

---

# Modelado interno de personajes en entornos virtuales usando lógica difusa

---



Trabajo de Fin de Máster  
Curso 2017–2018

**Autor**

Frank Vito Julca Bedón

**Directores**

Raquel Hervás Ballesteros

Gonzalo Méndez Pozo

Máster en Ingeniería Informática  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid



# Modelado interno de personajes en entornos virtuales usando lógica difusa

Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería Informática  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial

**Autor**

Frank Vito Julca Bedón

**Director**

Raquel Hervás Ballesteros  
Gonzalo Méndez Pozo

Convocatoria: *Septiembre 2018*

Calificación: *9*

Máster en Ingeniería Informática  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid

20 de septiembre de 2018



# Autorización de difusión

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Ingeniería en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Modelado interno de personajes en entornos virtuales usando lógica difusa”, realizado durante el curso académico 2017-2018 bajo la dirección de Raquel Hervás Ballesteros y Gonzalo Méndez Pozo en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Frank Vito Julca Bedón

20 de septiembre de 2018



# Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mis directores de proyecto Raquel y Gonzalo, por todo el apoyo que me han brindado en este proyecto. Todos los consejos y ayudas que me proporcionaron desde que escogí este proyecto hasta el último día de entrega, e incluso ya pasado, me han inspirado para continuar y no rendirme a pesar de la dificultad del proyecto. Ha pasado mucho tiempo desde que nos conocimos y he compartido con ellos muchos momentos buenos desde que fueron mis tutores de TFG. Así que me gustaría decirles que muchas gracias por todo y que sin duda los volvería a elegir como tutores con los ojos cerrados.

También me gustaría dar las gracias a mis padres, por estar siempre presentes y darme su cariño y comprensión en todo momento, sobre todo en los más difíciles y cuando más lo necesitaba.

Finalmente me gustaría agradecer a todos los familiares y amigos por contribuir a la elaboración de este proyecto y por sacarme siempre una sonrisa cuando más la necesito.

¡Muchas gracias a todos!



# Resumen

A lo largo de la historia de la Inteligencia Artificial, se ha llegado a la conclusión de que las emociones son un factor crítico para desarrollar el comportamiento inteligente de un sistema. Simular la reacción humana ante distintos eventos que suceden en el mundo real siempre fue un reto para este campo de investigación. Por ello, muchos modelos psicológicos han contribuido a describir en qué consiste el proceso emocional centrándose en el efecto que pueden causar estados emocionales como el dolor, el miedo o el hambre. A partir de esta base se crearon lo que se conoce como modelos computacionales de la emoción para agentes virtuales, con múltiples aplicaciones y presentes en distintos campos, como por ejemplo el de los videojuegos.

Sin embargo, los modelos computacionales de la emoción más actuales e influyentes son muy teóricos y utilizan procesos de aprendizaje automático para un entorno de trabajo determinado. Comprenden una compleja base teórica pero la labor de implementación no queda demasiado clara ya que los pocos detalles que se ofrecen no van más allá de los que se hicieron para realizar la evaluación del sistema. Además, ningún modelo ha conseguido simular emociones combinando elementos como el estado de ánimo y rasgos de personalidad y utilizando técnicas de lógica difusa (*fuzzy logic*). El único modelo destacable de lógica difusa aplicada a la simulación de emociones no contempla la personalidad y no termina de desarrollar un complejo estado de ánimo.

En este trabajo se presenta una alternativa más a ellos, un modelo computacional de la emoción para agentes virtuales que combina la simulación de emociones con el estado de ánimo y rasgos de personalidad mediante lógica difusa. Primero, se pretende realizar un diseño teórico explicando los fundamentos del modelado de emociones de agentes virtuales para que cualquier usuario pueda entender cómo funciona el sistema. Segundo, se propone una implementación en Unity, uno de los motores de videojuegos más utilizados actualmente, explicando los métodos y procedimientos que se van a llevar a cabo en cada una de las componentes que conforman el modelo dentro del entorno virtual. La implementación se realizará de forma modular, de manera

que el usuario pueda decidir si incorpora componentes de estado de ánimo o personalidad a su propio sistema, o por el contrario sólo conserva la parte más básica del modelo.

Por último, se ha comprobado su correcto funcionamiento a través del desarrollo de un videojuego de aventura conversacional en primera persona. Este videojuego servirá como método de evaluación para que usuarios puedan dar su valoración respecto la eficacia con la que actúa el modelo y mejorar en la medida de lo posible su funcionamiento. En los resultados finales y las conclusiones extraídas se verá que el modelo, combinando las emociones con la personalidad y el estado de ánimo, obtiene mayor nivel de coherencia en la simulación de las emociones por parte de los evaluadores con respecto a su forma más básica, sin personalidad ni estado de ánimo.

## **Palabras clave**

Generación de emociones, Modelos computacionales, Unity, Agentes virtuales, Estado de ánimo, Personalidad, Lógica difusa, Big Five

# Abstract

Throughout the history of Artificial Intelligence, it has been concluded that emotions are a critical factor in developing the intelligent behavior of a system. Simulating the human reaction to different events that happen in the real world was always a challenge for this field of research. For this reason, many psychological models have contributed to describe what the emotional process consists of, focusing on the effect that emotional states such as pain, fear or hunger can cause. From this base we created what are known as computational models of emotion for virtual agents, with multiple applications and present in different fields, such as videogames.

However, the most current and influential computer models of emotion are highly theoretical and use machine learning processes for a given work environment. They have a complex theoretical base but that the implementation is not too clear because the few details that are offered do not go beyond those that were made to carry out the evaluation of the system. In addition, no model has managed to simulate emotions by combining elements such as mood and personality traits and using fuzzy logic techniques. The only remarkable model of fuzzy logic applied to the simulation of emotions does not contemplate the personality and does not finish developing a complex mood.

In this document we present an alternative to them, a computational model of emotion for virtual agents that combines the simulation of emotions with mood and personality traits through diffuse logic. First, it is intended to perform a theoretical design explaining the fundamentals of modeling emotions of virtual agents so that any user can understand how the system works. Second, an implementation is proposed in Unity, one of the most commonly used video game engines, explaining how the components that make up the model within the virtual environment are connected. The implementation will be done in a modular way, so that the user can decide if he incorporates mood or personality components into his own system, or on the contrary, only conserves the most basic part of the model.

Finally, its correct performance will be verified through the development of a first-person conversational adventure videogame. This video game will serve as an evaluation method so that users can give their assessment of the effectiveness of the model and improve the simulation as much as possible. In the final results and the extracted conclusions it will be seen that the model, combining the emotions with the personality and the mood, obtains a greater level of coherence in the simulation of the emotions than its most basic form, without personality or mood.

## **Keywords**

Emotions generation, Computational model, Unity, Virtual agent, Mood, Personality, Fuzzy Logic, Big Five

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Estructura de la memoria . . . . .	3
<b>2. Introduction</b>	<b>5</b>
2.1. Motivation . . . . .	5
2.2. Objectives . . . . .	6
2.3. Document structure . . . . .	7
<b>3. Estado de la cuestión</b>	<b>9</b>
3.1. Introducción a la teoría de las emociones . . . . .	9
3.2. Teorías psicológicas de la emoción . . . . .	9
3.2.1. La teoría de clasificación . . . . .	12
3.2.2. Definición de emoción según las teorías de clasificación	14
3.2.3. Diferencias entre el modelo OCC con Frijda y Lazarus	14
3.3. Modelos computacionales de la emoción . . . . .	16
3.3.1. Modelos y arquitecturas más influyentes . . . . .	18
3.3.2. Modelo EMA . . . . .	19
3.3.3. FLAME . . . . .	19

3.4.	Lógica difusa . . . . .	21
3.4.1.	Características de la lógica difusa . . . . .	22
3.4.2.	Conjuntos difusos . . . . .	23
3.4.3.	Uso de variables lingüísticas en reglas difusas . . . . .	25
3.5.	Estado de ánimo . . . . .	28
3.6.	Personalidad . . . . .	29
3.7.	Conclusiones . . . . .	31
<b>4.</b>	<b>Diseño del modelo interno para personajes virtuales</b>	<b>33</b>
4.1.	Introducción . . . . .	33
4.2.	Emociones . . . . .	34
4.2.1.	Clasificación de las emociones . . . . .	38
4.2.2.	Ecuaciones de la intensidad emocional . . . . .	40
4.2.3.	Inhibición de las emociones . . . . .	41
4.2.4.	Decaimiento de las emociones . . . . .	43
4.3.	Estado de ánimo . . . . .	43
4.3.1.	Formulación en función de las ventanas de tiempo . . . . .	44
4.3.2.	Filtrado de las emociones con el estado de ánimo . . . . .	45
4.3.3.	Integración de la memoria a corto plazo . . . . .	46
4.4.	Personalidad . . . . .	48
4.4.1.	Mapeado de los rasgos de personalidad . . . . .	48
<b>5.</b>	<b>Implementación del modelo de agentes virtuales</b>	<b>51</b>
5.1.	Introducción . . . . .	51
5.2.	Entorno virtual . . . . .	52
5.3.	Controlador de mensajes . . . . .	54
5.4.	Componente emocional . . . . .	55

5.5.	Componente del estado de ánimo . . . . .	56
5.5.1.	Monitorización de las intensidades emocionales . . . . .	57
5.5.2.	Parámetros de las ecuaciones de filtrado . . . . .	58
5.6.	Componente de personalidad . . . . .	59
5.7.	Flujo de simulación de emociones . . . . .	61
5.8.	Conclusiones . . . . .	61
<b>6.</b>	<b>Evaluación del modelo</b>	<b>63</b>
6.1.	Introducción . . . . .	63
6.2.	Aplicación para la evaluación . . . . .	65
6.2.1.	Formulario de información personal . . . . .	67
6.2.2.	Primera escena: evaluación de las emociones . . . . .	67
6.2.3.	Segunda escena: evaluación del estado de ánimo . . . . .	70
6.2.4.	Tercera escena: evaluación de la personalidad . . . . .	72
6.2.5.	Cuarta escena: comparación de personalidades . . . . .	74
6.3.	Resultados . . . . .	75
6.3.1.	Resultados de la evaluación de las emociones . . . . .	75
6.3.2.	Resultados de la evaluación del estado de ánimo . . . . .	77
6.3.3.	Resultados de la evaluación de la personalidad . . . . .	78
6.3.4.	Resultados de la comparación de personalidades . . . . .	79
6.3.5.	Discusión . . . . .	80
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>83</b>
7.1.	Conclusiones . . . . .	83
7.2.	Trabajo futuro . . . . .	84
<b>8.</b>	<b>Conclusions and Future Work</b>	<b>87</b>

8.1. Conclusions . . . . .	87
8.2. Future Work . . . . .	88
<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>

# Índice de figuras

3.1. Visión abstracta de la arquitectura del agente . . . . .	20
3.2. Componente del proceso emocional . . . . .	21
3.3. Representación de las funciones de pertenencia. . . . .	25
3.4. Uso del modificador <i>muy</i> para determinar el grado de pertenencia de la altura. . . . .	26
3.5. El método de la media del máximo determina un valor de 83. . . . .	27
4.1. Funciones de pertenencia de la variable importancia. . . . .	36
4.2. Funciones de pertenencia de la variable impacto. . . . .	36
4.3. Funciones de pertenencia de la variable deseabilidad. . . . .	37
4.4. Descripción de los rasgos de personalidad en ALMA . . . . .	49
5.1. Visión general de la arquitectura del sistema . . . . .	52
5.2. Flujo de actividad de la simulación de emociones básica . . . . .	56
6.1. Información sobre los controles del juego . . . . .	66
6.2. Cuestionario de información demográfica . . . . .	67
6.3. Emociones después de robar el móvil . . . . .	68
6.4. Primer cuestionario sobre los eventos de Roberto . . . . .	69
6.5. El evaluador procede a entregar el móvil de Roberto a Laura después de darle un susto . . . . .	70
6.6. Situación inicial de Roberto en la segunda escena . . . . .	71

6.7. Representación gráfica de la personalidad . . . . .	74
6.8. Cuestionario final de comparación de las tres escenas . . . . .	74
6.9. Comparación de resultados entre personalidad neurótica y agradable . . . . .	75
6.10. Formulario de evaluación para las tres primeras escenas . . . . .	76
6.11. Resultados obtenidos de la primera escena . . . . .	77
6.12. Resultados obtenidos de la segunda escena . . . . .	78
6.13. Resultados obtenidos de la tercera escena . . . . .	79
6.14. Resultados obtenidos tras el cuestionario de visión general del sistema . . . . .	79
6.15. Resultados obtenidos de la cuarta escena . . . . .	80
6.16. Comparativa de resultados de las tres escenas . . . . .	81

# Índice de tablas

3.1. Estado de ánimo según el espacio PAD . . . . .	29
4.1. Reglas para el modelado de emociones en FLAME . . . . .	39
4.2. Base teórica para el modelado de emociones . . . . .	40
4.3. Ecuaciones de modelado de emociones en FLAME . . . . .	41
4.4. Ecuaciones de modelado de emociones utilizadas en el proyecto . . . . .	42
4.5. Mapeado de los rasgos de la personalidad con las emociones .	50



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

Las emociones influyen las interacciones entre las personas, ya que están presentes en todo lo que experimentamos diariamente. Afectan a nuestro estado mental, expresiones faciales y corporales, toma de decisiones e interacciones sociales. Por ello, durante los últimos años, el papel de las emociones en la Inteligencia Artificial ha tomado mayor protagonismo del que ya tenía debido a que son un punto de entrada también para la interacción entre persona y ordenador (HCI).

La interacción con ordenadores debe ser lo más natural posible y al final lo que se espera es que la máquina reaccione y se comporte como lo harían los seres humanos, por lo que resulta muy importante que una máquina sea capaz de comprender y transmitir emociones. La mejor manera de conseguir esto es utilizar técnicas de lógica difusa con las que se puede modelar un problema tan complejo como la simulación de emociones en agentes virtuales. Traducir el lenguaje de los humanos al de las máquinas resulta más sencillo si se hace uso de este tipo de lógica.

Sin embargo, en el área de la simulación de emociones a través de la lógica difusa existen pocos modelos computacionales encargados de esta labor. Los modelos más importantes resultan ser demasiado teóricos y las implementaciones que ofrecen no cruzan la línea de lo que se ha hecho para realizar la evaluación de su sistema. Además, ninguno de ellos ha conseguido, a través de lógica difusa, combinar las emociones con un estado de ánimo y rasgos de personalidad para obtener un estado emocional aún más complejo y realista.

El modelo de emociones para personajes virtuales propuesto toma como

principal referencia la base teórica de lógica difusa aplicada a emociones de los modelos computacionales existentes, siendo la combinación con el estado de ánimo el paso más avanzado que estos modelos han conseguido dar. Este proyecto busca simular emociones a partir de eventos que ocurren en el entorno, considerando los factores ya existentes e introduciendo nuevos elementos de estado de ánimo y personalidad.

Para ello, se propone un diseño complejo para que cualquier usuario pueda implementar el modelo propuesto en su propio sistema. Además, para demostrar que su implementación real es posible se detallan todos los procesos y métodos que se han llevado a cabo para realizarla en uno de los motores de videojuegos más utilizados, como es Unity 3D. Posteriormente, se llevarán a cabo evaluaciones con usuarios expertos e inexpertos para comprobar cómo de coherentes son los resultados que se obtienen tanto mezclando emociones con estado de ánimo y personalidad como aislando las emociones de los nuevos elementos. De esta manera se podrá comprobar la mejora en la simulación con respecto a los modelos existentes.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un modelo emocional complejo para agentes virtuales, que incluye no sólo emociones sino estado ánimo y personalidad. No obstante, se pueden considerar los siguientes subobjetivos para desglosar el objetivo principal:

- Diseñar un modelo computacional para agentes virtuales capaz de simular emociones, combinando estados de ánimo y personalidad, de manera que un usuario que quiera usar el modelo pueda combinar estos elementos como desee.
- Implementar el modelo en un entorno virtual a través de un motor de videojuegos y explicar cada uno de los detalles de su implementación para demostrar que es posible.
- Integrar el sistema en un videojuego de aventura conversacional en primera persona para evaluar la coherencia de la simulación de las emociones con la ayuda de usuarios tanto expertos e inexpertos que darán su valoración al respecto.

Para lograr el primer objetivo, se investigarán las principales teorías psicológicas de las emociones para comprender la base teórica de ellas. También se profundizará en los principales modelos computacionales de la emoción,

examinando cuáles son los más populares en la materia y los más influyentes en otros modelos. Además, se estudiarán los fundamentos de la lógica difusa y cómo se aplica en la generación de emociones de agentes virtuales. Por último, se investigarán los modelos de personalidad y cómo se aplican en agentes.

El diseño se llevará a cabo de manera que cualquier usuario sea capaz de implementar el modelo en personajes virtuales, siendo capaz de configurar el estado de ánimo y la personalidad para obtener los resultados que desee. Los componentes del estado de ánimo y la personalidad se diseñarán de forma que no interfieran en la simulación de emociones si se opta por no considerarlas para el sistema en el que se quiera integrar.

Para implementar el sistema se escogerá un motor de videojuegos que facilite la creación y la organización de cada componente. Además, se utilizará el mismo entorno para crear un pequeño videojuego de aventura conversacional que integre el modelo en los personajes que aparezcan. Una vez disponible, se pedirá a usuarios que evalúen el sistema para obtener resultados y opiniones sobre el modelo propuesto.

### 1.3. Estructura de la memoria

La estructura de este documento consta de los siguientes capítulos.

En los Capítulos 1 y 2, redactados en español e inglés respectivamente, se introduce el contexto y la motivación del proyecto. Además, se enumeran y explican los objetivos que se van a llevar a cabo. La última parte de estos capítulos está dedicada a mostrar la estructura de este documento.

En el Capítulo 3 se introducen las teorías de las emociones, concretamente aquellas que están relacionadas con la Psicología. Se expondrán y compararán las principales teorías de clasificación sobre las que se fundamenta el sistema propuesto. Por último, se explicarán los fundamentos de los modelos computacionales de la emoción, se hará una breve comparativa entre ellos y se profundizará en el que más influencia tiene en este sistema, detallando los métodos de lógica difusa que se han llevado a cabo.

En el Capítulo 4 se explican todos los procesos que se llevan a cabo para diseñar el modelo de personajes propuesto. Primero, se describirán las variables del sistema y cómo se clasifican las emociones. A continuación, las ecuaciones que generan la intensidad de las emociones, cómo afectan unas a otras y cómo van desapareciendo con el tiempo. Por último, se dedicarán dos secciones a explicar la integración del estado de ánimo y la personalidad.

En el Capítulo 5 se detalla la implementación del modelo sobre Unity explicando los componentes que la definen. Se harán especial hincapié en la componente emocional, de estado de ánimo y personalidad.

En el Capítulo 6 se presenta la evaluación del modelo, incluyendo la aplicación usada para las evaluaciones y los resultados obtenidos para cada una de las escenas del videojuego.

En los Capítulos 7 y 8, redactados en español e inglés respectivamente, se exponen las conclusiones y el trabajo futuro que se han extraído del desarrollo del sistema y las posteriores evaluaciones.

# Chapter 2

## Introduction

### 2.1. Motivation

Emotions influence the interactions between people because they are on all what we experience daily. They affect our mental state, facial and body expressions, decision making and social interactions. For this reason, during the last years, the role of emotions in Artificial Intelligence has taken more prominence than it already had because they are also a point of entry for the interaction between person and computer (HCI).

The interaction with computers should be as natural as possible and in the end what is expected is that the machine reacts and behaves as human beings would, so it is very important that a machine is able to understand and transmit emotions. The best way to achieve this is to use fuzzy logic techniques with which you can model a problem as complex as the simulation of emotions in virtual agents. Translating the language of humans to that of machines is easier if this kind of logic is used.

However, in the area of simulation of emotions through fuzzy logic there are few computational models responsible for this work. The most important models turn out to be too theoretical and the implementations they offer do not cross the line of what they has been done to carry out the evaluation of their system. In addition, none of them has achieved, through fuzzy logic, the way to combine emotions with mood and personality traits to obtain an even more complex and realistic emotional state.

The model of emotions for virtual characters proposed takes as its main reference the theoretical basis of fuzzy logic applied to emotions of existing computational models, being the combination with mood the most advanced

step that these models have developed. This project seeks to simulate emotions from events that occur in the environment, considering existing factors and including new elements of mood and personality.

To do this, a complex design is proposed so that any user can implement the proposed model in their own system. In addition, to demonstrate that its real implementation is possible, all the processes and methods that have been carried out to develop it over one of the most used video game engines, such as Unity 3D, are detailed. Later, evaluations will be carried out with expert and inexperienced users to check the coherence of the results obtained by mixing emotions with mood and personality and isolating the emotions of the new elements, and see the improvement of the simulation with respect to what already existed.

