peterson, M. (2009). The Use of Computerized Games and Simulations in Computer-Assisted Language Learning: A meta-analysis of research. *Simulation & Gaming*.
- Picard, R. W. (1997). *Affective Computing* (Vol. 252). MIT press Cambridge.
- Rada-Vilela, J. (2014). *Fuzzylite: A fuzzy logic control library*. Obtenido de <http://www.fuzzylite.com>
- Rani, P. S. (2005). Maintaining Optimal Challenge in Computer Games Through Real-Time Physiological Feedback. *Proceedings of the 11th international conference on human computer interaction*, 58, págs. 184-192.
- Robin Hunicke, V. C. (2004). AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Games. In *Proceedings of the Challenges in Game AI Workshop, Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI '04)*. San Jose, California: AAAI Press.
- Rosas, R. N. (2003). Beyond Nintendo: Design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 40(1), 71-94.
- Rowe, E. a.-C. (2015). Serious Games Analytics to Measure Implicit Science Learning. En *Serious Games Analytics* (págs. 343--360). Springer.
- Russell, J. A. (1980). A Circumplex Model of Affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), 1161.
- Russell, J. A. (2003). Core Affect and The Psychological Construction of Emotion. *Psychological review*, 110(1), 145.

- Ryan, R. M. (2006). The Motivational Pull of Video Games: A self-determination theory approach. *Motivation and emotion*, 30(4), 344-360.
- Schuller, B. R. (2003). Hidden Markov Model-Based Speech Emotion Recognition. *2003 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings. (ICASSP '03)*, 2, II--1.
- Salazar, M. G. (2012). Proposal of Game Design Document from Software Engineering Requirements Perspective. En *Computer Games (CGAMES), 2012 17th International Conference on* (págs. 81--85). IEEE.
- Sampayo-Vargas, S. a. (2013). The Effectiveness of Adaptive Difficulty Adjustments on Students' Motivation and Learning in an Educational Computer Game. *Computers & Education*, 69, 452--462.
- Shaffer, D. W. (2004). Video Games and The Future of Learning. *Phi Delta Kappan*, 67(2).
- Silvern, S. B. (1986). Classroom Use of Videogames. *Educational Research Quarterly*, 10(1), 10-16.
- Steve, M. a. (1992). Fuzzy Logic Education Program. *Center for Emerging Computer Technologies, Motorola, Inc.*
- Sundström, P. (2005). *Exploring the Affective Loop*. phdthesis, Stockholm University.
- Talmi, D. (2013). Enhanced Emotional Memory Cognitive and Neural Mechanisms. *Current Directions in Psychological Science*, 22(6), 430-436.
- Takahashi, M. T. (1994). Experimental Study Toward Mutual Adaptive Interface. *Robot and Human Communication, 1994. RO-MAN'94 Nagoya, Proceedings., 3rd IEEE International Workshop on*, (págs. 271-276).
- Tarasov, A. a. (2011). Benchmarking Classification Models for Emotion Recognition in Natural Speech: A multi-corporal study. En *Automatic Face & Gesture Recognition and Workshops (FG 2011), 2011 IEEE International Conference on* (págs. 841--846). IEEE.
- Tijs, T. J. (2008). Dynamic Game Balancing by Recognizing Affect. En *Fun and Games* (págs. 88-93). Springer.
- Van Der Meulen, R. a. (2013). Gartner Says Worldwide Video Game Market to Total \$93 Billion in 2013. *Gartner. Haettu*, 16, 2014.
- van Oostendorp, H. a. (2013). Adapting the Complexity Level of a Serious Game to The Proficiency of Players. En *European Conference on Games Based Learning* (pág. 553). Academic Conferences International Limited.
- Vogt, T. a. (2008). Automatic Recognition of Emotions from Speech: A review of the literature and recommendations for practical realisation. En *Affect and emotion in human-computer interaction* (págs. 75--91). Springer.
- Vygotsky, L. (1978). Interaction between Learning and Development. *Readings on the development of children*, 23(3), 34-41.
- Westermann, R. a. (1996). Relative Effectiveness and Validity of Mood Induction Procedures: Analysis. *European Journal of social psychology*, 26, 557--580.
- Yannakakis, G. N. (2011). Experience-Driven Procedural Content Generation. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2(3), 147-161.