## 2.2. Objectives

The main objective of the project is to design and implement a complex emotional model for virtual agents, which includes not only emotions but mood and personality. However, the following sub-objectives can be considered to break down the main objective:

- Design a computational model for virtual agents capable of simulating emotions, combining moods and personality, so that a user who wants to use the model can combine these elements as desired.
- Implement the model in a virtual environment using a video game engine and explain each of the details of its implementation to demonstrate that it is possible.
- Integrate the system in a first-person conversational adventure videogame to evaluate the coherence of the simulation of emotions with the help of both expert and inexperienced users who will give their assessment.

To achieve the first objective, the main psychological theories of emotions will be investigated in order to understand the theoretical basis of them. It will also study the main computational models of emotion, examining which are the most popular in the field and the most influential in other models. In addition, the foundations of fuzzy logic will be studied and how it is applied in the generation of emotions of virtual agents. Finally, personality models and how they are applied in agents will be studied.

The design will be carried out so that any user will be able to implement the model in virtual characters and configure the mood and personality to

get the results he wants. The components of the mood and the personality will be designed so that they do not interfere in the simulation of emotions if someone chooses not to consider them for the system in which he wants to integrate it.

To implement the system, a video game engine will be developed to facilitate the creation and organization of each component. In addition, the same environment will be used to create a small conversational adventure videogame that integrates the model into the characters that appear. Once available, users will be asked to evaluate the system to obtain results and opinions on the proposed model.

## 2.3. Document structure

The structure of the document consists of the following chapters.

In Chapters 1 and 2, written in Spanish and English, respectively, the context and motivation of the project are introduced. In addition, the objectives that are to be carried out are enumerated and explained. The last part of these chapters is dedicated to show the structure of this document.

In Chapter 3 the theories of emotions are introduced, specifically those that are related to Psychology. The main classification theories on which the proposed system is based will be presented and compared. Finally, the fundamentals of the computational models of emotion will be explained, a brief comparison between them will be made and the most influential in this system will be deepened, detailing the diffuse logic methods that have been carried out.

In Chapter 4 all the processes that are carried out to design the proposed character model are explained. First, the variables of the system and how the emotions are classified will be described. Next, the equations that generate the intensity of the emotions, how they affect each other and how they disappear by time passing. Finally, two sections will be devoted to explaining the integration of the proposed mood and personality.

In Chapter 5 the system architecture is explained focusing the components that define it. Special emphasis will be placed on the emotional component, mood and personality.

In Chapter 6 the application used for the evaluations and the results obtained by each of the video game scenes is presented.

Chapters 7 and 8, written in Spanish and English respectively, present the

conclusions and future work that have been extracted from the development of the system and the subsequent evaluations.

## Capítulo 3

# Estado de la cuestión

### 3.1. Introducción a la teoría de las emociones

En el trabajo previo de investigación de agentes computacionales (Simon, 1967) y a lo largo de la historia de la inteligencia artificial, se ha llegado a la conclusión de que las emociones son un factor crítico para desarrollar el comportamiento inteligente de un agente. Esto se debe a que las emociones buscan el balance entre el procesamiento reactivo ante sucesos y el pensamiento deliberativo que influye en la toma de decisiones, provocando que un individuo cambie sus objetivos y sus expectativas.

Estudios recientes demuestran que el papel crítico de la emoción se debe a que los déficits neurológicos en el procesamiento de la emoción conducen a déficits en la toma de decisiones (Bechara et al., 1999). Por ejemplo, las personas que se enfadan con facilidad son más afines a recibir estímulos que les hagan sentir amenazados y generalmente responden de manera más agresiva de lo habitual.

Antes de examinar las diferencias entre los modelos computacionales de emociones, es importante entender las teorías psicológicas que forman la base teórica sobre la que se construyen estos modelos.

### 3.2. Teorías psicológicas de la emoción

Las primeras investigaciones sobre la emoción tuvieron lugar alrededor del 400 a.C. y fueron llevadas a cabo por los antiguos filósofos griegos. Históricamente, la emoción y la razón se consideraban dos conceptos totalmente

opuestos, por lo que los filósofos antiguos como Platón y Descartes creían que la emoción no formaba parte de la inteligencia humana, sino que se consideraba un obstáculo para el pensamiento humano. Aunque la filosofía se centró más en la búsqueda de la razón y en la ciencia de la conciencia, las emociones nunca se dejaron de tomar en cuenta. Por esta razón, hoy en día es uno de los temas con más interés no solo en este campo sino en disciplinas como la Neurociencia, Sociología o Informática (H. A. Simon et al., 2016).

A mediados del siglo XIX, cuando apareció la revolución cognitiva (Arnold, 1960), el cerebro pasó a entenderse como un sistema muy complejo de procesamiento de la información. Fue entonces cuando se abrió el debate de cómo un robot podía ser inteligente sin tener emociones, y hasta el día de hoy, las investigaciones más recientes en campos de Psicología y Neurociencia continúan dicho debate. Por lo tanto, por aquella época las emociones volvieron a ser un campo de interés general (Reisenzein, 2015) y por este motivo muchas de las teorías que se conocen actualmente tuvieron sus inicios durante este periodo.

Más recientemente, los psicólogos han comenzado a ver el papel que desempeñan las emociones como una componente positiva en inteligencia y cognición humana (Ekman, 1992). Como resultado de sus investigaciones, se descubrió que las emociones tienen un gran *impacto* en el pensamiento, la memoria y las creencias (Forgas, 1995), hasta el punto de que tener poca capacidad de respuesta emocional implica que no se puedan tomar buenas decisiones (Damasio y Sutherland, 2008).

Por ello, muchos modelos psicológicos han contribuido a describir en qué consiste el proceso emocional centrándose en el efecto que pueden causar estados emocionales como el dolor, el miedo o el hambre (Bolles y Fanselow, 1980). También existen otros tipos, como los modelos de clasificación, los cuales se centran en explicar qué eventos causan ciertas emociones (Roseman et al., 1990), u otros que se dedican a analizar la influencia de las emociones y las expectativas (Price et al., 1985).

Dado que uno de los objetivos de este trabajo se centra en el campo de la computación afectiva y en los modelos computacionales de la emoción para ser utilizados en agentes, nos centraremos únicamente en las teorías psicológicas de la emoción, introduciendo el objetivo de estas teorías, cómo se pueden clasificar y cuáles son las tendencias en modelos computacionales de las teorías de la emoción.

El principal objetivo de una teoría psicológica de la emoción es describir los procesos relacionados con la creación de las emociones de un individuo, incluso si estos procesos se producen en un contexto social y no dentro del propio individuo (Frijda et al., 2000).

A pesar de las numerosas investigaciones en el área de las emociones, no se ha conseguido establecer una teoría de la emoción que sea considerada correcta y, por tanto, ampliamente aceptada por la comunidad científica (Reisenzein et al., 2013). Por ejemplo, Kenneth Strongman, en sus más de catorce años de experiencia en el campo de la Psicología concluye que existen más de 150 teorías de la emoción diferentes (Strongman, 2003). Asimismo las teorías pueden ser descritas de diferentes formas y, aunque puedan parecer poco similares, no tienen por qué contradecirse entre ellas.

A continuación se presentan cuatro grandes tendencias en la psicología de la emoción que albergan la mayoría de las teorías más famosas e influyentes utilizadas para modelar las emociones. Estas cuatro categorías sirven para clasificar las distintas teorías de la emoción pero no quiere decir que la clasificación sea totalmente completa y perfecta. Tampoco que una teoría solo pueda pertenecer a una categoría, sino que esta distinción sirve para diferenciar las suposiciones que hacen cada una de ellas.

### **Teorías somáticas**

Las teorías somáticas consideran las emociones experiencias similares a sensaciones. Por ejemplo, William James usó la famosa metáfora de afirmar que las emociones tienen un cierto grado de *calidez* que depende de las experiencias *cálidas* o *frías* que se produzcan (Reisenzein y Döring, 2009). Los investigadores de estas teorías se dividen dos grupos porque suelen estar en desacuerdo con el origen de las emociones. Uno argumenta que las emociones son causadas por los cambios en el cuerpo y el otro cree que tanto las reacciones corporales como las emociones se producen simultáneamente. Aunque la teoría del primer grupo ha sido la más aceptada durante al menos 40 años, actualmente es rechazada por los investigadores modernos (Damasio y Sutherland, 2008).

### **Teorías discretas**

Las teorías discretas consideran un pequeño conjunto de emociones básicas que habitualmente son alegría, tristeza, miedo, ira, y sorpresa. Estas teorías suponen que cada una de estas emociones son innatas y tiene su propio mecanismo de procesamiento conectado al cerebro humano, el cual tiene en cuenta factores de comportamiento y otros factores que desencadenan las emociones (Hudlicka, 2011; Gross y Barrett, 2011).

### **Teorías dimensionales**

Las teorías dimensionales argumentan que emociones como la ira no tienen una base biológica específica, sino que son etiquetas psicológicas que se asignan a estados mentales y físicos. Por ello, las identifican con una posición dentro de un espacio bidimensional o tridimensional.

Por ejemplo, una de las más utilizadas es la teoría bidimensional de Russell (Russell, 2003), en la que las emociones se caracterizan por su nivel de valencia y excitación. Otra de las teorías con más trascendencia, muy similar a la de Russell, es el PAD (placer, excitación y dominio)(Mehrabian, 1995) aunque el espacio es tridimensional y tiene el dominio como dimensión extra. Esta dimensión se agrega para diferenciar entre emociones con la misma valencia y excitación, como la ira y el miedo (Hudlicka, 2011).

### Teorías cognitivas

Las teorías cognitivas asumen dos suposiciones sobre las emociones. Primero, suponen que existen componentes fisiológicos, subjetivos y cognitivos que están involucrados en la simulación de las emociones. La segunda suposición es que se requiere de una representación mental para explicar la importancia de la cognición en las emociones. Una de las teorías de este tipo es la teoría de la clasificación o *appraisal theory* (Marsella et al., 2010), la cual es una de las teorías más destacadas en el modelado emocional.

#### 3.2.1. La teoría de clasificación

La teoría de la clasificación afirma que las emociones surgen de la interacción entre las cosas que consideramos importantes y los eventos que suceden en nuestro entorno, el cual nos produce estímulos (Marsella et al., 2010), por lo que no pueden explicarse centrándose únicamente en el individuo o en su entorno. Según Richard Lazarus, el pionero de la teoría de la clasificación cognitiva, la relación entre el individuo y el entorno debe ser evaluada en función de más factores, como por ejemplo la deseabilidad de que ocurran los eventos que causan las emociones con respecto a las expectativas del individuo (Lazarus, 1991).

Para explicar esta teoría se tomará el siguiente ejemplo. Imaginemos que una persona rompe un adorno de nuestro salón. Las emociones aumentarán el nivel de intensidad dependiendo de cómo sea nuestro apego por el adorno. Podría tratarse de un adorno que valoramos mucho, por ejemplo porque nos lo regaló un amigo de nuestra infancia al que tenemos mucho aprecio, o uno que odiamos porque nos lo regaló nuestra suegra que no nos cae bien y no podíamos tirar. En el primer caso, se intensificarían emociones como la tristeza o la ira, mientras que en el segundo nos podríamos sentir incluso felices. Por otro lado, nuestra respuesta emocional puede cambiar si resulta que el adorno solo se cayó al suelo, sin llegar a romperse.

Por lo tanto, no se trata de considerar únicamente nuestra relación con el

entorno o aquellas cosas que nos parecen importantes, sino también la interacción entre ambos factores que producen nuestra respuesta emocional. Todo este proceso de interpretación de los eventos, tomando en cuenta nuestras creencias, deseos y objetivos se denomina teoría de la clasificación, y según los teóricos que la defienden, es el proceso que da lugar a las emociones.

Dentro del campo de las teorías de clasificación se encuentran teorías aún más específicas. Las que tuvieron más importancia y forman parte de la base de los modelos computacionales de emociones son las teorías de Frijda (Frijda, 1986), Lazarus (Lazarus, 1991), y OCC (Ortony et al., 1990). Antes de entrar en detalle a analizar los modelos sobre los que se construye este sistema, conviene entender las principales diferencias teóricas que existen entre ellas. Así que se hará hincapié en los principales aspectos a tener en cuenta cuando se construye un modelo computacional sobre una teoría de clasificación.

La teoría de Frijda tiene lugar en 1986, cuando Nico H. Frijda escribió el famoso libro conocido como *The emotions* (Frijda, 1986), en el que describe el desarrollo de su teoría psicológica de la emoción. Su libro tenía dos objetivos: uno era encontrar una definición de emoción que sea ampliamente aceptada basándose en su teoría y el otro se trataba de comprender su origen, función y condiciones necesarias para que se produzca.

Poco tiempo después, Ortony, Clore y Collins (Ortony et al., 1990) desarrollaron una teoría conjunta que actualmente es una de las más usadas para construir modelos computacionales (Hudlicka, 2011). Su principal objetivo es describir la arquitectura cognitiva de las emociones de manera que se puedan definir las emociones, establecer las relaciones entre ellas y desarrollar un modelo computacional de emociones que pueda ser usado en Inteligencia Artificial.

Más tarde, en 1993, Richard Lazarus terminó su investigación sobre el estrés, el cual se trataba de un problema psicológico muy relevante durante la Segunda Guerra Mundial, cuando Lazarus comenzó dicha investigación. Esto derivó en el estudio de las emociones y el posterior desarrollo de *coping*, concepto clave de su investigación y que habitualmente se relaciona con el estrés.

A pesar de todos los objetivos que persigue, el modelo OCC es más limitado que las teorías de Frijda y Lazarus. Además de definir las emociones y describir su modelado, Frijda y Lazarus se esfuerzan por explicar los efectos de las emociones en el comportamiento. La principal diferencia entre estas dos teorías se encuentra en la parte del proceso de las emociones en las que se centran. Frijda intenta explicar las emociones desde un punto de vista más abstracto y así conseguir una definición de emoción más genérica pero

también más detallada. Por otro lado, Lazarus se centra en cómo se originan las emociones y busca una definición más específica de emociones como la tristeza y la alegría.

### **3.2.2. Definición de emoción según las teorías de clasificación**

No hay una definición de emoción que sea ampliamente aceptada por la comunidad científica, y por esta razón todas las definiciones se basan en una teoría sobre la que apoyarse. Cada una de las tres teorías vistas anteriormente define la emoción de un modo diferente, dado que tienen objetivos diferentes y se centran en determinadas partes del proceso de simulación de la emoción.

El modelo OCC cuenta con la definición más clara de las tres teorías: las emociones son reacciones a eventos, agentes u objetos y su origen está determinado por la forma en la que se interpreta la situación que las desencadena (Ortony et al., 1990). La definición de Frijda fue modificada varias veces a lo largo de su investigación pero finalmente concluyó que las emociones son cambios en la preparación para realizar una acción, la disposición cognitiva, en la preparación para modificar o establecer relaciones con el entorno, o en la preparación para actividades que satisfacen los deseos y necesidades (Frijda, 1986). Al contrario que OCC y Frijda, Lazarus encuentra casi imposible dar una definición ya que cree que la única buena definición de su investigación es su teoría completa. A pesar de eso, dio una definición breve y precisa: las emociones son configuraciones cognitivas, motivacionales y relacionales que están organizadas de manera que los estados se modifican cuando se perciben y evalúan cambios en la relación de la persona y el entorno (Lazarus, 1991).

En general, todas las teorías coinciden en que las emociones son reacciones a algo que sucede en el entorno del individuo y que es importante para él. Sin embargo, el modelo OCC se centra más en la causa de la reacción, Frijda se inclina por analizar los efectos de las emociones en el entorno o en otros individuos y Lazarus se concentra más en el aspecto social al añadir muchas perspectivas de la emoción. Dado que este sistema usa el modelo computacional FLAME, el cual se verá más adelante, se profundizará más sobre la teoría de OCC sobre la que se construye dicho modelo.

### **3.2.3. Diferencias entre el modelo OCC con Frijda y Lazarus**

Una vez vista la definición de la emoción según la teoría de OCC, se procederá a describir la implementación del procesamiento de la emoción que propone este modelo.

Para ello, primero se han de tener en cuenta las variables de entrada que tendrá el modelo, distinguiendo entre variables del entorno y del individuo. El entorno consta de tres componentes: eventos, agentes y objetos. Los eventos describen lo que está sucediendo, los objetos son elementos dentro del entorno y los agentes son otros individuos, objetos y en general todo aquello que pueda causar un efecto en el individuo. Por ejemplo, cuando un conductor sufre un pinchazo en una rueda, este puede enfadarse con el coche. En ese caso, el coche no se trata como un objeto sino como un agente. En el grupo de las variables del individuo se encuentran los objetivos del individuo, las creencias sobre lo que es moralmente correcto o incorrecto y las actitudes que se pueden definir como el grado de atracción o rechazo hacia determinados objetos.

Al tratarse de una teoría de clasificación, el modelo OCC también cuenta con variables de evaluación que permiten evaluar la importancia del entorno para el individuo. Prácticamente todas las teorías constan de las mismas variables, aunque difieren en el nombre y la estructura de las mismas. En el caso de OCC, las variables de clasificación no se describen explícitamente, sino que se pueden interpretar como una combinación de variables locales y globales que representan factores que influyen a todas las emociones o parte de ellas.

Si analizamos la estructura de las variables de clasificación de las tres teorías, se puede demostrar que la mayoría de teorías psicológicas de la emoción no contienen un nivel de claridad necesario para desarrollar un buen modelo computacional (Broekens et al., 2008). Es cierto que la definición de muchas variables queda suficientemente clara pero en otras solo se da una idea vaga del concepto y la interpretación queda a juicio del desarrollador.

Este es el caso de la teoría de Frijda debido a que no quedan muy claros los valores que pueden tomar la mayoría de sus componentes, incluso en algunos casos no se puede afirmar si son binarios, discretos o continuos. En el caso de OCC, las cosas quedan más claras. Si bien es cierto que no se dan explícitamente los valores, se sabe que se encuentran en un rango relativamente corto, por lo que es fácil imaginarlos en la mayoría de ellos. Por ejemplo, la deseabilidad mide cómo de deseable es que ocurra un evento en un rango de valores entre 0 y 1. En teorías como Lazarus, se podría tomar el mismo rango de valores para variables como la importancia de los objetivos.

En resumen, todas las teorías coinciden en la mayoría de variables de clasificación aunque difieran en su nombre. Las emociones se corresponden con una configuración específica de estas variables de clasificación. Sin embargo, las diferentes estructuras de las variables que presentan cada una de las teorías permite que las emociones tengan distintas implementaciones, ya

que un número diferente de variables de clasificación conlleva a un número diferente de emociones. Por ejemplo, en la teoría de Lazarus se distinguen 14, en la OCC 22 y en la de Frijda 31 emociones diferentes.

A pesar de tener un número mayor de emociones y abarcar la mayor parte de los conceptos de la teoría de la emoción, Frijda también contiene definiciones generales e irrelevantes para aclarar la correcta implementación de un modelo computacional. Por otro lado, OCC no cubre gran parte de la teoría de la emoción, pero sí lo hace de forma más clara y concisa. La teoría de Lazarus se encuentra en el término medio aunque con menos emociones, como se vio anteriormente.

### 3.3. Modelos computacionales de la emoción

El concepto de *modelo computacional* no tiene una definición concreta a pesar de ser un término muy utilizado en la literatura del modelado de la emoción (Reisenzein et al., 2013). En este documento se proporciona una definición desde el punto de vista de Inteligencia Artificial (Sun, 2008): un modelo computacional se encarga de proporcionar la información necesaria para entender las funciones cognitivas, describiendo todo el proceso mediante algoritmos y programas.

De acuerdo con Sun, los modelos computacionales se puede contrastar con otros tipos de modelos matemáticos o modelos *de concepto verbal* usados en la ciencia cognitiva. Para descripciones muy detalladas, es habitual seguir el modelo matemático para abordar relaciones usando ecuaciones. Los modelos *de concepto verbal* están escritos en un lenguaje natural que carecen de una descripción formal que suele estar presente en un modelo computacional. Las teorías de Frijda, Lazarus y OCC (Sección 3.2.1) son buenos ejemplos de modelos *de concepto verbal* usados en los modelos computacionales.

Más específicamente, los modelos computacionales de la emoción se usan para el diseño de personajes autónomos que son capaces de interactuar con otros personajes o incluso con personas, usando un comportamiento verbal y no verbal (Marsella y Gratch, 2014). Por ello, deben ser capaces de abordar cómo surgen y cambian las emociones en relación a diferentes condiciones, desde eventos simples hasta situaciones complejas que involucran a más agentes. Además, las emociones deben estar directamente relacionadas tanto con la dinámica de cómo funciona el mundo (entorno) como con la mecánica de los procesos cognitivos y de comportamiento del individuo.

Los modelos computacionales de la emoción suelen estar basados en las teorías psicológicas de las emociones (Sección 3.2) como base para construir

un modelo computacional efectivo, aunque sea para definir mínimamente en qué consiste una emoción o qué comprende un estado emocional como el miedo. Sin embargo, las teorías psicológicas que hay detrás difieren en aspectos sobre los procesos cognitivos, las relaciones entre ellos y, en general, la representación de las componentes de las emociones. Esto provoca que el desarrollo de un modelo computacional de la emoción se complique aún más.

Antes de profundizar en los modelos computacionales de la emoción que se han investigado para realizar este trabajo, se procederá a explicar cuáles son sus principales ventajas en las distintas áreas en las que están presentes. Aunque a lo largo de la introducción de este capítulo se ha mencionado algunas de ellas, es importante dar una argumentación sólida de por qué es útil el modelado computacional. En concreto, el modelado computacional cognitivo se trata de un campo interdisciplinario que incluye Psicología, Inteligencia Artificial, Robótica e Interacción Persona-Ordenador (IPO) y puede ser utilizado como una herramienta para comprender mejor la cognición humana.

En cuanto a la Psicología, el modelado computacional es una de las alternativas al enfoque clásico de este campo: entender la cognición a través de la observación del comportamiento humano. El modelado permite que ciertas suposiciones sobre la base del sistema cognitivo humano se puedan demostrar de manera más sencilla (Sun, 2008). Además, los modelos computacionales suelen ser una formalización de una teoría conceptual, lo que favorece hacer posibles predicciones (Marsella et al., 2010), ayudándose de numerosas herramientas formales usadas en Informática y Matemáticas para investigar las propiedades de las funciones cognitivas. En particular, las herramientas específicas de análisis complejo pueden establecer una medida que indique la *dificultad* de describir una función cognitiva y, por lo tanto, cómo de justificable es la teoría que hay detrás.

Por otro lado, la motivación de usar modelos computacionales en Inteligencia Artificial, Robótica e IPO viene por el papel clave de las emociones en el comportamiento humano. Muchos investigadores de estas áreas buscan la integración de emociones similares a las de los humanos para conseguir sistemas inteligentes. Por ejemplo, las emociones sociales pueden ser usadas como un mecanismo que mejore la cooperación en grupo (D Errico y Poggi, 2016) y la interacción social en las aplicaciones IPO (Marsella et al., 2010). En domótica, más específicamente en campos como la inteligencia ambiental, puede resultar útil en un sistema que conserve un estado emocional y existan procesos que regulen dicho estado. Por ejemplo, se puede pensar en un sistema que regule la luz de una casa según el estado emocional del dueño.

Una de las principales desventajas de los modelos computacionales es la falta de adaptabilidad a nuevas situaciones, principalmente porque fueron diseñados para responder de forma predefinida a determinadas situaciones.

El comportamiento dinámico de los agentes surge de experimentar los mismos eventos a lo largo del tiempo, permitiendo dar nuevas respuestas. Por ello, muchos estudios remarcan la importancia de la experiencia, las expectativas y la memoria del agente, necesarios para conseguir un comportamiento adaptativo (LeDoux, 1998).

### 3.3.1. Modelos y arquitecturas más influyentes

Dado que existen muchos modelos de la emoción usados en la computación afectiva, resulta casi imposible compararlos todos con el mismo nivel de profundidad que realizan otras investigaciones. Por esta razón, se ha limitado dicha comparación a aquellos modelos que han tenido mayor influencia en este área, analizando las propiedades generales de cada uno de ellos. Pero antes, se dará una breve introducción de cada modelo:

- **FLAME (Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions)**: es una representación que utiliza lógica difusa para procesar eventos y obtener nuevos estados emocionales. Este modelo está basado en la teoría de OCC e incluye algoritmos para aprender patrones de eventos, relaciones entre objetos y expectativas, entre otros. FLAME es usado para controlar el comportamiento de personajes en entornos virtuales de narración interactiva (El-Nasr et al., 2000).
- **EMA (EMotion and Adaptation)**: se trata de un modelo computacional de la emoción utilizado principalmente para simular respuestas emocionales muy realistas en humanos virtuales (Marsella y Gratch, 2009). Este modelo está muy influenciado por la teoría de Lazarus (Sección 3.2.1).
- **WASABI ((W) Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity)**: es una arquitectura basada en OCC que simula afecto y para ser capaz de simular emociones se añaden agentes virtuales cognitivos (Becker-Asano, 2014).
- **FAtiMA (Fearnot AffectTive Mind Architecture)**: es una arquitectura cognitiva basada en OCC que está especialmente diseñada para crear agentes inteligentes que sean capaces de usar emociones y personalidad con el fin de influenciar su comportamiento y usarse en diversos escenarios. Debido a su complejidad, en 2014 se desarrolló una versión modular y más simple de FAtiMA que solo contiene algunos de sus componentes para hacer más comprensible la arquitectura (Dias et al., 2014).

- **ALMA (A Layered Model of Affect)**: se trata de un framework de programación que implementa el modelo OCC y la teoría dimensional Mehrabian (PAD) e incorpora emociones, estado de ánimo y personalidad (Gebhard, 2005). Esta herramienta permite que los desarrolladores puedan construir sus propios modelos computacionales de emociones para múltiples aplicaciones.

Hay que tener en cuenta que de cada uno de los modelos tiene objetivos diferentes. Algunos están especialmente diseñados para proporcionar una base formal de una teoría, otros pretenden desarrollar una herramienta de programación, como ALMA, y otros modelos como EMA buscan desarrollar una aplicación. Además se puede ver que la teoría de OCC es la más popular entre los modelos.

### 3.3.2. Modelo EMA

El modelo EMA (Marsella y Gratch, 2009) se centra en los métodos necesarios para realizar una clasificación emocional. Para ello, utiliza la representación de la relación persona-entorno de las teorías de la clasificación de la emoción como entrada y salida de los distintos procesos de evaluación. Dicha representación es la visión que tiene cada agente de su relación con el entorno y comprende todo el conjunto de conceptos de teoría de decisiones y planificación tomados de la inteligencia artificial. El modelo interpreta la entrada y los resultados intermedios procedentes de la memoria del agente para obtener procesos encargados de mediar entre los objetivos del agente y su entorno físico. Estos pueden ser procesos rápidos, como identificar el peligro de ser atacado por un león, o un proceso más deliberativo, como formar un plan para escapar del león.

Este modelo se distingue de los demás porque proporciona un modelo computacional de afrontamiento ( *coping* ) en el proceso de clasificación. El objetivo del afrontamiento es determinar cómo responde el agente a los eventos, clasificándolos como deseables o indeseables. Para realizar este método toma en cuenta elementos clave que son tratados en el ámbito de la psicología como creencias, deseos, intenciones o expectativas, que también cambiarán conforme los resultados de la clasificación.

### 3.3.3. FLAME

FLAME (Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions) (El-Nasr et al., 2000) incluye dos nuevas características respecto al modelo de clasificación de eventos OCC en el que está basado (Roseman et al., 1990; Ortony et al., 1990). La

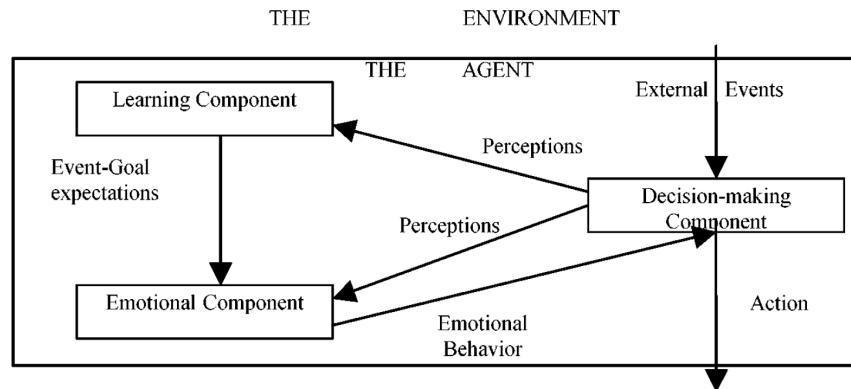


Figura 3.1: Visión abstracta de la arquitectura del agente (El-Nasr et al., 2000)

primera de ellas es la representación de las emociones mediante lógica difusa para realizar un mapeado de eventos y expectativas en comportamientos y estados emocionales a través de reglas. La segunda es la incorporación de técnicas de *machine learning*, de manera que los agentes se relacionen tanto con los objetos y eventos del entorno como con los objetivos y expectativas del usuario, dando lugar a diferentes respuestas.

En cuanto a la arquitectura del modelo, FLAME define tres componentes principales: una emocional, otra de aprendizaje y otra de toma de decisiones. Siguiendo la representación de la arquitectura en la Figura 3.1, el agente percibe eventos externos provenientes del entorno. Estas percepciones son procesadas por las componentes de aprendizaje y emocional. No obstante, la componente emocional utilizará las expectativas y las relaciones entre los eventos y los objetivos para generar las emociones. Además se obtendrá un comportamiento emocional, el cual servirá de entrada para la componente de toma de decisiones. La acción escogida que llevará a cabo el agente tendrá que considerar el estado de ánimo, el estado emocional y el comportamiento emocional obtenidos.

En la Figura 3.2 se observan los procesos que conforman la componente emocional. Como se puede ver, cuando se produce un evento, el agente obtiene información del entorno que se va propagando, de tal forma que la salida producida por cada proceso sirve como entrada para el siguiente. Primero, el proceso de evaluación se encarga de identificar los objetivos que se ven afectados por el evento y de asociar el grado de *impacto* que tiene el evento sobre estos objetivos. A continuación, calcula el nivel de deseabilidad del evento según el *impacto* y la importancia de los objetivos afectados, usando reglas de lógica difusa.

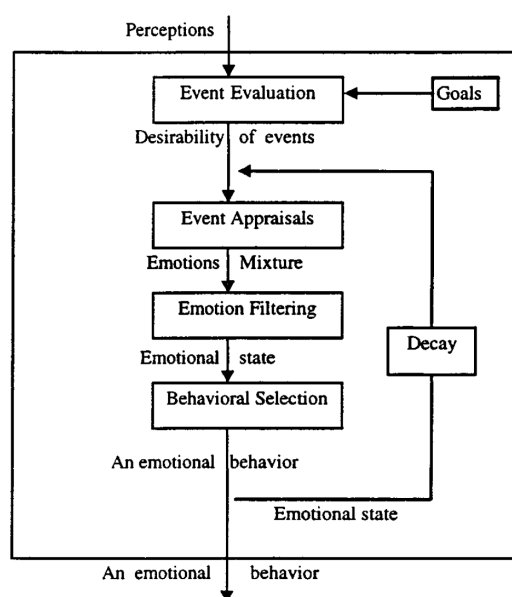


Figura 3.2: Componente del proceso emocional (El-Nasr et al., 2000)

Una vez conseguido, el nivel de deseabilidad se transfiere al proceso de clasificación para calcular el nuevo estado emocional del agente. Posteriormente, la componente de filtrado se encargará de añadir el estado de ánimo del agente para detectar dependencias con las anteriores emociones. Finalmente, se selecciona la reacción del agente ante el evento a partir del estado emocional obtenido en los procesos anteriores. Esta selección se modela a través de reglas de lógica difusa que se verán más adelante. Sin embargo, el estado emocional y la intensidad de sus emociones no serán inmutables hasta que ocurra un nuevo evento, sino que disminuirán conforme el paso del tiempo.

### 3.4. Lógica difusa

Cuando se describe el estado emocional de una persona, es habitual usar adjetivos cuantitativos, como por ejemplo, *Pedro está muy cansado* o *Lucía está un poco enfadada*. El ser humano es capaz de entender e interpretar estos términos lingüísticos sin problemas; sin embargo, para una máquina procesar este tipo de información no resulta trivial debido a la complejidad de expresar palabras con valores objetivos.

Supongamos el siguiente ejemplo: un entrenador de fútbol le da órdenes a

sus jugadores de que cuando estén en posesión del balón, se encuentren *cerca* del área y se dispongan a chutar, deberán centrarse en ajustar el disparo *lejos* del alcance del portero en lugar de aplicar *mucha* fuerza en el tiro. Si consideramos que *cerca* es una distancia entre 0 y 15 metros de la portería y *lejos* está entre 15 y 30, ¿qué ocurriría si el balón se encuentra a 14.99 metros? Considerando los intervalos, un ordenador escogería el intervalo de *cerca* pero esta distancia no se encuentra dentro del de *lejos* por un centímetro. Por otro lado, nuestro razonamiento como humanos nos indica que esa distancia debería estar más asociada al término *lejos* que a *cerca*.

Desde que fue creada, la lógica difusa (ó *fuzzy logic*, en inglés) se utiliza en muchos campos como la Automoción o la Inteligencia Artificial, y dentro de esta última concretamente en áreas como el Procesamiento del Lenguaje Natural, el Aprendizaje Automático, la automatización de Sistemas de Control o el que nos atañe en este trabajo, el modelado computacional. El éxito que tuvo se debe en gran medida a su facilidad para solucionar problemas muy complejos y poco definidos, frente a la dificultad para resolverlos usando los procedimientos tradicionales de la lógica clásica.

### 3.4.1. Características de la lógica difusa

En general, cualquier problema que reciba un conjunto de variables de entrada y obtenga otras de salida se puede resolver mediante lógica difusa. Una de las características por las que es posible, es gracias a la integración de la teoría del conjunto difuso. Por aquella época esta teoría se aplicaba a sistemas empotrados y su objetivo era usar en ellos una propiedad llamada *función de pertenencia*, la cual nos permite saber en qué grado un elemento pertenece a un conjunto. Este método no podría ser posible con la lógica booleana clásica ya que no es *multi-valuada* al tener solo dos grados de pertenencia (cierto o falso) y, por lo tanto, no define estos *grados verdad*.

Al contrario de lo que ocurre en probabilidad, el grado de pertenencia sólo representa las similitudes de un evento con respecto a otro, tal y como se ilustró en el ejemplo de la introducción, decidiendo si la pelota estaba *cerca* o *lejos*. No proporciona frecuencias de los acontecimientos, básicamente porque las propiedades de los eventos no están claramente definidas. A pesar de esta poca precisión, la representación de la información resulta bastante sencilla si se hace uso de las reglas *if-then*, propias de la teoría de conjuntos, que se verán más adelante.

### 3.4.2. Conjuntos difusos

La primera vez que apareció el término de conjunto difuso fue de la mano de Lotfi A. Zadeh y su teoría de conjuntos difusos (Klir y Yuan, 1995). Surgió como resultado de una generalización de la teoría de conjuntos y su función principal es asociar los valores de pertenencia de un elemento en un conjunto. De este modo una proposición no es totalmente falsa o cierta, sino que puede ser parcialmente satisfecha. A este proceso de asociación se le conoce con el anglicismo de *fuzzificación*.

Los conjuntos difusos pueden verse como un caso general de los conjuntos normales o *crisp*. Sean  $x$  los elementos del  $X$  dominio del discurso y  $C$  un conjunto, los conjuntos *crisp* se pueden definir con su función característica de la siguiente forma:

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

Donde 1 indica que el elemento  $x$  pertenece al conjunto  $C$  y 0, en caso contrario.

La lógica difusa se trata de una lógica multi-valuada, por lo que es necesario emplear un rango para definir los valores continuos que puede tener dicho elemento. Si a la función anterior le aplicamos un caso más general de manera que sea posible utilizar este rango de valores para indicar el grado de pertenencia de los elementos en el conjunto, se obtendrá la *función de pertenencia*  $\mu_A$  de un conjunto difuso  $A$  que tiene la siguiente definición:

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

Donde  $\mu_A(x) = 1$  indica que  $x$  está totalmente en  $A$ ,  $\mu_A(x) = 0$  es el caso opuesto donde  $x$  no está en  $A$  y  $0 < \mu_A(x) < 1$  si  $x$  está parcialmente en el conjunto  $A$ . De esta manera se define el *grado de pertenencia* de un elemento  $x$  en un conjunto difuso  $A$ .

Además, las funciones de pertenencia permiten representar de manera gráfica los conjuntos difusos. Cuando los cálculos no son muy complejos, es habitual escoger funciones sencillas para facilitar las operaciones del sistema. Las más utilizadas son las funciones triangulares y trapezoidales porque tienen parámetros que pueden ajustarse para conseguir el dominio deseado. Las funciones triangulares están definidas de la forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{si } m < x < b \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

Donde los parámetros  $a$  y  $b$  actúan de límite inferior y superior, respectivamente. El valor medio  $m$  estable es el punto máximo de la función, la cual puede ser asimétrica (Figura 3.3a). La función trapezoidal añade un parámetro más a su definición para completar la forma de un trapecioide:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x < a) \text{ ó } (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } c \leq x \leq d \end{cases}$$

Donde los parámetros  $a$  y  $d$  que actúan de límite inferior y superior, respectivamente, y los parámetros  $b$  y  $c$  actúan de máximos de los límites inferior y superior, respectivamente (Figura 3.3b). La función triangular se puede ver como un caso particular de la función trapezoidal en el que los valores  $b$  y  $c$  son equivalentes. Otros casos particulares son aquellos en que la función trapezoidal puede tomar valores infinitos por algún extremo:

- Si los parámetros  $a$  y  $b$  toman valores infinitos y negativos (Figura 3.3c), entonces la función se define de la forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x > d \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } c \leq x \leq d \\ 1 & \text{si } x < c \end{cases}$$

- Si los valores  $c$  y  $d$  toman valores infinitos y positivos (Figura 3.3d), entonces la función se define como:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{si } x > b \end{cases}$$

Las operaciones de complemento, unión e intersección de los conjuntos clásicos se pueden aplicar también a los conjuntos difusos, aunque de una forma más genérica y considerando el grado de pertenencia dentro del rango  $[0,1]$ . Además, los conjuntos difusos conservan las mismas propiedades que los conjuntos *crisps*, tales como conmutatividad, asociatividad, distributividad, transitividad, idempotencia y las leyes de De Morgan.

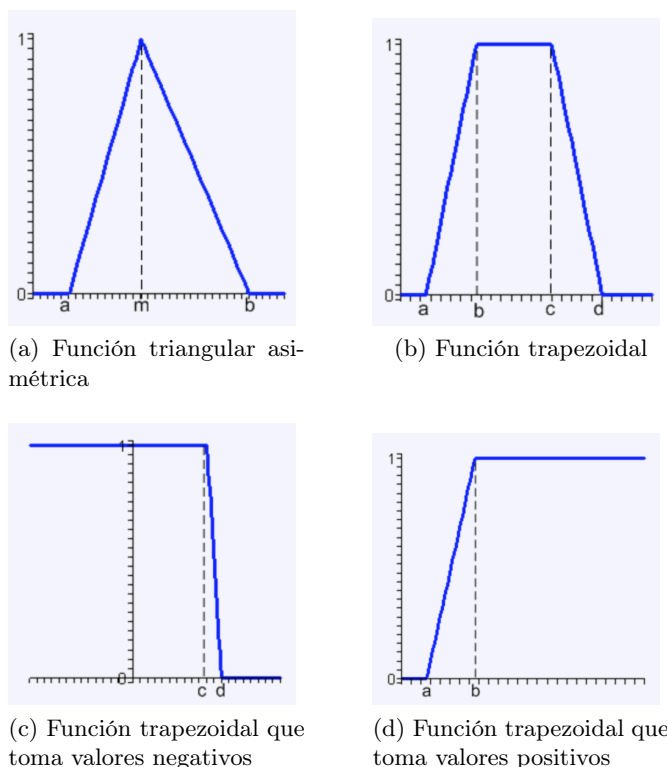


Figura 3.3: Representación de las funciones de pertenencia.

### 3.4.3. Uso de variables lingüísticas en reglas difusas

Las variables lingüísticas son variables que representan elementos sin una definición clara, a través de palabras o sentencias en un lenguaje natural. Principalmente, se componen de un término primario y un modificador. Habitualmente, para construir conjuntos difusos se usan los términos primarios (alto, fuerte, triste, etc.) y, a partir de ellos, se utilizan los modificadores (muy, demasiado, un poco, etc.) para calcular los demás conjuntos difusos de términos compuestos. Por ejemplo, en la Figura 3.4 se muestra la variable lingüística *altura* que tiene los conjuntos difusos como *muy bajo*, *bajo*, *medio*, *alto* y *muy alto* para representar valores que puede tomar la variable.