## ANEXOS

### ANEXO A FUZZYLITE

Fuzzylite se utilizó para la configuración del control difuso del enfoque propuesto.

Es una biblioteca de control de lógica difusa libre y de código abierto programado en C++ para múltiples plataformas –Windows, Linux, Mac, iOS, Android. Su objetivo es permitir hacer fácilmente los controladores de lógica difusa en pocos pasos utilizando la programación orientada a objetos sin necesidad de bibliotecas de terceros (Rada-Vilela, 2014).

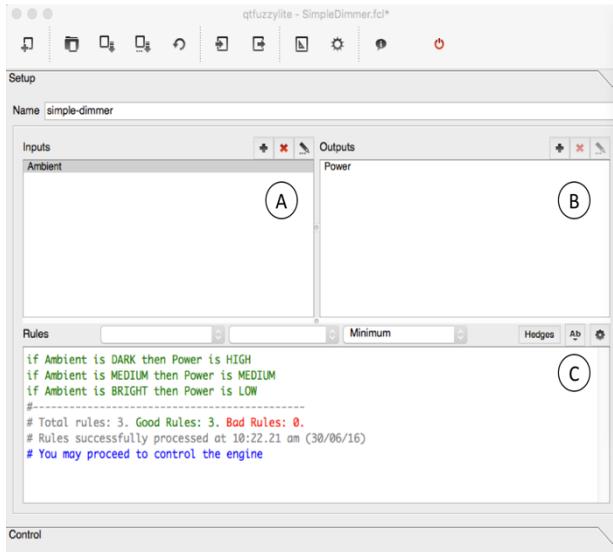
La versión utilizada contiene las siguientes características de fuzzylite:

- **Controladores:** Mamdani, Takagi-Sugeno y Tsukamoto.
- **Fuzzificadores:**
  - **Básico:** Triangular, trapezoidal, rectangular, discreta.
  - **Extendido:** Campana, coseno, gaussiano producto, gaussiano, pi-forma, la diferencia sigmoide, producto sigmoide, pico.
  - **Bordes:** Cóncava, rampa, sigmoide, s-forma, z-forma.
  - **Funciones:** Constante, lineal, función de usuario.
- **T-Norms Conjunción y de activación:** mínimo, producto algebraico, diferencia delimitado, producto drástico, producto Einstein, producto Hamacher.
- **S-Norms Disyunción y Acumulación:** máximo, suma algebraica, suma acotada, suma normalizada, suma drástica, suma Einstein, suma Hamacher.
- **Defuzzificadores:**
  - **Integral:** Centro de gravedad, bisectriz, el más pequeño de máxima, el mayor de los máximos, medios de máxima.
  - **Ponderada:** Promedio ponderado, suma ponderada.
- Permite crear clases heredando de Fuzzylite
- Utiliza múltiples bloques de reglas dentro de un solo motor, cada uno conteniendo cualquier número de reglas –posiblemente ponderada–, y diferentes operadores de conjunción, disyunción y de activación.
- Permite escribir las reglas de inferencia de manera natural, v.g., "Si Ambiente es Oscuro entonces Luz es ALTA".

- Devuelve un valor de salida predeterminado: bloquea los valores de salida para estar dentro de rangos específicos y bloquea el valor de salida válido previo, cuando ninguna regla se encuentre activa.
- Explora el espacio en función de su controlador.
- Es posible utilizar toda la biblioteca a través de múltiples hilos ya que es seguro para subprocessos.

La biblioteca FuzzyLite, proporciona el GUI llamado qtfuzzylite. La GUI nos permite diseñar los controles difusos e interactuar con su operación en tiempo real. En la Figura 19 se muestra la pantalla principal para diseñar un control de lógica difusa. En la sección A, de la figura, se localiza las variables de entrada que serán fuzzificadas, por su contraparte, en la sección B se deben especificar las salidas y su respectiva defuzzificación, en la sección C se definen las reglas que se utilizarán al momento de realizar la inferencia, la GUI nos permite visualizar si existe un error en la gramática o en el sintaxis al momento de crear las reglas.

Al momento de seleccionar la técnicas de fuzzificación o defuzzificación, el GUI permite visualizar las variables lingüísticas, con sus respectivos términos, rangos, función de membresía (Figura 20).