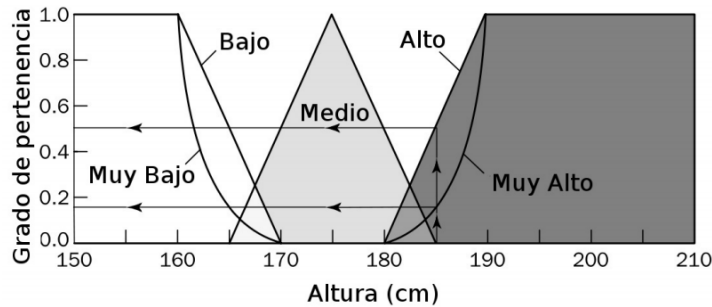


Figura 3.4: Uso del modificador *muy* para determinar el grado de pertenencia de la altura.

El principal uso de este tipo de variables se da en las reglas difusas ya que pueden dar un significado matemático a oraciones como *El coche es extremadamente lento* o *Juan está muy triste*. Este tipo de variables resulta muy útil cuando tenemos un sistema complejo que debe ejecutar una función que no está explícitamente programada. Si se utilizan variables lingüísticas para representar los hechos, podemos realizar preguntas para las que el sistema debe pueda devolver una respuesta. Por ejemplo, si se conocen las premisas *Pedro es millonario* y *Los millonarios tienen mucho dinero*, se podría preguntar: *¿Pedro tiene mucho dinero?*

Para representar oraciones de lenguaje natural en términos de variables lingüísticas se usan *proposiciones difusas*. Este concepto se basa en sustituir las posibles variables y sus correspondientes valores por símbolos que ayuden a procesar las premisas. Por ejemplo, el hecho *Pedro no es millonario*, se puede representar como *P no es M*, ayudándose del conector lógico *no*. Esta transformación facilita el procesamiento de hechos mediante las llamadas *reglas difusas* expresadas de la siguiente en forma de sentencia *if-then*:

IF <proposición\_difusa> THEN <proposición\_difusa>

En las reglas clásicas, si se cumple el antecedente entonces también se cumplirá el consecuente. Por el contrario, las proposiciones difusas son válidas dependiendo del grado de pertenencia ya que no están limitadas a cierto o falso, sino que se pueden cumplir parcialmente. Del mismo modo, el consecuente podrá ser cierto según el grado. Por ejemplo, en la Figura 3.4 una altura de 185 cm tendría un grado de pertenencia de 0.5 en el conjunto difuso *muy alto*. Si además consideramos la regla *IF altura IS muy alto THEN peso IS muy pesado*, sabríamos que dicha altura haría cierta la proposición difusa del antecedente. El grado de pertenencia que tomará la variable *peso*

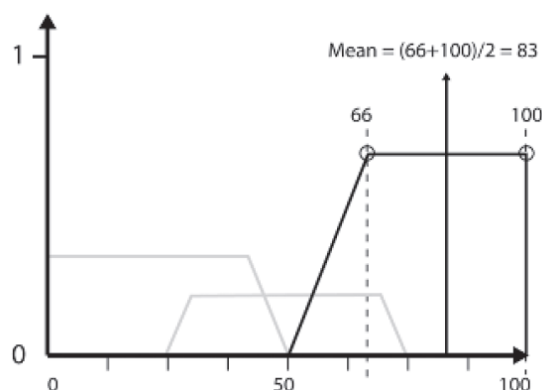


Figura 3.5: El método de la media del máximo determina un valor de 83.

del consecuente se puede estimar del método de inferencia difusa, el cual se encarga de obtener un valor de salida a partir de uno de entrada utilizando la teoría de conjuntos difusos.

Uno de los tipos de inferencia más influyentes es la inferencia de Mamdani (Pourjavad y Mayorga, 2017), usada en la mayoría de modelos computacionales de emociones como es el caso de FLAME. Dado que el sistema descrito en este documento está basado en este modelo, conviene explicar más en detalle los cuatro pasos que sigue la inferencia de Mamdani:

- Paso 1 Fuzzificar las variables de entrada:** En primer lugar, se debe transformar los valores *crisp* de las variables de entrada y calcular el grado de pertenencia que poseen en cada uno de los conjuntos difusos definidos previamente.
- Paso 2 Evaluar las reglas difusas con los datos fuzzificados:** Una vez obtenidas las variables difusas de entrada, se evalúan todas las reglas comprobando si se cumplen los antecedentes. En caso de que una regla se componga de muchos antecedentes, para conseguir el resultado de la evaluación se aplicará el mínimo de los valores comprendidos entre operadores AND o el máximo entre operadores OR. Este valor final obtenido se utilizará para determinar el conjunto difuso al que pertenece el consecuente.
- Paso 3 Obtener variables de salida a partir de las reglas:** A continuación, se deben combinar los grados de pertenencia resultantes de todos los consecuentes, de manera que se obtenga un único conjunto difuso por cada una de las variables de salida.
- Paso 4 Defuzzificar los resultados:** Finalmente, se debe realizar el

proceso contrario a la fuzzificación llamado defuzzificación, el cual consiste en transformar los conjuntos difusos del paso anterior en valores crisp de salida. Existen múltiples técnicas para realizar este proceso entre las que destacan la Media del Máximo (MoM) y el Centro del Área (CoA). El método de la Media del Máximo calcula la media de los valores más altos del conjunto difuso, donde el grado de pertenencia sea el máximo posible (Figura 3.5). La técnica del Centro del Área o *centroide* es más precisa pero también más difícil de calcular, ya que la salida final es el resultado de calcular el centro de gravedad del área total del conjunto difuso. Se define con la fórmula:

$$COA = \frac{\int_x \mu_A(x)x \, dx}{\int_x \mu_A(x) \, dx}$$

### 3.5. Estado de ánimo

El estado de ánimo (o *mood*, en inglés) es una situación emocional en un momento determinado y cuya duración es más prolongada que las emociones (puede durar horas o días). En el ámbito de los modelos computacionales permite añadir un filtro al proceso de modelado de las emociones, de manera que la respuesta emocional obtenida sea lo más realista posible. Tradicionalmente, el estado del ánimo se ha modelado como una parte de estado emocional, es decir, como si se tratara de una emoción más. Sin embargo, se distingue de las emociones porque refleja un estado emocional más estable y duradero de un individuo.

Cada modelo interpreta el estado de ánimo y lo define según la teoría psicológica en la que se base. Por ejemplo, ALMA (Gebhard, 2005) lo define desde el punto de vista de la teoría dimensional de Mehrabian (Mehrabian, 1995) como *un promedio del estado emocional de una persona en un muestra significativa de variedad de situaciones de la vida diaria*. Esta teoría también es una de las más populares en los modelos computacionales de la emoción más recientes debido a su simplificación del mood en tres rasgos: placer (*Pleasure*), excitación (*Arousal*) y dominancia (*Dominance*). Estas tres características forman un espacio tridimensional para el estado de ánimo en el que cada una de las dimensiones se mide en rangos que van desde -1,0 a 1,0. Por tanto, se pueden establecer distintas combinaciones para clasificar los estados de ánimo como se puede ver en la Tabla 3.1, en la cual +P y -P se utiliza para placentero y desagradable, +A y -A para excitante y apacible, y D y -D para dominante y sumiso.

+P+A+D Exuberante	-P-A-D Aburrido
+P+A-D Dependiente	-P-A+D Desdeñoso
+P-A+D Relajado	-P+A-D Ansioso
+P-A-D Dócil	-P+A+D Aburrido

Tabla 3.1: Estado de ánimo según el espacio PAD

Entonces, cada uno de los estados de ánimo se define por un valor en cada una de las dimensiones de placer, excitación y dominancia. Por ejemplo, una persona tiene un estado de ánimo relajado si el valor del rasgo de placer es positivo, el valor del rasgo de excitación es negativo y el valor de la dominancia es positivo. A partir de estos datos, se puede establecer un mapeado del espacio de estado de ánimo y las emociones que se consideren si se fija un valor concreto para cada dimensión en cada estado de ánimo. Además, es posible establecer conjuntos de valores para definir variaciones de los estados, como por ejemplo *completamente relajado* o *moderadamente aburrido*.

Sin embargo, en la sección anterior ya se vió cómo es una mejor práctica utilizar la lógica difusa para manejar conjuntos que puedan describir el lenguaje humano y ser comprendidos por las máquinas. El modelo PAD es muy útil porque los valores que se han de fijar los define el usuario según los resultados que pretenda obtener. No obstante, el mapeado se hace más complejo cuanto mayor es el número de emociones. En ese caso, los valores deberán ser calculados con precisión para que el estado emocional que se obtenga sea consistente. Con la lógica difusa no es necesario prefijar nada más que los conjuntos difusos en los que se van a clasificar las emociones y establecer las reglas que se procesan para comprobar en qué conjunto se encuentra cada emoción.

### 3.6. Personalidad

La personalidad en agentes virtuales puede ser expresada de muchas formas, en el propio lenguaje (Mairesse y Walker, 2010), la expresión facial (Bee et al., 2010) y también en el comportamiento no verbal, a través de gestos (McRorie et al., 2012) por ejemplo. No usar rasgos de personalidad en los agentes implicaría que su comportamiento sería de la misma manera ya que no tienen rasgos o cualidades que los diferencien de los demás.

Las teorías de la personalidad siempre han intentado precisar exactamente cuántos rasgos de personalidad existen. Gordon Allport propuso una lista de más 4000 rasgos (Allport, 1937), Raymond Cattell 16 factores de perso-

alidad (Cattell, 1957) y Hans Eysenck los resumió en una teoría de sólo tres factores (Eysenck, 1991). Muchos investigadores consideraron que la teoría de Cattell era demasiado complicada y la de Eysenck tenía un alcance demasiado limitado. Como resultado de estas investigaciones surgió la teoría que se conoce en el estudio de la psicología como el *Modelo de los cinco grandes* (en inglés, *Big Five*).

El *Big Five* (Barrick y Mount, 1991) es un patrón que examina la estructura de la personalidad, a partir de cinco factores o rasgos personales representados en cinco dimensiones: extraversión, amabilidad, apertura a la experiencia, responsabilidad y neuroticismo. Cada una de las cinco dimensiones de la personalidad representa un rango entre dos extremos. Por ejemplo, extraversión representa el rango continuo entre el rasgo más extrovertido y el más introvertido. A continuación se describen brevemente las características de cada una de las dimensiones.

- **Apertura a la experiencia:** las personas que tienen este rasgo tienden a tener curiosidad sobre el mundo y otras personas y están ansiosas por aprender cosas nuevas y disfrutar nuevas experiencias. Por el contrario, las personas poco abiertas son mucho más tradicionales y se resisten a nuevas ideas porque no les gusta el cambio.
- **Responsabilidad:** en esta dimensión, las personas que son responsables tienen el control sobre sus impulsos, planifican sus tareas con anticipación y piensan cómo su comportamiento puede afectar a los demás. En el lado opuesto, las personas poco responsables obvian las tareas importantes y, en general, no completan aquellas cosas que se supone que deben hacer.
- **Extraversión:** las personas que tienen un alto nivel de extroversión tienden a ser más sociables, disfrutan conocer gente nueva e iniciar conversaciones. Las personas introvertidas son más reservadas y encuentran difícil iniciar una conversación. Prefieren la soledad porque los eventos sociales pueden resultar agotadores para ellos.
- **Amabilidad:** también conocida como la dimensión agradable, las personas que tienen un alto nivel de amabilidad tienden a ser más cooperativas y sienten empatía y preocupación por otras personas, mientras que las que tienen un nivel bajo son más competitivas y pueden llegar a insultar o menospreciar a los demás.
- **Neuroticismo:** en el nivel alto de esta dimensión, las personas tienden a irritarse y ponerse tristes más fácilmente y además suelen experimentar cambios drásticos en el estado de ánimo. Por el contrario, una persona que no es neurótica es emocionalmente estable y raramente se sienten tristes o deprimidos.

El esquema del *Big Five* es utilizado en los modelos computacionales más modernos que consideran la personalidad para la simulación de emociones. Por ejemplo, ALMA (Gebhard, 2005) lo utiliza en el perfil de personalidad de su sistema y lo relaciona con las emociones y el estado de ánimo mediante un mapeado de valores que se ajuste al modelo tridimensional PAD sobre el que se basa su arquitectura.

### 3.7. Conclusiones

En el estado la cuestión hemos visto las teorías de la emoción sobre las que se asientan los modelos computacionales. La más popular de las teorías de clasificación era la teoría de OCC, en la cual está basada en el modelo FLAME. Además, se ha visto que existen muchos trabajos relacionados con emociones pero ninguno de ellos utiliza lógica difusa para combinar emociones con estado de ánimo y personalidad. La lógica difusa se ofrece como una alternativa más completa para modelar emociones respecto al modelo PAD sobre el que se asientan los modelos computacionales actuales. En cuanto a la personalidad, el modelo más estandarizado y más utilizado en agentes virtuales es el *Big Five*.

Este trabajo se centrará en conseguir la manera de combinar la lógica difusa de la simulación de emociones más básica de FLAME con una componente de estado de ánimo más compleja y con la personalidad que le falta a la mayoría de los trabajos más recientes.



## Capítulo 4

# Diseño del modelo interno para personajes virtuales

### 4.1. Introducción

En este capítulo se describen los métodos que se han adoptado para construir el sistema propuesto. El objetivo del proyecto es construir un modelo de personajes virtuales que sean capaces de simular emociones a partir de eventos que suceden en un entorno virtual. Esta simulación se consigue mediante técnicas de lógica difusa (sección 3.4) y ecuaciones de modelado computacional que se mostrarán más adelante. Además, el sistema incorpora componentes que permiten filtrar las emociones y obtener un estado emocional más complejo incluyendo el estado de ánimo y la personalidad que se le haya asignado al agente.

El sistema propuesto considera el modelo computacional FLAME (sección 3.3.3) como base para la obtención de las emociones según los eventos que se producen en el entorno virtual. Los eventos de la aplicación surgen de diversas formas, ya sea cuando se produce una acción sobre un objeto del entorno o durante la interacción con otro personaje. En el caso de las acciones sobre los objetos, debe existir una relación entre el objeto y un personaje para simular una emoción sobre él. Por ejemplo, si el jugador *coge* un refresco de la barra de la cafetería, puede ocurrir que su dueño se enfade porque entiende que se la está *robando*. Si no existe ningún personaje que esté relacionado con ese refresco, el evento no tendrá ningún efecto sobre la aplicación, más allá de que el jugador obtenga un nuevo objeto.

La arquitectura de FLAME define tres componentes para obtener nuevos estados emocionales cuando se producen eventos: una emocional, otra de

aprendizaje y una última de toma de decisiones. La componente emocional consta de cuatro procesos (Figura 3.2) que producen un comportamiento como resultado final de salida. En este proyecto se conserva la estructura de la componente emocional pero no se utilizan todos los procesos de los que dispone ya que los agentes de la aplicación no están dotados de un comportamiento como respuesta al evento. Por ello, las componentes de aprendizaje y toma de decisiones no se incorporan al sistema propuesto ya que la respuesta del agente se basa únicamente en la simulación del estado emocional. En las secciones siguientes se explicará cómo se ha llevado a cabo la implementación de la componente emocional.

A continuación, se detallan las principales características y mecanismos del modelo computacional de emoción, y la relación que tienen sus componentes entre sí para determinar el estado emocional. Posteriormente, se explicarán las técnicas utilizadas para crear un modelo más complejo que integre un estado de ánimo y personalidad con el modelo computacional FLAME.

## 4.2. Emociones

Según el modelo FLAME, los agentes de un entorno virtual reciben información del propio entorno mediante eventos que se producen en él. Esta información se conoce como *percepciones*, las cuales son pasadas a la componente emocional y la componente de aprendizaje. La componente emocional procesará las percepciones y usará también las salidas de la componente de aprendizaje para simular un estado emocional, incluyendo las expectativas que tenga el personaje de que el evento ocurra y las relaciones entre los eventos que se producen en el entorno virtual y los objetivos del agente. La forma de estimar la expectativa en FLAME se realiza mediante algoritmos de aprendizaje inductivo y aprendizaje automático para obtener relaciones entre información del entorno, como pueden ser los objetos del juego, y entre eventos y objetivos.

El sistema propuesto conserva la estructura de la componente emocional para el modelado de las emociones. Sin embargo, en el entorno virtual que se está tomando como referencia, los objetos del juego y los personajes están limitados. Por ello, utilizar una componente de aprendizaje automático en un entorno pequeño no daría buenos resultados en el cálculo de la expectativa del evento. De este modo, se ha decidido prescindir de esta componente y obtener la expectativa en función de la repetición de los eventos. Cuantas más veces se experimente un mismo evento, su expectativa de ocurrencia aumentará y, en caso contrario, disminuirá. Esta medida cumple con el objetivo de

la expectativa del evento, que no es otro que reducir la intensidad de las emociones durante la simulación del estado emocional cuando un evento se repite muy a menudo.

El primer proceso de la componente emocional de FLAME que se lleva a cabo es la *evaluación del evento* (Figura 3.2) en el que el sistema captura y procesa las variables del entorno cuando se produce un evento. En el sistema propuesto, esta evaluación consta de dos pasos secuenciales al igual que sucede en FLAME. Primero, se determinan los objetivos que son afectados por el evento y el grado de impacto que el evento tiene sobre esos objetivos. Segundo, se computan reglas para obtener un nivel de desabilidad del evento de acuerdo al impacto calculado en el primer paso y la importancia de los objetivos involucrados. Por tanto, el proceso de evaluación del evento describe tres variables para determinar el estado emocional:

- **Importancia:** Esta variable expresa el grado de importancia de los objetivos del agente y que son afectados por el evento.
- **Impacto:** Esta variable representa el grado de impacto que tiene el evento sobre los objetivos del agente.
- **Deseabilidad:** Esta variable indica el nivel de deseabilidad del evento de acuerdo con la importancia y el impacto.

Todos los agentes capaces de simular emociones cuentan con objetivos predefinidos que constan de un valor de *importancia* para el personaje asociado a cada uno de ellos. Durante el proceso de evaluación, primero se identifican todos aquellos objetivos que se ven afectados cuando se produce un evento. Después, se fuzzifica la variable de importancia de cada uno de ellos usando conjuntos difusos, según la precisión que se quiera aplicar a la clasificación de los valores crisp. Sin embargo, también es necesario considerar que el proceso de inferencia se tornará más complejo si se aumenta la granularidad de los conjuntos. En este caso, se ha llegado a la conclusión de que para clasificar la importancia de los eventos es suficiente con utilizar tres conjuntos: *NotImportant*, *SlightlyImportant* y *ExtremelyImportant* (Figura 4.1).

Tras calcular la importancia del evento, se procede a asociar un grado de *impacto* que produce el evento sobre los objetivos. Dada la repercusión de los objetivos del personaje en el modelo, es necesario aplicar mayor precisión que en la importancia de los objetivos, por lo que se debe describir con la ayuda de más conjuntos difusos, aunque esto suponga añadir más complejidad al proceso de inferencia. En este caso, se usan cinco conjuntos difusos: *HighlyPositive*, *SlightlyPositive*, *NoImpact*, *SlightlyNegative* y *HighlyNegative* (como se puede ver en la Figura 4.2).

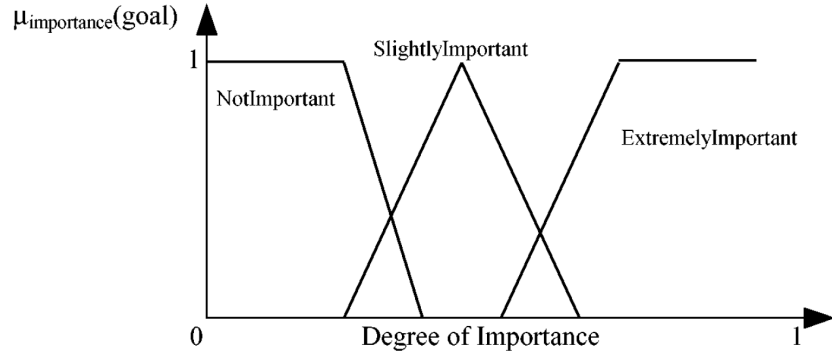


Figura 4.1: Funciones de pertenencia de la variable importancia.

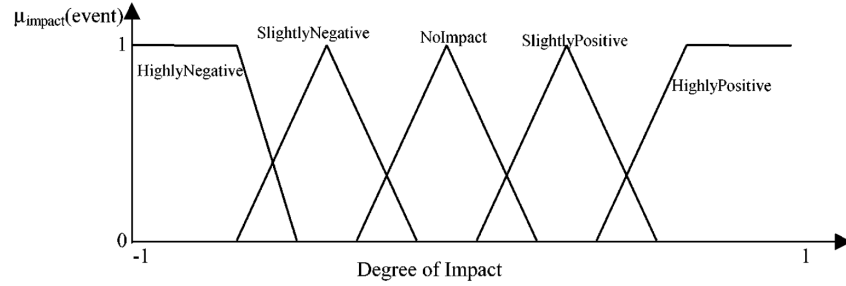


Figura 4.2: Funciones de pertenencia de la variable impacto.

Finalmente, el nivel de *deseabilidad* del personaje cuando ocurre el evento se calcula dependiendo del *impacto* y la importancia de los objetivos afectados. Siguiendo la complejidad de las anteriores variables, la *deseabilidad* se puede medir en *HighlyUndesired*, *SlightlyUndesired*, *Neutral*, *HighlyDesired*, *SlightlyDesired* (Figura 4.3). El cálculo de la deseabilidad está basado en reglas difusas (sección 3.4.3) y son de la forma:

```

IF Impacto( $G_1$ ,  $E$ ) is  $A_1$ 
AND Impacto( $G_2$ ,  $E$ ) is  $A_2$ 
...
AND Impacto( $G_k$ ,  $E$ ) is  $A_k$ 
AND Importancia( $G_1$ ) is  $B_1$ 
AND Importancia( $G_2$ ) is  $B_2$ 
...
AND Importancia( $G_k$ ) is  $B_k$ 
THEN Deseabilidad( $E$ ) is  $C$ 

```



Figura 4.3: Funciones de pertenencia de la variable deseabilidad.

Donde  $G_i$  es un objetivo,  $E$  representa el evento que ha causado que se procesen las reglas y  $k$  es el número total de objetivos, de manera que  $G_k$  es el último objetivo del personaje a procesar. El *impacto*, la *importancia* y la *deseabilidad* son variables que miden factores diferentes y que dependen un objetivo  $G_i$  y de un evento  $E$  que puede estar relacionado con él. El impacto mide cuánto afecta el evento  $E$  sobre todos los objetivos  $G_i$  del personaje, la importancia mide cómo de importante es completar el objetivo para el personaje y la deseabilidad mide cómo de deseable es un evento  $E$ . Aplicando la función de pertenencia del impacto y la importancia, se obtienen conjuntos difusos que pueden ser comparados trivialmente en los antecedentes de la regla con  $A_i$  y  $B_i$ . Si se cumplen todos, se asocia el conjunto  $C$  a la deseabilidad del evento  $E$ . En resumen, la regla difusa anterior quiere decir que si los objetivos  $G_i$ , afectados por el evento  $E$ , tienen un grado de pertenencia que se corresponde con un conjunto  $A_i$ , y su importancia toma un valor dentro de un conjunto  $B_i$ , entonces la deseabilidad del evento se corresponde con otro conjunto difuso  $C$ .

Se tomará en cuenta un ejemplo que podríamos encontrar dentro de la aplicación para aclarar el procesamiento de la regla. Imaginemos que un personaje se encuentra pidiendo un refresco en la cafetería de la facultad. De repente, otro personaje se acerca, ve su teléfono móvil situado encima de la barra y decide quedárselo. Este evento puede afectar severamente a los objetivos del personaje y tiene un *impacto* negativo si, por ejemplo, pretendía enviar un mensaje urgente o, simplemente, no perder su propio teléfono. Por lo tanto, se puede ver claramente que el robo del móvil se va a tratar de un evento indeseable. La regla difusa tendría el aspecto siguiente:

IF *Impact*(enviar mensaje al vicedecano, robo del móvil) is *HighlyNegative*  
 AND *Importance*(enviar mensaje al vicedecano) is *ExtremelyImportant*  
 THEN *Desirability*(robo del móvil) is *HighlyUndesired*

Para construir y procesar las reglas respetando las propiedades de los conjuntos clásicos y permitir que su desarrollo no sea excesivamente complicado, dependiendo de la técnica de defuzzificación empleada entre otros factores, se ha escogido el modelo Mandani (sección 3.4.3) implementado también en FLAME. Este método permite construir reglas del tipo IF-THEN y anidar más antecedentes (IF) para hacer reglas aún más complejas. La simplicidad de los pasos bien definidos de este modelo facilita la obtención de un valor *crisp* final a partir de distintos procesos de fuzzificación y defuzzificación.

Como se explicó anteriormente, este sistema toma como referencia para su implementación al modelo FLAME. Sin embargo, se ha considerado introducir cambios sobre él que mejoren el funcionamiento del sistema propuesto. Una de estas modificaciones la encontramos en el método de defuzzificación empleado por FLAME: el centro del área (CoA) (sección 3.4.3). Este método es una de las técnicas más precisas para calcular el valor *crisp* a partir de un conjunto difuso, pero a su vez, es también una de las más complejas de implementar. Dado que este sistema considera cinco emociones básicas (alegría, tristeza, miedo, ira y sorpresa) de las 24 contempladas por FLAME, se ha optado por utilizar una técnica de defuzzificación más sencilla y fácil de manejar, aunque menos precisa como es la de la media del máximo (MoM). El resultado que produzca este método es un número que se usa como medida de la deseabilidad de los eventos, utilizada para determinar la intensidad de las emociones mediante las fórmulas que se verán más adelante.

#### 4.2.1. Clasificación de las emociones

Una vez se ha identificado la expectativa del evento y se han procesado todas las reglas y, por tanto, calculado el conjunto difuso correspondiente a la deseabilidad de los eventos, entonces se procede a calcular el estado emocional de un agente a partir de ecuaciones de *affecting computing* que dependen de la expectativa y deseabilidad. El origen de estas ecuaciones tiene lugar en las relaciones que existen entre las emociones y la deseabilidad de un evento, basadas en las definiciones que proporciona la investigación de Ortony (Ortony et al., 1990) y se muestran en la Tabla 4.1. FLAME cuenta con un total de 24 emociones, de las cuales únicamente 14 se han simulado siguiendo dicho modelo. Las emociones restantes, como el odio o el amor, se han implementado considerando las acciones que pueden tomar otros agentes para ayudar a conseguir los objetivos o, por el contrario, entorpecer el camino hasta alcanzarlos.

El sistema propuesto considera la deseabilidad y expectativa de un evento como variables necesarias para el cálculo de la intensidad de las emociones. Sin embargo, variables como la implicación de otros agentes en las tareas

Emoción	Regla
Alegría	Ocurrencia de un evento deseable
Tristeza	Ocurrencia de un evento indeseable
Decepción	Ocurrencia de un evento deseable no confirmado
Alivio	Ocurrencia de un evento indeseable no confirmado
Esperanza	Ocurrencia de un evento deseable no confirmado
Miedo	Ocurrencia de un evento indeseable no confirmado
Orgullo	Acción realizada por el agente y aprobada por los demás agentes
Vergüenza	Acción realizada por el agente y desaprobada por los demás agentes
Reproche	La acción es hecha por otro y no es aprobada por los estándares de los agentes
Admiración	Acción realizada por el otro y aprobada por los estándares de los agentes
Ira	Emoción compleja: tristeza + reproche
Gratitud	Emoción compleja: alegría + admiración
Gratificación	Emoción compleja: alegría + orgullo
Remordimiento	Emoción compleja: tristeza + vergüenza

Tabla 4.1: Reglas para el modelado de emociones en FLAME

de los demás o la aprobación o desaprobación de una acción por estándares establecidos en todos los agentes quedan fuera del alcance de este trabajo. La intención de tomar como referencia al modelo computacional de FLAME no es conseguir una implementación fiel a cada uno de los pasos que se indican, sino valorar si es conveniente incluir ciertos aspectos necesarios para combinar emociones, personalidad y estado de ánimo.

Por lo tanto, se ha decidido tomar una muestra de las emociones de FLAME que no incluyan estos aspectos tan complejos que se desvían del verdadero objetivo de este trabajo. Se han escogido las siguientes emociones básicas y algunas complejas que surgen de la combinación de emociones básicas: el miedo, la ira, la alegría, la tristeza y la sorpresa (Tabla 4.2).

Las emociones de felicidad, tristeza y miedo están modeladas según las ecuaciones de Price (1985) y adaptadas para usarlas con las variables de deseabilidad y expectativa. Sin embargo, la ira es una emoción más compleja que depende de una combinación de tristeza y reproche, el cual está definido como una acción que realiza un agente y no está *aprobada* por el resto.

Por ejemplo, en el caso de este proyecto una acción *reprochable* sería el hecho de robar un teléfono móvil, ya que robar se puede entender como un acto negativo para todos los agentes. Esto produciría ira en todos los

agentes y no solo en el dueño del objeto. Por ello, se propone que en lugar de una combinación con la emoción de reproche, la ira debe estar en función de la tristeza y el miedo. La sorpresa es una emoción no contemplada por FLAME, pero finalmente se ha introducido en el modelo propuesto para completar el conjunto de emociones básicas de las teorías discretas de la emoción (sección 3.2).

Emoción	Regla
Alegría	Ocurrencia de un evento deseable
Tristeza	Ocurrencia de un evento indeseable
Miedo	Ocurrencia de un evento indeseable no confirmado
Ira	Emoción compleja: miedo + tristeza
Sorpresa	Ocurrencia de un evento inesperado deseable o indeseable

Tabla 4.2: Base teórica para el modelado de emociones

Adicionalmente, al comienzo de la implementación, se trabajó con la emoción neutral que indicaba cómo de *insensible* puede ser un agente ante un evento, a través de la media de la intensidad de todas las emociones tras producirse el evento. La inclusión de neutral se realizó antes de completar el estado del ánimo, componente que parte de esta base para su cómputo pero con una función más compleja, la cual se explicará más adelante.

Finalmente, se decidió excluirla debido a que su representación gráfica de la intensidad emocional crecía de manera inversa a la de las demás emociones. En la gráfica de un agente con la máxima intensidad de neutral (personaje muy neutral) se mostraba el valor máximo 100 mientras que en el resto de emociones tendría que aparecer el mínimo 0. A medida que la intensidad del miedo, ira, alegría, sorpresa o tristeza crecía, el valor de neutral disminuía por ser menos neutral. Esta representación de la neutralidad podía confundir a los usuarios que fueran a evaluar la aplicación, así que se optó por prescindir de su representación gráfica en la evaluación pero mantener su funcionalidad transparente al usuario.

#### 4.2.2. Ecuaciones de la intensidad emocional

Después de establecer las bases teóricas para el modelado de las emociones, es posible construir las ecuaciones que calculan la intensidad de las emociones en función de las variables de deseabilidad y expectativa del evento obtenidas durante el procesamiento de las reglas. Las ecuaciones están formuladas por Price (Tabla 4.3) y cada una de ellas utilizan factores fijos que dieron buenos resultados durante su investigación.

Emoción	Ecuación
Alegría	$(1,7 \times \text{expectativa}^{0,5}) + (-0,7 \times \text{deseabilidad})$
Tristeza	$(2 \times \text{expectativa}^2) - \text{deseabilidad}$
Decepción	$\text{Esperanza} \times \text{deseabilidad}$
Alivio	$\text{Miedo} \times \text{deseabilidad}$
Esperanza	$(1,7 \times \text{expectativa}^{0,5}) + (-0,7 \times \text{deseabilidad})$
Miedo	$(2 \times \text{expectativa}^2) - \text{deseabilidad}$

Tabla 4.3: Ecuaciones de modelado de emociones en FLAME

Después de desarrollar la implementación de este sistema y realizar varias pruebas previas a la evaluación, las constantes de las fórmulas se modificaron para mejorar el funcionamiento de la aplicación. En el caso de emociones no consideradas por FLAME (sorpresa) o cuyas ecuaciones no están definidas (ira), la solución adoptada conserva la misma estructura que el resto de las fórmulas, las cuales se muestran en la Tabla 4.4.

### 4.2.3. Inhibición de las emociones

Una vez determinado el estado emocional según las ecuaciones, es necesario determinar cómo afectan ciertas emociones a otras. Por ejemplo, la tristeza habitualmente está afectada por emociones como la ira o el miedo (Bolles y Fanselow, 1980). En general, las emociones con mayor intensidad tienden a predominar sobre las demás, por lo que es necesario un proceso de filtrado que indique la influencia en la simulación de las emociones y a partir de que punto puede influir una emoción a otra.

Emoción	Ecuación
Alegría	$(1,2 \times \textit{expectativa}^{0,5}) + (-0,6 \times \textit{deseabilidad})$
Tristeza	$(2 \times \textit{expectativa}^2) - \textit{deseabilidad}$
Miedo	$(2 \times ((1 - \textit{expectativa}) / 4)^2) - \textit{deseabilidad} / 2$
Sorpresa	$ \textit{expectativa}  \times (1 + \textit{deseabilidad})$
Ira	$(\textit{Miedo} \times \textit{Tristeza}) + \textit{expectativa} / 2$

Tabla 4.4: Ecuaciones de modelado de emociones utilizadas en el proyecto

La relación entre dos o más emociones que pueden reprimir la intensidad de otras emociones se conoce como inhibición. Algunos modelos utilizan técnicas en las que se inhiben las emociones que sean más débiles y contrarias a las que tienen mayor intensidad (Velsquez, 1997). Por ejemplo, la tristeza tendería a inhibir la alegría si tuviera una intensidad mayor. En este modelo se ha decidido utilizar una técnica similar: las emociones contrarias se inhiben según su intensidad pero las emociones negativas (miedo, ira, tristeza) tienen preferencia sobre las positivas (alegría) debido que son emociones más persistentes y dominantes.

El inconveniente de usar estas técnicas es el límite en el que una emoción puede inhibir a otra. Es decir, en una sucesión de eventos en los que la tristeza y la alegría cambian constantemente, en cuanto la intensidad de una de ellas sobrepase a la otra ya la estaría inhibiendo y podría durar indefinidamente. Habitualmente, este conflicto se solventa estableciendo un margen de error, cuando las emociones contrarias tienen intensidades parecidas, en el que no es posible la inhibición. En el caso de que la diferencia de intensidades supere el umbral establecido, la que de mayor intensidad podrá inhibir a su emoción opuesta. Pero el verdadero problema es que se sigue considerando la inhibición entre emociones contrarias y no se está tomando en cuenta el estado emocional completo para determinar si tiene sentido realizarla.

A continuación, se explicará cómo se puede llevar a cabo mediante el estado de ánimo y, posteriormente, se mostrará la influencia de otros factores como la personalidad que hacen que la respuesta emocional obtenida sea más completa.

#### 4.2.4. Decaimiento de las emociones

El último paso de este ciclo de simulación de emociones para conseguir un modelo emocional realista es utilizar un método que pueda reducir las emociones de los agentes. Cuando la causa que desencadenó la emoción desaparece, dicha emoción no desaparece inmediatamente, sino que decae con el tiempo. Este proceso de decaimiento emocional puede ser implementado de distintas maneras.

Al igual que FLAME, este modelo propone reducir las emociones conforme el paso del tiempo distinguiendo entre las emociones positivas y las negativas. Para las positivas se usa una constante  $\phi$  y para las negativas  $\varphi$ , siendo  $\phi < \varphi$ . De esta forma, como sucede en los seres humanos, las emociones negativas tienden a ser más persistentes que las positivas, las cuales desaparecen a un ritmo más rápido. El decaimiento de las emociones será progresivo hasta que su intensidad llegue a 0.

### 4.3. Estado de ánimo

En este punto, un aspecto como el estado de ánimo (*mood*, en inglés) es de gran ayuda para filtrar las relaciones de intensidad de las emociones y solucionar el problema de la inhibición. FLAME representa el estado de ánimo como un resumen del estado actual de todas las emociones a través de un factor que puede ser positivo o negativo. Su valor depende de las intensidades tanto de las emociones negativas (miedo, ira, tristeza) como de las positivas (alegría).

Si suceden nuevos eventos, las intensidades de las emociones variarán ya que tampoco son permanentes a través del tiempo, por lo que valorar el último estado emocional generado para determinar si un agente está de mejor o peor estado de ánimo podría inducir al error. Pongamos la siguiente situación: dos personajes, llamados David y Laura, están tranquilamente paseando cerca de la orilla de un río. De repente, un ladrón pasa por el lado de David y le quita la cartera. David intenta perseguirle pero una bicicleta se cruza en su camino y propicia que se caiga al río. Laura le ayuda a salir y le entrega su cartera, que se le cayó al ladrón durante la huida.

A medida que sucedía esta cadena de infortunios, el estado de ánimo de David tendía a hacerse peor (más enfadado, por ejemplo). Si la componente del estado de ánimo de una aplicación en la que suceden estas acciones solo toma en cuenta el último estado emocional generado, entonces justo en el momento en el que finaliza esta historia David tendría un estado de ánimo positivo porque consiguió recuperar la cartera. Es decir, que llegados a este punto, David olvida completamente que antes de recuperarla, se la robaron, le atropelló una bicicleta y se cayó al río, lo que no sería muy realista.

### 4.3.1. Formulación en función de las ventanas de tiempo

La solución que resuelve este problema es construir el *mood* a partir de los últimos  $n$  periodos de tiempo. Por ejemplo, FLAME recoge los últimos 5 periodos de tiempo en su simulación porque, durante ese tiempo, el modelo era capaz de capturar una mezcla coherente de estados emocionales. Considerar más ventanas de tiempo implica que el estado de ánimo no abarque solo lo sucedido recientemente. En el caso contrario, un valor más pequeño provocaría que este estado de ánimo se aproxime al que solo considera el último evento producido. Así que el valor de  $n$  ha de ser lo suficientemente grande como para obtener un estado coherente de las emociones. El estado de ánimo se calcula de la siguiente forma:

$$mood = \begin{cases} \textit{positivo} & \text{si } \sum_{i=-n}^{-1} I_i^+ > \sum_{i=-n}^{-1} I_i^- \\ \textit{neutro} & \text{si } \left| \sum_{i=-n}^{-1} I_i^+ \right| - \left| \sum_{i=-n}^{-1} I_i^- \right| > 10\% \\ \textit{negativo} & \text{si } \sum_{i=-n}^{-1} I_i^+ < \sum_{i=-n}^{-1} I_i^- \end{cases}$$

Donde  $n$  es el número de ventanas de tiempo,  $I_i^+$  es la intensidad de las emociones positivas en el instante  $i$  y, por el contrario,  $I_i^-$  es la intensidad de las negativas también en el instante  $i$ . Para ilustrar el cálculo del *mood* emplearemos el siguiente ejemplo: supongamos que el estado de ánimo ha tomado un valor negativo como resultado de tres emociones negativas (tristeza, ira y miedo) frente a una positiva (alegría), todas con una intensidad de nivel medio. A continuación, se produce un evento y el nuevo estado emocional indica que la alegría tiene una intensidad de 0.45 y la ira tiene una intensidad menor de 0.20. En este caso, la ira inhibe la alegría a pesar de que la intensidad de la emoción positiva es mayor que la negativa, debido a que el estado de ánimo del agente en ese momento era negativo.

### 4.3.2. Filtrado de las emociones con el estado de ánimo

Para evitar que el estado de ánimo siempre esté condicionando la intensidad de las emociones, se ha de tomar un valor de tolerancia entre las intensidades de las emociones negativas y positivas. Por ejemplo, el margen de error que propone FLAME es del 5%. De la misma manera que justifica FLAME el valor de tolerancia, la medida más adecuada será la que mejor se ajusta al funcionamiento del sistema y proporciona resultados coherentes. Tomando como ejemplo a FLAME, entonces si una emoción tiene un valor  $v$ , cualquier emoción con valor  $\pm 5\%$  dependerá del estado de ánimo para obtener la intensidad final de las emociones.

En el modelo propuesto, el resultado obtenido al final de este proceso es un número que indica si el estado de ánimo es positivo, neutro o negativo. Este valor se utiliza para filtrar las emociones que se consiguen tras procesar las reglas, ejecutar las ecuaciones de Price y obtener el estado emocional. En el caso de las emociones positivas, cuando se produce un nuevo evento la intensidad filtrada se calcula de la siguiente forma:

$$I_m^+ = \begin{cases} I^+ - (\text{mood/ventanas} \times \text{deseabilidad}) & \text{si } \text{deseabilidad} < 0 \\ I^+ + (\text{mood/ventanas} \times \text{deseabilidad}) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde  $I_m^+$  es la intensidad de una emoción positiva tras aplicar el filtrado del estado de ánimo e  $I^+$  es la intensidad de la emoción que resulta de aplicar las ecuaciones emocionales. El mood es dividido por el máximo valor que puede alcanzar la diferencia entre los sumatorios de las emociones negativas y positivas (número de ventanas de tiempo). Si, por ejemplo, todas las emociones negativas de las ventanas tuvieran de valor 0.0 y las positivas 1.0, entonces la intensidad final solo dependería de la deseabilidad y la intensidad actual. En caso de que el mood sea neutro, las emociones se procesarían como si no dispusieran de estado de ánimo. Para calcular las emociones negativas, se realiza de manera similar salvo que esta vez se resta intensidad si el evento que ocurre es deseable:

$$I_m^- = \begin{cases} I^- - (\text{mood/ventanas} \times \text{deseabilidad}) & \text{si } \text{deseabilidad} > 0 \\ I^- + (\text{mood/ventanas} \times \text{deseabilidad}) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La única emoción que no se encuentra ni dentro de las emociones positivas ni de las negativas es la sorpresa. Hacer un regalo inesperado o dar una mala noticia son acciones totalmente opuestas en las que la sorpresa podría

alcanzar niveles muy elevados, por lo que ninguna de las ecuaciones anteriores es válida ya que se necesitan más variables, y no solo la deseabilidad, para determinar si la intensidad va a aumentar o disminuir. La función de filtrado de la sorpresa se define de la siguiente forma:

$$I_m = \begin{cases} I_s - (mood/ventanas \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad < 0, \\ & mood < 0 \\ I_s + (mood/ventanas \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad < 0, \\ & mood > 0 \\ I_s + (mood/ventanas \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad > 0, \\ & mood < 0 \\ I_s - (mood/ventanas \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad > 0, \\ & mood > 0 \end{cases}$$

Considerando también el *mood* actual, se pueden construir cuatro casos de situaciones opuestas para calcular la sorpresa. Por ejemplo, si Carla le regala un móvil a Gustavo, el cual no está de buen humor porque ha rayado la puerta del coche cuando estaba aparcando, la sorpresa cuando se lo entregue será mayúscula porque ha sucedido algo que le gusta a Gustavo pese a que su estado de ánimo indicaba que solo le estaban pasando cosas malas. Por otro lado, si en lugar de regalarle un móvil, Carla le regala un manual de conducción a modo de broma pesada, Gustavo estará de peor humor aún y la sorpresa no se incrementará tanto como sus emociones negativas. De la misma forma, se podría llegar a conclusiones parecidas con el resto de la función.