**Figura 19 Pantalla principal del GUI FuzzyLite**

(A) Sección para definir las variables a fuzzificar. (B) Sección para definir las variables a defuzzificar. (C) Sección para ingresar las reglas para la inferencia.

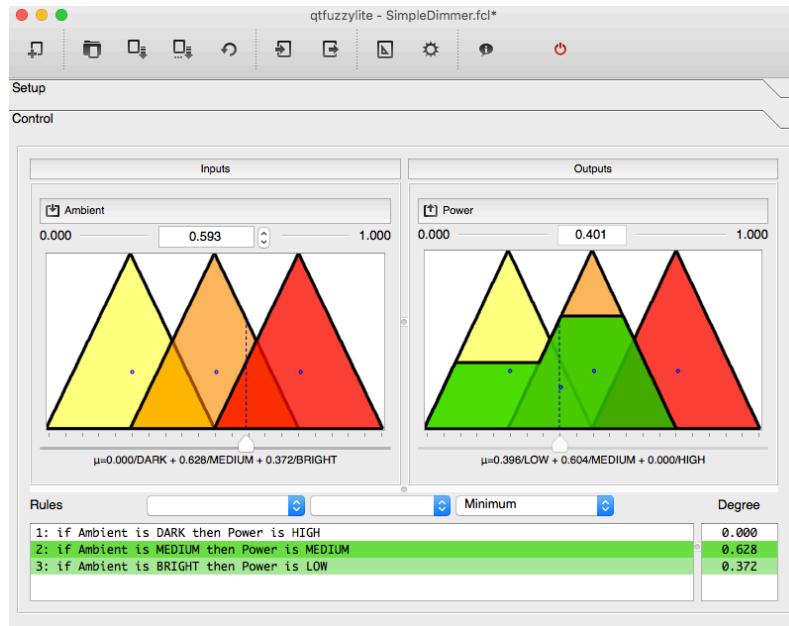


**Figura 20 Pantalla de configuración de las variables a fuzzificar y defuzzificar**

(a) Ventanas de configuración para la Fuzzificación, (b) la función de membresía y (c) defuzzificación.

El GUI contiene un simulador en donde se puede manipular el (los) valor(es) de la(s) variable(s) de entrada, permitiendo observar el comportamiento del control difuso diseñado, es decir, nos permite analizar que reglas se activan con el grado de activación, de acuerdo a el (los) valor(es) ingresados y el (los) valor(es) de salida (Figura 21).

Para utilizar la configuración del controlador difuso en aplicaciones, el GUI permite exportar la configuración a los lenguajes C++ o Java, o en formato válido para importarlo en la aplicación Matlab.



**Figura 21 Pantalla de simulación en el GUI de Fuzzylite**

Ventana para simular las posibles entradas al control difuso, en ella se puede visualizar el comportamiento en relación a la activación de reglas y el valor de salida del control difuso.

## ANEXO B UNITY

Para el desarrollo del video juego, se utilizo la herramienta Unity. Unity es un motor de video juego multiplataforma creado por Unity Technologies. Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows, OS X y Linux, y permite crear juegos para Windows, OS X, Linux, Xbox 360, PlayStation 3, PlayStation Vita, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android y Windows Phone. Al instalar Unity, nos permite utilizar el IDE MonoDevelop, el cual es un entorno de desarrollo integrado libre y gratuito, diseñado primordialmente para C# y otros lenguajes .NET como Nemerle, Boo, Java y en su versión 2.2 Python.

Para el diseño del video juego se utilizó la plataforma Unity Asset Store, en donde, de un conjunto de paquetes se seleccionó el paquete que contenga mecánicas simples, el código para modificar el juego y personajes en 2D (Figura 22).