### 4.3.3. Integración de la memoria a corto plazo

Según el modelo FLAME y el sistema propuesto, el estado de ánimo captura las últimas ventanas de tiempo del estado emocional para determinar si es positivo o negativo y, en base a este valor, recalcula las ecuaciones de modelado de las emociones. Las ecuaciones de filtrado del estado de ánimo que se proponen en este trabajo (sección 4.3.2) consiguen que la simulación de las emociones esté condicionada por lo que haya sucedido recientemente. Sin embargo, el estado de ánimo hasta este punto sólo emplea el factor obtenido como una visión general, a modo de resumen, del estado emocional en momentos anteriores. Esto puede provocar que el sistema se comporte como si reaccionara a eventos aislados y obtenga resultados incoherentes.

Para aclarar el funcionamiento del estado de ánimo se tomará en cuenta un ejemplo que podríamos encontrar dentro de la aplicación. Supongamos

que inicialmente el estado de ánimo de todos los personajes es neutral y que el personaje Jesús se encuentra en la cafetería del entorno virtual. Allí, Jesús roba el iPhone a Roberto, otro personaje que se encuentra cerca de la barra de la cafetería. Inmediatamente después, también decide robarle el refresco que está tomando.

Cuando Jesús roba el iPhone, el estado del ánimo de Roberto pasará progresivamente de neutral a negativo, dado que en el estado emocional que se genera en cada ventana de tiempo se impone la intensidad de las emociones negativas. Durante este proceso, el estado de ánimo no se ha tenido en cuenta para obtener las emociones, dado que el personaje venía de uno neutral y, por lo tanto, el filtrado posterior al cálculo de las intensidades no tiene efecto. Por el contrario, cuando Jesús le roba el refresco a Roberto, las emociones se calculan con el estado de ánimo negativo, por lo que las emociones negativas se incrementan más que con un estado de ánimo neutral.

Sin embargo, para Roberto el iPhone es un objeto mucho más importante que el refresco. Supongamos que en el primer robo la intensidad que alcanza la ira es de 0.70 y las de la tristeza y miedo llegan hasta valores de 0.50, por lo que el estado de ánimo será muy negativo cuando se procese el segundo robo. Pero debido a la menor *importancia* del refresco, la intensidad de la ira parte de 0.20 y aplicando el filtrado del estado de ánimo podría no superar los 0.30.

Por lo tanto, en el primer robo la ira se sitúa en 0.70 y en el segundo en 0.30, es decir que tras un segundo robo el personaje está menos enfadado, lo cual resulta incoherente aunque la importancia del refresco sea muy baja. Por ello, parece como si el estado de ánimo no tuviera en cuenta las acciones anteriores y respondiera de manera independiente a cada evento. Si los eventos hubieran sucedido al revés, este error no se habría percibido dado de intensidad de las emociones negativas después del segundo robo son más elevadas que después del primero.

En resumen, el estado de ánimo no es suficiente para obtener resultados totalmente coherentes. Por ello, es necesario considerar el historial de emociones y eventos percibidos en lo que se llama memoria emocional a corto plazo (*short-term emotional memory*) (Ortony et al., 1990), integrada en el propio estado de ánimo. La función de este nuevo elemento es realizar una posterior agregación al filtrado del estado de ánimo para que se tengan en cuenta las intensidades que tenían las emociones justo antes de producirse el nuevo evento. En las emociones de sorpresa, miedo y alegría, se ha utilizado la media aritmética entre la intensidad antes de producirse el evento y después de realizar el filtrado del estado de ánimo. Las emociones de tristeza e ira son emociones negativas más persistentes que las anteriores y, por lo tanto, la forma de calcularlas es más compleja. En el caso de la tristeza, la

intensidad final es la máxima entre la antigua y la nueva. La ecuación de la ira además depende de la expectativa y queda de la siguiente forma:

$$\max(\text{nueva\_ira}, \text{vieja\_ira}) + \min(\text{nueva\_ira}, \text{vieja\_ira}) \times \text{expectativa}$$

El estado de ánimo conocía el historial reciente de los estados emocionales pero la salida que producía únicamente se trataba de un factor. Con la memoria a corto plazo se pretende utilizar la información contenida en el estado de ánimo y hacer uso de ella como si fuera una extensión del propio estado de ánimo.

## 4.4. Personalidad

Utilizar las ecuaciones de Price es la base sobre la que se genera el estado emocional de un agente y el estado de ánimo además permite que las emociones se generen considerando los eventos que haya experimentado el agente, evitando así que sus reacciones sean siempre iguales ante los mismos eventos. Hasta este punto, el sistema es capaz de crear emociones que resultan bastante coherentes respecto a los eventos producidos. Sin embargo, todos los agentes se comportarán de la misma manera ya que no tienen rasgos o cualidades que los diferencien de los demás. Por tanto, se ha decidido integrar el modelo de personalidad *Big Five* que aporte mayor complejidad y realismo al proceso de simulación de emociones usando las descripciones de las cinco dimensiones en las que se basan.

### 4.4.1. Mapeado de los rasgos de personalidad

El modelo del *Big Five* se suele implementar con el estado de ánimo mediante un mapeado de valores que se ajuste al modelo tridimensional PAD (Sección 3.5) sobre el que se basan la mayoría de los modelos computacionales de la emoción más recientes. El modelo de emociones de este sistema no utiliza PAD sino lógica difusa para modelar las emociones porque se considera más interesante para el desarrollo del proyecto ya que las dimensiones PAD constan de rangos de valores prefijados que han sido previamente estudiados para ofrecer la simulación más adecuada de emociones para un sistema concreto. Por el contrario, la lógica difusa aporta más dinamismo en la simulación de emociones.

A diferencia de otros modelos computacionales que consideran la personalidad para la simulación de emociones, FLAME llega hasta el estado de

Trait	Refers to	If low score
Openness	Imaginative, prefer variety, independent	Down-to-earth, conventional, low aesthetical appreciation
Conscientiousness	Well-organized, careful, reliable, self-discipline	Disorganized, careless, weak-willed
Extraversion	Sociable, affectionate, optimistic	Reserved, sober
Agreeableness	Trusting, helpful	Suspicious, cynical
Neuroticism	Anxiety, experience negative emotions, vulnerable	Secure, calm, self-satisfied

Figura 4.4: Descripción de los rasgos de personalidad en ALMA (Gebhard, 2005)

ánimo en el proceso de obtención del estado emocional y no considera los rasgos de personalidad de un agente. Además, su modelo de emociones está implementado con lógica difusa y no con PAD. Por tanto, a partir de este punto ya no se puede tomar como referencia a FLAME para incorporar una nueva componente de personalidad al sistema. La solución adoptada para incorporarlo es realizar un mapeado de las emociones del sistema con los rasgos de personalidad del *Big Five*, basándose en las descripciones anteriores y también en las que proporciona ALMA (Figura 4.4).

El resultado del mapeado se encuentra en la Tabla 4.5, en la que cada rasgo tiene un valor alto o bajo que se corresponde con el nivel de intensidad del rasgo en la personalidad y a cada uno de ellos se le atribuye el conjunto de emociones que se ven afectados por el nivel del atributo. Por ejemplo, en la dimensión de amabilidad las emociones relacionadas con el nivel alto son la alegría y la ira. Dentro de cada conjunto, las emociones constan de un símbolo positivo o negativo dependiendo de si aumenta o disminuye la intensidad de la emoción. Cuando una emoción va precedida de dos símbolos del mismo signo significa que dicha emoción será la más afectada por el rasgo de personalidad.

Las emociones que aparecen en los conjuntos del nivel alto y bajo de un rasgo pueden no ser totalmente contrarias (con el signo opuesto) e incluso puede que no aparezcan las mismas emociones en los dos conjuntos. El mejor ejemplo son las emociones de la dimensión de la amabilidad. En el nivel alto tiende a aumentar la alegría y la ira se ve mermada, mientras que en el nivel bajo no se ve afectada ni la alegría ni la ira ni ninguna otra emoción. Esto

Rasgos	Nivel alto	Nivel bajo
Abierto	++alegría, -sorpresa, -miedo, -ira, -tristeza	+sorpresa, -alegría, +miedo
Responsabilidad	-sorpresa	+sorpresa
Extraversión	+alegría, -miedo, +anger	+miedo, -ira
Amabilidad	+alegría, -ira	causa ira y tristeza
Neuroticismo	+ira, +miedo, +tristeza, +sorpresa	-ira, -miedo, -tristeza, - sorpresa

Tabla 4.5: Mapeado de los rasgos de la personalidad con las emociones

es debido a que una persona desagradable no tiene por qué estar enfadado habitualmente o ser menos alegre sino más bien que puede causar ira o tristeza en los demás.

Este mapeado de la personalidad se aplica para obtener factores, como el estado de ánimo, que aumenten o disminuyan la intensidad de las emociones. Estos valores serán fijos y no variarán con el tiempo puesto que la personalidad no contiene una componente temporal, sino que son actitudes que permanecen en el tiempo contrariamente a lo que sucede con el estado de ánimo. Este proceso tiene como entradas el estado emocional obtenido después de simular las emociones con el estado de ánimo. A partir de estos resultados, la componente de la personalidad se encargará de aplicar los factores de cada una de las emociones para obtener el estado emocional final.

Cada signo positivo o negativo que tenga cada emoción de la Tabla 4.5 representa un aumento o disminución de un  $\delta$ , respectivamente. Por ejemplo, una personalidad con un nivel alto de apertura a la experiencia, incrementará dos veces  $\delta$  su alegría con respecto a lo obtenido tras el filtrado del estado de ánimo. Previamente, se han realizado pruebas con los posibles valores del porcentaje y se concluyó que entre un 10% y 15% del valor de  $\delta$  se obtenían resultados coherentes de acuerdo a lo que puede llegar a influir la personalidad en una persona.

## Capítulo 5

# Implementación del modelo de agentes virtuales

### 5.1. Introducción

En este capítulo se describen las estructuras y los métodos que se han adoptado para construir el modelo propuesto en el capítulo anterior, utilizando el motor de videojuegos Unity 3D. El proyecto está desarrollado en los lenguajes de programación C# y XML, este último para la carga de archivos necesarios para la configuración del sistema.

La arquitectura del agente emocional (Figura 5.1) se compone de tres grandes componentes: uno emocional, uno de estado de ánimo y otro de personalidad. El agente se comunicará con la componente difusa que contiene los conjuntos y reglas definidos por el usuario para calcular la deseabilidad del evento y así obtener el estado emocional. En las secciones siguientes se explicará cómo se ha llevado a cabo la implementación de cada una de ellos.

La información del entorno está constituida por los eventos que suceden, los objetos del entorno y el peso de los objetivos de los personajes. Los eventos de la aplicación surgen de diversas formas, ya sea cuando se produce una acción sobre un objeto del entorno o durante la interacción con otro personaje. En el caso de las acciones sobre los objetos, debe existir una relación entre el objeto y un personaje para simular una emoción sobre él. Por ejemplo, si el jugador *coge* un objeto que no es suyo, puede ocurrir que su dueño se enfade porque entiende que se le está *robando*. Si no existe ningún personaje que esté relacionado con dicho objeto, el evento no tendrá ningún efecto sobre la aplicación, más allá de que el jugador obtenga un nuevo objeto.

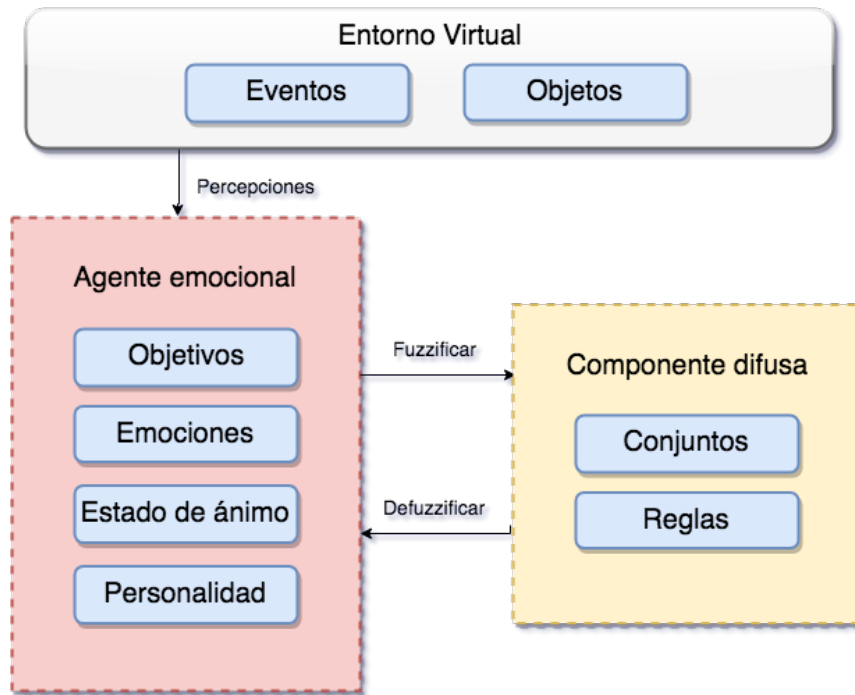


Figura 5.1: Visión general de la arquitectura del sistema

A continuación, se detallan las principales características y mecanismos del modelo computacional de emoción y la relación que tienen sus componentes entre sí, para determinar el estado emocional. Posteriormente, se explicarán las técnicas utilizadas para integrar un estado de ánimo y personalidad con el modelo de personajes propuesto.

## 5.2. Entorno virtual

El entorno virtual contiene la información necesaria que sirve como entrada para que los agentes comiencen el proceso de simulación de emociones. Puede tratarse de información que se genera a medida que el agente se relaciona con el entorno o hechos conocidos por todos los agentes. Existen dos grupos de información del entorno: objetos y eventos.

Los objetos son representados en Unity a través de *GameObjects*, los cuales actúan como contenedores de todos los componentes que implementan la funcionalidad real. Todos los objetos guardan información que permite definir una relación entre un determinado elemento del juego y un personaje a través de la importancia que tiene para el personaje. La estructura de datos

que almacena esta información es una colección de claves y valores llamada diccionario (*Dictionary<Key,?Value>*) que guarda las tuplas (*objeto, importancia, personaje*), donde la importancia es un número en coma flotante comprendido entre el rango [0,1].

Las emociones se modelan a partir de eventos que surgen de la interacción del usuario con los elementos del juego. Por ello, es necesario definir los eventos que pueden producirse. La información de los eventos disponibles está contenida en otro diccionario que guarda las tuplas (*evento, peso, expectativa*), donde el peso representa el grado de aceptación del evento que comparten todos los agentes. En este caso se trata de un número en coma flotante entre el rango [-1,1], siendo -1 el grado de menos aceptación, como puede ser un evento de robo, y 1 el más aceptado, como dar un regalo. Como se explicó en el capítulo anterior, la variable de la expectativa de que suceda un evento se mide en el rango [0,1].

En este sistema, la expectativa comienza en un valor mínimo e irá incrementando a medida que se vuelva a repetir el mismo evento hasta llegar al valor máximo. Si lo alcanza, significará que el evento se ha producido demasiadas veces y por tanto el impacto que tendrá en el personaje será mínimo. Un ejemplo que podemos encontrar en la aplicación es el robo de un objeto. El protagonista roba un refresco a un personaje y seguidamente su móvil. El segundo robo tendrá una expectativa mayor puesto que ya lo ha experimentado antes, lo que provocará que emociones que dependen principalmente de la expectativa (como la sorpresa) se vean seriamente mermadas.

Además de la información que guardan los *GameObject*, los objetos y personajes cuentan con scripts de comportamiento encargados de generar los eventos que suceden en el entorno virtual. Estos eventos pueden producirse de dos formas:

- **El jugador realiza una acción sobre un objeto:** en el caso de los objetos basta con añadir el script *ObjectEffect* en su comportamiento para que genere eventos con la información del objeto que ha cogido el jugador haciendo clic. Para comprobar cuando se interactúa con un objeto se han utilizado funciones de *triggers* propias de Unity como *OnMouseUp()*, *OnMouseDown()*, *OnMouseEnter()* o *OnMouseExit()* que facilitan esta tarea.
- **El jugador interactúa con un personaje de la escena:** análogamente, el script realiza la misma función de interacción con los personajes al pulsar sobre ellos, pero añade además el comportamiento *Sense* para detectar la cercanía entre el jugador y un personaje del juego. Sin embargo, esta vez no se utilizan *triggers* para ello sino vectores para calcular la distancia entre dos puntos y la propia función

*Update()* presente en cada *Gameobject* del entorno y que es invocada automáticamente en cada frame del juego.

### 5.3. Controlador de mensajes

Los mensajes asíncronos permiten que las instrucciones de una función no se bloqueen debido a la espera de resultados de operaciones anteriores. Esto es muy beneficioso en el caso de que sucedan varios eventos de forma consecutiva y sea necesario realizar operaciones sin importar el orden de ejecución y sin que eso no afecte al resultado final. Por ello, todos los objetos del juego comunican el evento que producen mediante el paso de mensajes asíncrono que proporciona Unity a través de la función *SendMessage()* del objeto *GameObject*. Esta función recibe el nombre de una función del *GameObject* al que va dirigido el mensaje para que se ejecute y una serie de parámetros opcionales por si fuera necesario compartir más información sobre el mensaje. Cuando el receptor recibe el mensaje busca entre todos sus scripts de comportamiento si hay alguna función que se corresponda con la solicitada por *SendMessage()*. En caso de no encontrarla, el mensaje pasaría inadvertido para el receptor y el evento no podría ser tratado por él. Por el contrario, la función indicada tratará el mensaje de manera asíncrona mientras que el flujo de operaciones invocadas por el evento continúa su curso.

La cámara es otro objeto del juego que captura y muestra el mundo virtual creado en Unity al jugador durante la ejecución del juego. Durante la ejecución de determinados eventos puede resultar que la interfaz del usuario se vea afectada, por ejemplo en dar *feedback* al usuario de que el objeto ya no se encuentra en la escena y pertenece a él o que está manteniendo una conversación con un personaje. Por ello, cuando se produce un evento el primero que se entera de él es la propia cámara del jugador para que avise al jugador de los nuevos cambios en el entorno de manera asíncrona.

Una vez que la cámara trata el mensaje lo reenvía al controlador de mensajes *MessageManager*, el cual está dotado del script de comportamiento *HandleMessage* que realiza la gestión de los mensajes asíncronos. Al tratarse también de uno de ellos, *HandleMessage* usará una función determinada para capturar el evento y preparar la información que será enviada y procesada por el personaje afectado por el evento. Primero, se encarga de buscar más información del objeto o personaje en la información del entorno.

En el momento en el que se ejecuta una acción relacionada con un objeto, se obtiene el identificador del dueño o la persona implicada en el evento para saber a qué personaje enviar un mensaje asíncrono con toda la información del evento y del objeto. Al término del envío, el objeto desaparece de la

escena junto con su *GameObject* correspondiente. De esta forma se evitan posibles conflictos en caso de que el jugador intente repetir reiteradamente la acción para que la expectativa de que ocurra el evento alcance el valor máximo, dejando al dueño del objeto completamente insensible al evento. En cuanto a los personajes, también se utiliza su ID del *GameObject* en la información del entorno y en caso de haber un objeto implicado también se obtienen sus datos.

El reenvío de mensajes finaliza en la componente emocional que se encarga de generar el estado emocional final. El script *CharacterModel* está presente en cada personaje y es el principal encargado de permitir que cada agente virtual pueda simular emociones y contener el estado actual de la intensidad de las emociones, el estado de ánimo en forma de resúmenes de los últimos estados, los objetivos y personalidad.

## 5.4. Componente emocional

Cada agente conserva sus propios objetivos en tuplas (*objetivo, peso*) dentro del *CharacterModel*, donde el peso es un grado de satisfacción fijo en caso de cumplirse el objetivo. Siguen una estructura de datos parecida a la de los eventos, salvo que en esta ocasión se utiliza una lista para acceder a ellos. puesto que no es necesario conservar el dueño del objetivo. Los objetivos de cada agente no pertenecen a la información del entorno que está compartida entre todos ellos sino que depende de cada uno gestionar los suyos propios.

La componente emocional es la base sobre la que empieza la simulación de las emociones para obtener un estado emocional básico. Por lo tanto, es un componente obligatorio para el buen funcionamiento del sistema y no requiere de ninguna configuración inicial por parte del usuario ya que todas las operaciones que se llevan a cabo para el cálculo básico de las emociones sigue todos los pasos descritos en el capítulo 4.

El proceso de la componente emocional se puede ver en la Figura 5.2. Recibe como entrada el evento y la información del objeto o personajes implicados. A partir del evento, se identifica en la lista de objetivos aquellos que se vean afectados por él y se aumenta la expectativa de que ocurra dicho evento para posteriores sucesos. A continuación, el gestor de reglas de la componente difusa genera las variables de impacto e importancia de los objetivos en base al grado de aceptación del evento, el peso de los objetivos y la importancia del objeto. Después, se *fuzzifican* las variables para el procesamiento de las reglas. Como resultado se obtiene el conjunto difuso de la deseabilidad, el cual inmediatamente se *defuzzifica* para utilizar el valor crisp, junto con la expectativa del evento, en el cálculo de las ecuaciones

emocionales de la sección 4.2.2 que se encuentran en la clase *Emotions*. De esta manera se obtiene el estado emocional más básico que puede generar el sistema.

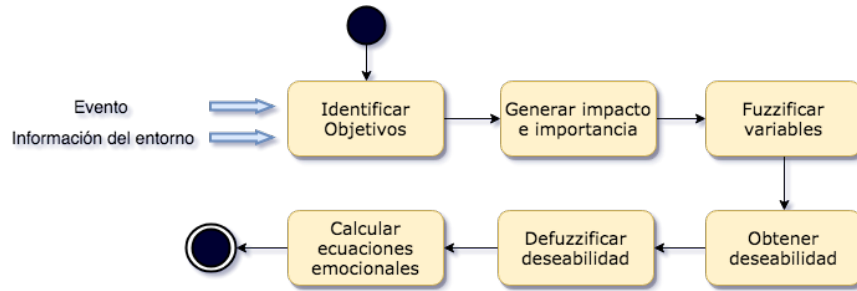


Figura 5.2: Flujo de actividad de la simulación de emociones básica

Por último, el decaimiento de las emociones se produce conforme el paso del tiempo. En este modelo se ha decidido que las intensidades decaigan por cada segundo que pase en el entorno. Unity proporciona la variable estática *Delta.Time* que toma el tiempo en segundos que se tarda en completar un frame, por lo que por cada segundo se perderá la cantidad de intensidad marque la constante de decaimiento, según se trate de una emoción positiva o negativa (sección 4.2.4).

## 5.5. Componente del estado de ánimo

El modelo de personajes puede incorporar la componente del estado de ánimo para hacer más compleja la obtención del estado emocional final. Incorporar el estado de ánimo es opcional porque de este modo se facilita al usuario que pueda utilizar el modelo de los personajes combinando las emociones con el estado de ánimo o simplemente usar las ecuaciones emocionales si lo prefiere.

Para realizar esta labor, el modelo permite utilizar archivos de configuración en un lenguaje de marcado de los más estandarizados y sencillo de utilizar para cualquier persona como es XML. De esta forma, el usuario puede decidir de manera sencilla si incorpora esta característica a través de la configuración descrita en los archivos *CharactersConfig*. Un ejemplo de configuración del estado de ánimo para tres personajes en escena es el siguiente:

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<Config>
  <Characters>
    <Character id="Personaje1">
      <Mood>yes</Mood>
    </Character>
    <Character id="Personaje2">
      <Mood>no</Mood>
    </Character>
    <Character id="Personaje3">
      </Character>
    </Characters>
  </Config>
```

Donde el *id* se corresponde con el nombre tiene el personaje en el entorno virtual. En caso de que no existiera el personaje, el sistema pasaría a procesar el siguiente. Basta con indicar la opción *yes* o *no* en el elemento *Mood* para incorporar o no el estado de ánimo al personaje. En caso de que no se especifique dicho elemento, la opción por defecto será la de excluir el estado de ánimo.

Hay muchas maneras de parsear un archivo XML pero en Unity la manera más sencilla y práctica es utilizar la librería *XMLSerializer*. Es compatible con lenguajes como C#, .Net y Javascript. Permite realizar operaciones de lectura de los XML a través de anotaciones que comunicarán al *XMLSerializer* cómo se debe parsear el archivo.

### 5.5.1. Monitorización de las intensidades emocionales

Una vez establecida la configuración y en cuanto empieza la ejecución del sistema, esta se cargará junto con los datos del entorno (objetivos de cada personaje, objetos y eventos posibles). A partir de ese momento el estado de ánimo empezará a tomar los estados emocionales más recientes y los almacenará en una lista para calcular la diferencia de las emociones positivas y negativas y obtener así el valor del estado de ánimo.

Para monitorizar las intensidades se utiliza la función de *Update()* del *GameObject* del personaje, la cual es invocada automáticamente por cada frame y por cada uno de ellos se toma las intensidades de las emociones que tengan en ese momento. Se ha decidido tomar las muestras por cada frame del juego porque de lo contrario habrían sido menos precisas ya que el decaimiento de las emociones se produce en cada segundo y esto provoca

que de un periodo de tiempo a otro pueda haber una diferencia significativa de las intensidades.

Además, las muestras de las intensidades se van actualizando continuamente, por lo que el estado de ánimo también está cambiando constantemente, lo que provoca que la simulación de las emociones esté siempre condicionada por él aunque el cambio sea mínimo. Para solucionar este conflicto se utiliza un margen de error entre las emociones positivas y negativas en el que el estado de ánimo no actúa. En el entorno de Unity se utilizan unidades de tiempo diferentes debido a que se trata de un entorno interactivo en el que los usuarios puedan apreciar el cambio de estado de ánimo. Por tanto, se ha tomado el valor de tolerancia del 10% que es el que mejor se ajusta la proyección del estado emocional durante el juego.

### 5.5.2. Parámetros de las ecuaciones de filtrado

En la sección 4.3.1 se explicaba la importancia de elegir el número de periodos de tiempo que se iba a tomar como muestra de las intensidades de las emociones. Mientras que FLAME recogía 5 periodos de tiempo, este sistema toma 15. Este número de ventanas de tiempo dio mejores resultados debido a que el sistema está desarrollado en Unity y para medir los periodos de tiempo se pueden utilizar los frames por segundo del juego o directamente medirlo en segundos. Por tanto, en cualquiera de los dos casos, si se utilizara el mismo número que FLAME, el usuario podría percibir que el estado de ánimo es otra emoción más ya que es prácticamente igual de duradero que el resto de emociones. De esta forma las ecuaciones de filtrado del estado de ánimo para las emociones positivas quedaría de la siguiente forma:

$$I_m^+ = \begin{cases} I^+ - (mood/15 \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad < 0 \\ I^+ + (mood/15 \times deseabilidad) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Análogamente, esta ecuación se utiliza para las negativas pero restando la intensidad de las emociones negativas cuando la deseabilidad es positiva, y sumando cuando la deseabilidad sea negativa. Para el caso de la emoción de la sorpresa, que no es ni negativa ni positiva, la ecuación se completa de la siguiente manera:

$$I_m = \begin{cases} I_s - (mood/15 \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad < 0, \\ & mood < 0 \\ I_s + (mood/15 \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad < 0, \\ & mood > 0 \\ I_s + (mood/15 \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad > 0, \\ & mood < 0 \\ I_s - (mood/15 \times deseabilidad) & \text{si } deseabilidad > 0, \\ & mood > 0 \end{cases}$$

Finalmente, se implementa la memoria a corto plazo como una extensión del estado de ánimo. Tras el cálculo de las nuevas emociones y después de aplicar el filtrado, la memoria a corto plazo se encarga de solicitar al estado de ánimo el último estado emocional y combinar las viejas intensidades con las nuevas según las ecuaciones de la sección 4.3.3. El resultado final son las intensidades definitivas que resultan después de todo el procesamiento del estado del ánimo.

## 5.6. Componente de personalidad

La personalidad se trata en un componente que almacena los rasgos de personalidad de un agente. Estos rasgos están predefinidos por el usuario antes de iniciar la ejecución del sistema y permanecen constantes a lo largo de ella. Los datos de entrada que recibe la componente de personalidad son las intensidades generadas por las ecuaciones emocionales o, en caso de que el estado de ánimo esté habilitado, se utilizarán las que se obtienen después de esta fase. La salida que se obtiene es el estado emocional que combina los rasgos de personalidad con las emociones.

La incorporación de la personalidad al comportamiento de un personaje es opcional, al igual que sucedía con el estado de ánimo. Puede resultar interesante ver lo que sucede con las emociones si las componentes de estado de ánimo y personalidad se combinan de distinta forma y, por ese motivo, la personalidad también queda a decisión del usuario si utilizarla o no. En caso de que lo hiciera, nuevamente el modelado de las emociones sería aún más complejo ya que si también utiliza el estado de ánimo, los resultados serán mucho más coherentes de lo que eran hasta ahora.

Para configurar la personalidad de todos los personajes se puede editar desde el archivo de configuración *CharactersConfig*. En la estructura del archivo, la personalidad se define en el elemento *<Personality>*, el cual se

encuentra al mismo nivel que el del estado de ánimo. Un ejemplo de configuración puede ser el siguiente:

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<Config>
  <Characters>
    <Character id="Personaje1">
      <Mood>yes</Mood>
      <Personality>
        <Neuroticism>Normal</Neuroticism>
        <Openness>Normal</Openness>
        <Conscientiousness>High</Conscientiousness>
        <Extraversion>Normal</Extraversion>
        <Agreeableness>Normal</Agreeableness>
      </Personality>
    </Character>
    <Character id="Personaje2">
      <Personality>
        <Neuroticism>High</Neuroticism>
        <Openness>High</Openness>
        <Conscientiousness>Low</Conscientiousness>
        <Extraversion>Normal</Extraversion>
        <Agreeableness>Normal</Agreeableness>
      </Personality>
    </Character>
    <Character id="Personaje3">
      <Personality>
        <Neuroticism>Normal</Neuroticism>
        <Openness>Normal</Openness>
        <Conscientiousness>Normal</Conscientiousness>
        <Extraversion>Normal</Extraversion>
        <Agreeableness>Normal</Agreeableness>
      </Personality>
    </Character>
  </Characters>
</Config>
```

En este ejemplo se definen tres personajes mediante identificadores que se corresponden con sus respectivos nombres en la escena del juego. El primer personaje además posee el estado de ánimo para agregarlo al proceso de simulación de emociones.

Dentro del elemento de la personalidad encontramos cada uno de los

rasgos del modelo del *big five*. *High* y *Low* se corresponden con los niveles alto y bajo de cada característica, respectivamente. Sin embargo, se ha añadido el estado de *Normal* para indicar que el rasgo no tendrá efecto sobre la personalidad, puesto que el big five cuenta con cinco dimensiones en las que es necesario especificar un nivel de intensidad para cada una de ellas.

## 5.7. Flujo de simulación de emociones

La personalidad de un personaje es inmutable, por lo que desde el momento de la carga inicial, el personaje tendrá el mismo nivel de cada rasgo hasta el final de la ejecución. Cada uno de ellos servirá de factor para incrementar o decrementar las intensidades obtenidas tras el procesamiento del estado de ánimo, multiplicando el factor por las intensidades. La salida del estado de ánimo son las intensidades de las cinco emociones que se contemplan en el proyecto y también sirven como variables de entrada para los rasgos de personalidad. Su aumento o disminución atenderá a las descripciones de la Tabla 4.5 y variará desde un 15 % hasta un 30 % como se explicaba en el mapeado de los rasgos de la personalidad (Sección 4.4.1). El 15 % se aplicará por cada signo de incremento o decremento que tenga en la descripción. Este valor es el que mejores resultados ha ofrecido en pruebas previas.

Por último, se acotan las nuevas intensidades para se encuentren dentro del rango  $[0,1]$  ya que puede ocurrir que la intensidad de una emoción alcance el valor máximo en la fase del estado de ánimo y después se vea incrementado por un factor de personalidad. Y este es el último paso del modelado de emociones de la forma más completa, combinando las emociones con el estado de ánimo y la personalidad.

## 5.8. Conclusiones

Hemos visto que es posible llevar a cabo la implementación del modelo teórico propuesto en el capítulo anterior y sobre un motor de videjuegos actual, como es Unity 3D. Además, se han detallado todos los métodos y procesos que se han de considerar para elaborar una arquitectura modular por componentes. Se ha creado un entorno virtual en el que se generan eventos y, a partir de ellos, se simulan las emociones. También se han despejado todas aquellas incógnitas respecto a las ecuaciones emocionales, la ventanas de tiempo del estado de ánimo y la inhibición de las emociones.

A continuación, se presenta un capítulo dedicado para la evaluación de

la implementación del modelo con el fin de comprobar si el modelo resulta creíble a ojos de usuarios, tanto expertos como inexpertos, en la simulación de emociones.

## Capítulo 6

# Evaluación del modelo

*Sólo aquellos que se arriesgan a ir  
demasiado lejos, pueden descubrir hasta  
dónde se puede llegar.*

T.S. Eliot

### 6.1. Introducción

La evaluación es una parte fundamental para comprobar el correcto funcionamiento del modelo propuesto y cómo perciben las emociones otras personas. En este caso, se realiza a nivel de componente, se analiza la complejidad y la coherencia de los resultados que adquiere el modelo a medida que se incorporan las emociones, el estado de ánimo y la personalidad

Para evaluar todas las capacidades del modelo, se ha implementado una aplicación de simulación de personajes en un entorno lo más natural y realista posible, donde se prueben distintas variaciones de las componentes del modelo, tales como la personalidad y estado de ánimo o solo la simulación básica de emociones. Con el fin de agilizar el proceso de evaluación, se han incorporado los cuestionarios en el propio juego, de manera que el jugador sea capaz de terminar la simulación y enviar los resultados de manera sencilla. Para ello, se ha creado un formulario online en Google Forms para recolectar las respuestas en la base de datos Excel que genera automáticamente Google Forms. El evaluador no tiene que responder ningún otro formulario o completar tareas que no estén en la aplicación.

A continuación, se explica en detalle cuál es la estructura y el recorrido del juego para terminar la evaluación. Finalmente, se muestra el desglose de

las evaluaciones recibidas y las conclusiones obtenidas tras el análisis de las mismas.

Para evaluar el impacto de los componentes del modelo de personajes, se optó por un método de evaluación basado en la aplicación anteriormente descrita con el fin de que el usuario tuviera que enfrentarse a distintos escenarios y registrar sus observaciones en cuestionarios dentro de la propia simulación. A todos los evaluadores se les da las indicaciones sobre todo lo que deben hacer para completar la evaluación a través de mensajes, como si de un videojuego de aventura conversacional se tratara. Cuando terminen, todas sus respuestas serán enviadas automáticamente y almacenadas para su posterior análisis.

Hay tres razones por las que se han empleado cuestionarios como método de evaluación. Primero, los cuestionarios facilitan que los usuarios den respuestas estructuradas conforme lo que se pretende extraer de ellos. Segundo, no solo los más expertos pueden utilizarlos, sino también aquellos usuarios que no tengan mucho conocimiento en videojuegos o simulación de emociones. Finalmente, conseguir la evaluación de un agente virtual por parte de un usuario es más beneficioso que comparar la simulación con una persona real en la misma situación y condiciones. La mayoría de las personas tienen el conocimiento suficiente para realizar esta tarea, por lo que los resultados que se obtengan dependerán de la habilidad de los evaluadores para juzgar cómo de realista son los estados emocionales que alcanzan los personajes.

Los participantes de la evaluación fueron elegidos de edades entre 18-38 años, entre los que se encuentran profesores y alumnos de la propia universidad. De hecho, la mayoría de los que la hicieron tenían experiencia en videojuegos y algunos conocían temas relacionados con la simulación de emociones, aunque no se pidió ningún requisito para realizarla.

Finalmente, se alcanzó la cifra de 11 participantes (3 mujeres y 8 hombres), de los cuales 3 tenían mucha experiencia en videojuegos en primera persona, 7 tenían poca experiencia y 1 nada de nada. Dos de ellos realizaron la evaluación sin ayuda ni seguimiento de una persona implicada en el proyecto.

Antes de comenzar la evaluación, se introdujo brevemente lo que iban a evaluar durante aproximadamente 2 minutos. Al principio de la ejecución, se piden algunos datos personales pero conservando el anonimato de los evaluadores. Se les advirtió que sus respuestas serían para mejorar el sistema y que contestarán el cuestionario basándose solo en la simulación de emociones y no en el entorno u otros aspectos gráficos. De esta manera, se evita que den una opinión para quedar bien con el desarrollador y se les anima a dar una crítica constructiva del sistema.

El protocolo empleado para realizar la evaluación es el descrito a continuación. Primero, se evalúan las emociones básicas que puede simular un personaje y los resultados de esta primera escena sirven como base de partida de las demás. Segundo, se pretende evaluar el estado de ánimo sumado a la simulación de emociones de la escena anterior. La situación de partida esta vez es diferente porque de otra forma el estado de ánimo no entraría en funcionamiento desde el principio. Tercero, se utilizan todas las componentes para determinar el realismo que puede alcanzar el modelo de personajes y partiendo de la situación inicial de la escena anterior. Cuarto, se realiza un caso especial para comparar las emociones obtenidas por dos personalidades totalmente opuestas.

## 6.2. Aplicación para la evaluación

El modelo propuesto se integra dentro de una aplicación de escritorio diseñada específicamente para realizar las evaluaciones del sistema. La aplicación también está desarrollada en Unity 3D y se trata de un videojuego en primera persona de aventura conversacional. La trama se desarrolla en un modelo profesional en 3D de la cafetería de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid. Este modelo se encuentra en formato FBX y fue diseñado para anteriores proyectos de la UCM, pero se decidió utilizarlo por el realismo que aporta al juego.

El desarrollo del juego se divide en tres escenas en las que se evalúan los componentes del modelo de personajes:

- **Primera escena:** se evaluará la simulación de emociones básica de las ecuaciones emocionales, sin estado de ánimo y sin los rasgos de personalidad.
- **Segunda escena:** se evaluará la simulación de emociones del estado de ánimo, pero sin los rasgos de personalidad.
- **Tercera escena:** se evaluará la simulación de emociones empleando el estado de ánimo y la personalidad.

En cada una de ellas, el jugador deberá seguir los mismos pasos para completar la evaluación. Primero, tendrá que interactuar con los dos personajes del juego que cuentan con el modelo propuesto por medio de acciones que desencadenan cuatro tipos de eventos: robar un objeto, entregar un objeto, dar un susto y dar una buena noticia. En base a estos cuatro eventos, los objetivos de los personajes son: conservar un objeto, recibir un objeto,

permanecer en calma y recibir una buena noticia. Solo están disponibles un refresco y un móvil como únicos objetos sobre los que el evaluador puede realizar acciones y provocar los eventos.

Al comienzo de cada escena se le explicará brevemente, mediante mensajes en la parte inferior de su pantalla, cual es la situación emocional de los personajes para que comprenda en todo momento qué es lo que está haciendo y qué debe evaluar. A medida que explore el entorno irán apareciendo indicaciones de las acciones que debe realizar para completar la evaluación, como coger un objeto, entregarlo o acercarse a un personaje (figura 6.1). Además, durante el desarrollo del juego, se le mostrarán algunos comentarios explicando detalles de las consecuencias de sus acciones, los cuales puede no haber percibido por completar los pasos rápidamente y sin prestar mucha atención a lo que sucede.