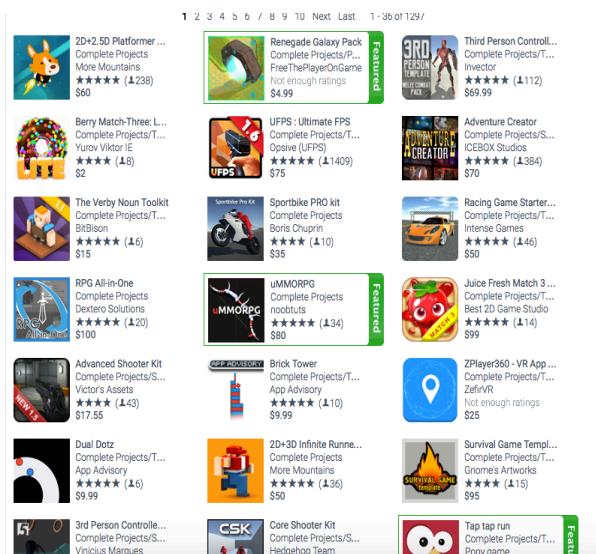


Figura 22 Listado de los posibles proyectos a comprar en Unity Asset Store

## ANEXO C COMPONENTES PRINCIPALES DEL JUEGO

Para poder desarrollar el juego, para la plataforma de Windows de 64 bits, se utilizaron las siguientes herramientas tecnológicas:

- Unity V5.02.
- Visual Studio 2012.
- Los lenguajes de programación: C++ y C#.
- FuzzyLite.

En la Figura 23 se presenta la vista de los principales componentes del juego desarrollado para la implementación de la propuesta.

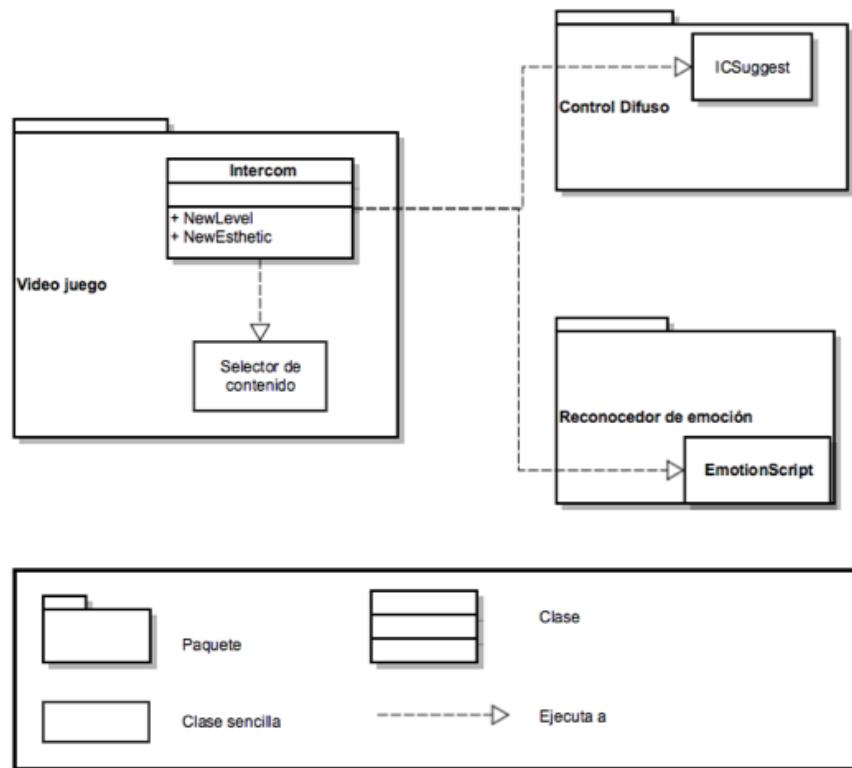


Figura 23 Principales componentes del juego

En la Figura 24 se muestra el fragmento de código donde se obtiene los valores emocionales del jugador, por medio de la comunicación entre los componentes Video juego y Reconocedor de emoción.

```

//Path de los archivos necesarios para el reconocedor de emociones
string path = Application.dataPath + "/StreamingAssets/LibreriaAV";
string pathAudio = Application.dataPath + "/StreamingAssets/" + archivoaudio+".wav";

//El reconocedor de emociones, se ejecuta por medio de un hilo, para no
//afectar el desempeño del juego
Thread saveThread = new Thread(() => {
    lista = EmotionScript.runSmileBinary(pathAudio, path);
    finishemotion=true;
});

saveThread.Start();

```

**Figura 24 Código para obtener los valores emocionales del jugador**

En la Figura 25 se muestra el código donde se obtiene la estética y el nivel de dificultad sugerido por el control difuso. Los valores sugeridos son utilizados por el componente selector de contenido, para seleccionar la nueva estética a utilizar (Figura 26).

```

//Se obtiene la razon de aciertos del nivel anterior.
double razon = (double)score / (double)numbertrail;

// Se rescatan los valores obtenidos del reconocedor.
double valence = lista [lista.Count - 1];
double arousal = lista [lista.Count - 2];

// Se rescatan los valores de la estetica previa.
double valenceS = GameController.instance.ValenceSP
    (PlayerPrefs.GetInt ("positionArray"));
double arousals = GameController.instance.ArousalSP
    (PlayerPrefs.GetInt ("positionArray"));

// Se ejecuta el control difuso.
System.IntPtr ptr = ajustment(valence, arousal, razon, valenceS, arousals);

Marshal.Copy(ptr, result, 0, 3);

// Se guarda la informacion en log, para analisis posterior.
SaveUserData.SaveEmotion(valence, arousal, pathfile, result[0], result[1], result[2],
    fileaudio, user);

```

**Figura 25 Código para obtener el siguiente nivel de dificultad y la estética**

```

// la variable boxmusic, contiene la base de sonidos del IADS

float valence = PlayerPrefs.GetFloat ("rangeV");
float arousal = PlayerPrefs.GetFloat ("rangeA");

// 1. crear un arreglo de distancias y calcular la distancia máxima
float[] dsts= new float[boxmusic.Count];
float minDsts=10000.0f;
int bestJ = 0;

for(int j =0; j<boxmusic.Count; j++){

if (musica.Contains (j)) {
    continue;
}

dsts[j] = DistanciaEntre (valence, arousal, boxmusic[j].GetValence(), boxmusic[j].Get
Arousal());
if (dsts [j] < minDsts) {
    minDsts = dsts [j];
    bestJ = j;
}

}

musica.Add (bestJ);

//Se guarda la nueva musica en un array, para evitar las repeticiones
for(int i=0;i<musica.Count;i++){
    PlayerPrefs.SetInt("musica"+i,musica[i]);
}
PlayerPrefs.SetInt ("ind", musica.Count);

return bestJ;

```

*Figura 26 Código para seleccionar la nueva estética*

## ANEXO D IADS-2 INTERNATIONAL AFFECTIVE DIGITIZED SOUNDS

La base de sonidos IADS (Bradley, 2007), se utilizó en este trabajo para inducir emociones. Con este fin solo se seleccionaron sonidos de valencia alta o activación positivas; es decir, se eliminaron aquellos sonidos que inducen aburrimiento, depresión o cansancio (Figura 27).




Figura 27 Diagrama de sonidos de la base IADS (Bradley, 2007)



CIMAT

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS, A.C.

BIBLIOTECA

AUTORIZACION

PUBLICACION EN FORMATO ELECTRONICO DE TESIS

El que suscribe

Autor(s) de la tesis:

Ing. María Oyuki Fuentes Uc.

Título de la tesis:

Control difuso para apoyar el proceso de aprendizaje en video juegos a través de reconocimiento de emoción por voz

Institución y Lugar:

CIMAT Unidad Zacatecas

Grado Académico:

Licenciatura ( ) Maestría (x) Doctorado ( ) Otro ( )

Año de presentación:

2016

Área de Especialidad:

Ingeniería de Software

Director(es) de Tesis:

Dr. Carlos Alberto Lara Álvarez y Dr. Hugo Arnoldo Mitre Hernández

Correo electrónico:

maria.fuentes@cimat.mx

Domicilio:

And. Baja California Mz. 33 Lt. 23, Fidel Velazquez C.P. 24023.

Campeche, Camp.

Palabra(s) Clave(s):

Control difuso, Video juegos educativos, Inducción de emociones, Ajuste de dificultad.

Por medio del presente documento autorizo en forma gratuita a que la Tesis arriba citada sea divulgada y reproducida para publicarla mediante almacenamiento electrónico que permita acceso al público a leerla y conocerla visualmente, así como a comunicarla públicamente en la Página WEB del CIMAT.

La vigencia de la presente autorización es por un periodo de 3 años a partir de la firma de presente instrumento, quedando en el entendido de que dicho plazo podrá prorrogar automáticamente por periodos iguales, si durante dicho tiempo no se revoca la autorización por escrito con acuse de recibo de parte de alguna autoridad del CIMAT

La única contraprestación que condiciona la presente autorización es la del reconocimiento del nombre del autor en la publicación que se haga de la misma.

Atentamente

Ing. María Oyuki Fuentes Uc

Nombre y firma del tesista