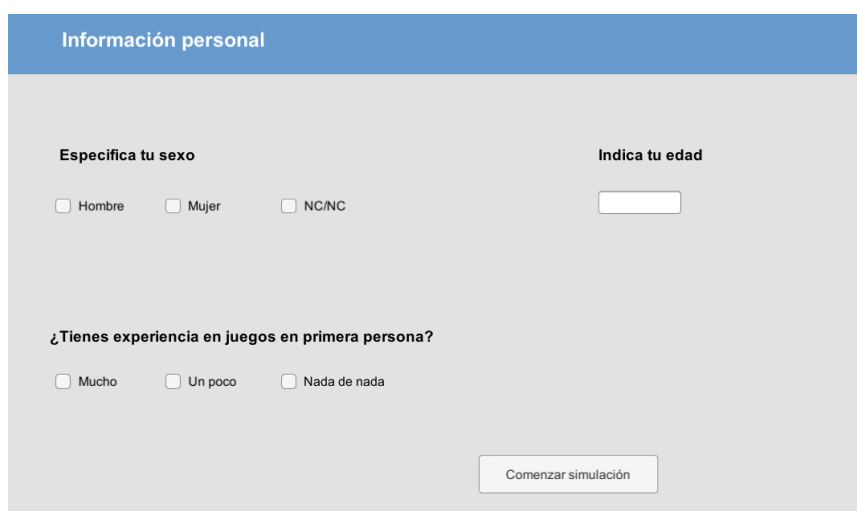
Figura 6.1: Información sobre los controles del juego

Los cuestionarios de la evaluación del modelo que debe completar el jugador están integrados en cada escena del juego, para hacer más dinámico el proceso. Los resultados de cada uno de ellos se transmitirán a la siguiente escena, y así sucesivamente hasta completar el último formulario de la aplicación.

En ese momento, se procede al envío de las respuestas a la base de datos Excel de un formulario de Google Forms previamente preparado para recibirlas. Se escogió utilizar Google Forms porque de esta forma cualquier persona puede hacer una evaluación sin necesitar ayuda para guardar las respuestas. Además, permite tener organizadas todas las respuestas y compartirlas en tiempo real.

### 6.2.1. Formulario de información personal

Antes de comenzar la evaluación del modelo, el evaluador deberá completar el formulario para recolectar la información demográfica. La experiencia en videojuegos en primera persona y el sexo se podrán escoger mediante una casilla de *checkbox* mientras que la edad solo podrá indicarse en formato numérico, tal y como se muestra en la figura (figura 6.2). Una vez completado, se cargará la primera escena y podrá comenzar la evaluación del modelo de personajes.



The image shows a web form titled "Información personal" with a blue header. The form is divided into two columns. The left column is titled "Especifica tu sexo" and contains three radio button options: "Hombre", "Mujer", and "NC/NC". The right column is titled "Indica tu edad" and contains a single-line text input field. Below these columns is a question: "¿Tienes experiencia en juegos en primera persona?" with three radio button options: "Mucho", "Un poco", and "Nada de nada". At the bottom center of the form is a button labeled "Comenzar simulación".

Figura 6.2: Cuestionario de información demográfica

### 6.2.2. Primera escena: evaluación de las emociones

Durante la primera escena, el jugador evaluará la simulación de las emociones básicas de la componente emocional, sin estado de ánimo ni personalidad, así que las emociones reaccionan ante los eventos de manera independiente por cada evento. Como solo se van a hacer uso de las emociones básicas, la carga de los datos relacionados con los personajes se realiza a partir de la estructura de la sección 5.6. El archivo de configuración utilizado es *CharactersConfig1.xml*, en el que se definen dos personajes llamados Roberto y Laura. La configuración usada para esta primera escena es:

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<Config>
  <Characters>
```

```

    <Character id="Roberto"></Character>
    <Character id="Laura"></Character>
  </Characters>
</Config>

```

En la primera escena, el jugador empieza en la entrada de la cafetería y, en cuanto empiece a explorar el entorno se le indicará los objetivos de la evaluación y los personajes disponibles con los que tendrá que interactuar. A continuación, tendrá que acercarse a la barra de la cafetería para interactuar con el primer personaje Roberto, profesor del jugador. Al llegar hasta él, aparecerá un panel en la parte superior izquierda de la pantalla que muestra las cinco emociones del personaje (figura 6.3). Las intensidades se representan gráficamente como un diagrama de barras con un porcentaje en el centro de cada una de ellas indicando el nivel.

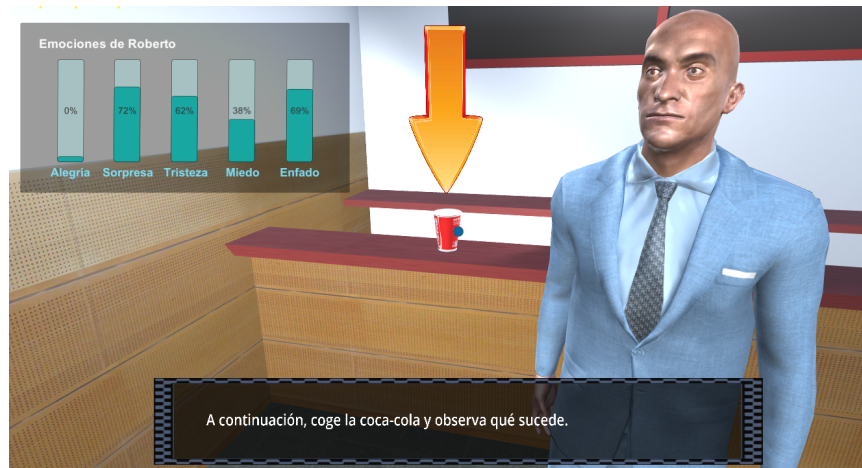


Figura 6.3: Emociones después de robar el móvil

La misión del jugador será la de robarle el móvil (cogiéndolo) a Roberto y después el refresco que estaba tomando, en este orden. Tras completar los dos robos, se procederá a realizar el cuestionario sobre el primer personaje que tratará sobre la coherencia que se ha encontrado en la reacción emocional de cada uno de ellos. No es necesario que el evaluador memorice los datos de las gráficas de las emociones ya que se volverán a mostrar las intensidades que se generaron justo en el momento de los robos. De hacerlo en un momento posterior, ocasionaría la pérdida de información debido al decaimiento de las emociones.

La aplicación solicitará que el usuario pulse una determinada tecla cuando esté preparado y, en ese momento, se le quitarán los controles de movimiento al jugador y aparecerá un panel con las preguntas superpuesto al

juego. Para tratar las respuestas se utiliza la escala Likert representada en la aplicación como un grupo de diez casillas de *checkbox* numeradas del 1 al 10, en el que 1 significa totalmente en desacuerdo y 10 totalmente de acuerdo. Además, el jugador podrá opcionalmente dar la explicación a su respuesta textualmente a través del recuadro de texto como se muestra en la Figura 6.4. En caso de que el jugador no conteste a alguna de las preguntas, la aplicación dará un aviso de requerimiento por medio de un cuadro de diálogo.

**Evaluación**

**Emociones después de robar el iPhone**

Emoción	Porcentaje
Alegría	0%
Sorpres	77%
Tristeza	64%
Miedo	48%
Enfado	72%

**¿Crees que las emociones son coherentes después de robar el iPhone?**

1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

Muy poco coherente Totalmente coherente

**Emociones después de robar la coca-cola**

Emoción	Porcentaje
Alegría	0%
Sorpres	52%
Tristeza	2%
Miedo	29%
Enfado	39%

**¿Crees que las emociones son coherentes después de robar la coca-cola?**

1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

Muy poco coherente Totalmente coherente

**Explica brevemente por qué.**

Figura 6.4: Primer cuestionario sobre los eventos de Roberto

Después de contestar a las preguntas y guardar las respuestas, la aplicación volverá al modo de juego y el jugador podrá empezar la siguiente evaluación del personaje Laura. Para ello, primero tendrá acercarse a ella por la espalda para darle un pequeño susto mientras que ella habla con una amiga y, a continuación, entregarle el móvil que le había robado a Roberto (Figura 6.5). Para entender la simulación de emociones de este personaje, cabe matizar que el jugador es un compañero de clase de Laura y que ella no sabe que el móvil es de su profesor. Estos detalles serán importantes para comprender los resultados de las evaluaciones que se mostrarán posteriormente.



Figura 6.5: El evaluador procede a entregar el móvil de Roberto a Laura después de darle un susto

Tras completar estas dos acciones, se iniciará un cuestionario con tres preguntas, similar al que se hizo con Roberto pero tratando los eventos relacionados con Laura. Cuando se termine de responder y guardar las respuestas, se iniciará la segunda escena.

### 6.2.3. Segunda escena: evaluación del estado de ánimo

En la segunda escena se repetirán los mismos pasos que en la primera, pero esta vez los personajes tendrán estado de ánimo. Por ello, en el archivo de configuración *CharactersConfig2.xml* solo será necesario añadir el estado de ánimo en cada uno de los personajes, con respecto al archivo de la primera escena:

```
CharactersConfig2.xml
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<Config>
  <Characters>
    <Character id="Roberto">
      <Mood>yes</Mood>
    </Character>
    <Character id="Laura">
      <Mood>yes</Mood>
    </Character>
  </Characters>
</Config>
```

```
</Characters>  
</Config>
```

En la interfaz de la aplicación, el estado de ánimo se representa mediante un emoticono con tres estados: neutral, positivo y negativo. Dado que el factor del estado de ánimo se trata de un número en coma flotante, al inicio de la su implementación se valoró la posibilidad de utilizar más estados (muy alto positivo, bajo negativo, etcétera) y animaciones para cada uno de ellos. Finalmente, no fue viable porque la aplicación ya era bastante compleja para un usuario normal y utilizar más estados con animaciones podría llegar a confundirle y mermar su atención. Además, no se encontró la forma de diferenciar estados como bajo negativo, alto negativo o muy alto negativo con animaciones diferentes.

Aparte del estado de ánimo, otra diferencia con respecto a la primera escena es la situación de partida de Roberto. Previamente habrá surgido un evento positivo para Roberto: le han aumentado el presupuesto para la investigación en la que lleva trabajando más de dos años. Por tanto, Roberto comenzará con un estado de ánimo positivo y con intensidades elevadas en las emociones positivas (Figura 6.6).

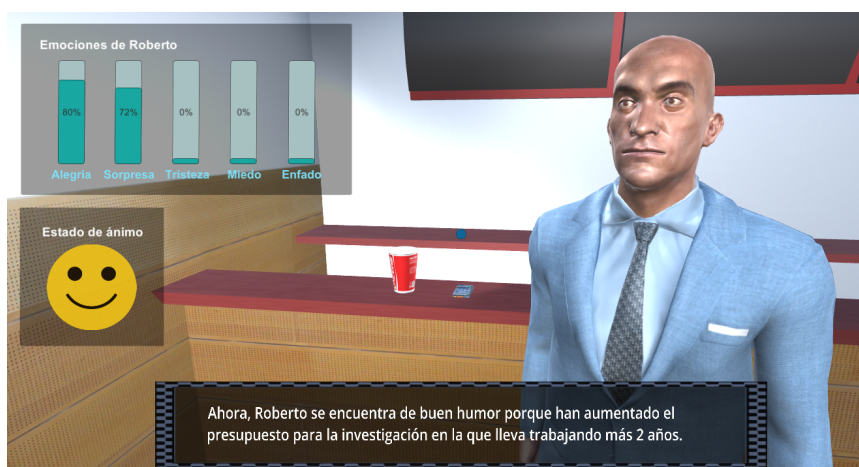


Figura 6.6: Situación inicial de Roberto en la segunda escena

Al principio se consideró empezar en la misma situación pero finalmente se descartó porque si no el primer evento de robo generaría el mismo estado emocional que sin el estado de ánimo, puesto que Roberto tendría un estado de ánimo neutral y no empezaría a hacer efecto sobre las emociones hasta el segundo robo. Sin embargo, las acciones a realizar son las mismas y en el mismo orden para que se puedan hacer las mismas preguntas en los cuestionarios y después compararlas. El punto de partida de Laura y las acciones realacionadas con ella siguen siendo las mismas respecto a la anterior escena. Al responder todas las preguntas sobre Roberto y Laura, comenzará la tercera escena.

#### **6.2.4. Tercera escena: evaluación de la personalidad**

Una vez más, se deben repetir las mismas acciones y en el mismo orden, pero en esta ocasión se evalúa el sistema completo con emociones, estado de ánimo y personalidad. Ahora, cada uno de los personajes tiene una personalidad distinta para observar las diferencias y comparar resultados en la evaluación. Roberto consta de una personalidad principalmente neurótica, mientras que Laura es de personalidad abierta a la experiencia. Los rasgos restantes de los dos personajes se mantienen en un nivel normal porque de cambiar podría anular los incrementos y decrementos de las emociones. Por ejemplo, si Roberto tuviera una personalidad neurótica y responsable, la sorpresa no se vería afectada según el mapeado de emociones de la Tabla 4.5. La configuración inicial de los personajes se encuentra en el archivo *CharactersConfig3.xml* de la siguiente manera:

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<Config>
  <Characters>
    <Character id="Roberto">
      <Mood>yes</Mood>
      <Personality>
        <Neuroticism>High</Neuroticism>
        <Openness>Normal</Openness>
        <Conscientiousness>Normal</Conscientiousness>
        <Extraversion>Normal</Extraversion>
        <Agreeableness>Normal</Agreeableness>
      </Personality>
    </Character>
    <Character id="Laura">
      <Mood>yes</Mood>
      <Personality>
        <Neuroticism>Normal</Neuroticism>
        <Openness>High</Openness>
        <Conscientiousness>Normal</Conscientiousness>
        <Extraversion>Normal</Extraversion>
        <Agreeableness>Normal</Agreeableness>
      </Personality>
    </Character>
  </Characters>
</Config>
```

La personalidad aparece a la derecha de la pantalla y se usa un gráfico de araña (Figura 6.7), debido a las cinco dimensiones del big five (abierto a la experiencia, neurótico, agradable, responsable y extrovertido). Cada vértice del pentágono representa el nivel máximo del rasgo y su interior se rellena dependiendo de él.

El evaluador debe contestar a los cuestionarios a medida que se desarrolle el juego, tal y como en la escenas anteriores. Sin embargo, tras completar el último de Laura, se realiza un cuestionario final (Figura 6.8) por cada personaje donde aparecen las gráficas de las emociones de las tres escenas (solo emociones, con estado de ánimo y con personalidad), organizadas en tres columnas y en dos filas por cada evento realizado. Primero evaluará las de Roberto y posteriormente las de Laura. La pregunta que debe contestar en este apartado es sobre cómo de coherente es la última escena comparada con las demás. También se le proporciona un recuadro de texto donde justificar su respuesta opcionalmente. Tras completar las preguntas, se cargará la siguiente y última escena.



Figura 6.7: Representación gráfica de la personalidad

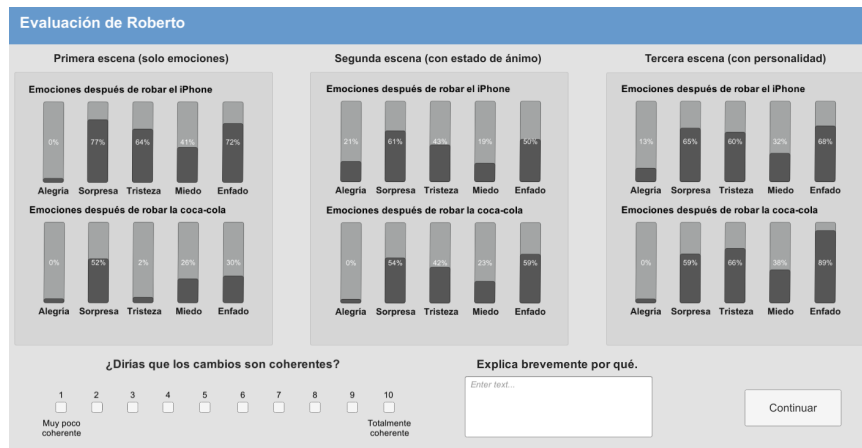


Figura 6.8: Cuestionario final de comparación de las tres escenas

### 6.2.5. Cuarta escena: comparación de personalidades

En esta última escena, el evaluador debe realizar los dos robos a Roberto en el mismo orden, pero con la diferencia de que esta vez Roberto no tiene una personalidad neurótica, sino agradable. La configuración se encuentra en el archivo *CharactersConfig3.xml* y solo se cambia el valor *High* del elemento *Neuroticism* por el *Normal* de *Agreeableness*, con respecto a la configuración de la tercera escena.

Tras completar los dos robos, aparecerá un cuestionario (Figura 6.9) con los diagramas de las emociones de la personalidad neurótica y la agradable para los eventos de robo. Las preguntas son sobre cómo de coherentes son las emociones comparando las dos personalidades y por qué.

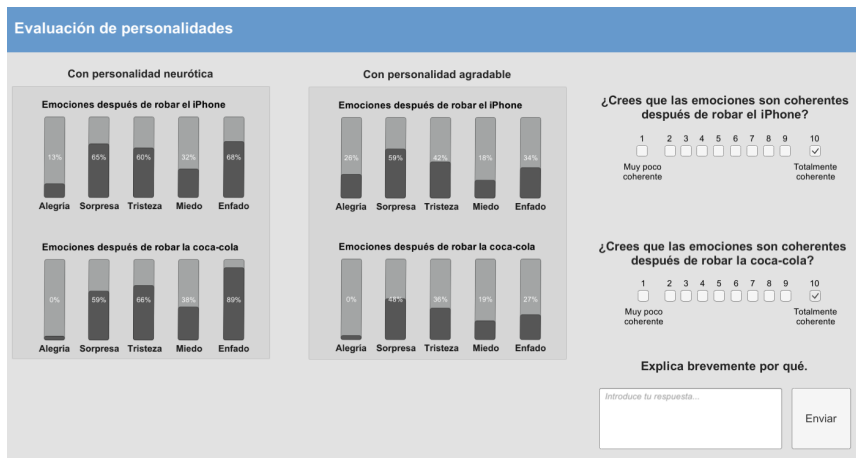


Figura 6.9: Comparación de resultados entre personalidad neurótica y agradable

Al finalizar el cuestionario, todas las respuestas se enviarán a través de una petición HTTP a la base de datos en Excel del formulario de Google Forms habilitado para recolectar las evaluaciones. Tras el envío, se mostrará una pantalla de final de la evaluación agradeciendo la participación al usuario y podrá cerrar la aplicación con un botón.

## 6.3. Resultados

Una vez finalizada la etapa de evaluación, los datos recolectados fueron analizados para los 11 participantes. Las preguntas de los cuestionarios fueron diseñadas para evaluar diferentes elementos del modelo. En esta sección, se presentan los resultados cuantitativos, aunque se dará información del *feedback* proporcionado por los usuarios en sus justificaciones.

### 6.3.1. Resultados de la evaluación de las emociones

En la primera escena se produce una primera toma de contacto con el modelo y la aplicación. Tras producirse los eventos que desencadenan las emociones, se le pregunta al usuario sobre la coherencia de las emociones. Deberá contestar a través una escala Likert, indicando el nivel de acuerdo o desacuerdo con la pregunta, siendo 1 totalmente en desacuerdo y 10 totalmente de acuerdo. Además, podrá justificar su respuesta textualmente. La Figura 6.10 representa este primer cuestionario.

Preguntas	Escala Likert									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: ¿Crees que las emociones son coherentes después de robar el iPhone?										
B: ¿Crees que las emociones son coherentes después de robar coca-cola?										
C: Explica brevemente tu respuesta.										
Preguntas	Escala Likert									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D: ¿Crees que las emociones son coherentes después de sorprender a Laura?										
E: ¿Crees que las emociones son coherentes después de darle el iPhone a Laura?										
F: Explica brevemente tu respuesta.										

Figura 6.10: Formulario de evaluación para las tres primeras escenas

La Tabla 6.11 muestra la media, varianza, desviación estándar y mediana de cada una de las preguntas del cuestionario anterior, a excepción de la C y F las cuales son de redacción. Como se puede ver en la pregunta A la mayoría de los usuarios coincide con puntuaciones muy parecidas. Después de robar el móvil las emociones son coherentes pero algunos usuarios remarcan que algunas emociones debería tener otros niveles de intensidades. Por ejemplo, dos evaluadores piensan que la tristeza no debería tener un valor tan alto de intensidad, debería de aumentar poco a poco con el tiempo y no tanto inmediatamente después de producirse el evento.

En la pregunta B también coinciden los usuarios en que las emociones no son para nada coherentes. Argumentan que si se produce un segundo robo, las emociones negativas pueden subir de intensidad, pero en ningún

Modelo	Media	Varianza	Desviación estándar	Mediana
Pregunta A	8.364	2.05	1.432	9
Pregunta B	3.09	3.537	1.881	3
Pregunta D	7.727	3.653	1.911	8
Pregunta E	9.181	1.785	1.336	10

Figura 6.11: Resultados obtenidos de la primera escena

caso bajar tal y como lo hace. Pocos se dan cuenta de que el segundo robo es independiente del primero y que *es como si hubiera olvidado lo que ha hecho antes*, según apunta una evaluadora. Cabe recordar que esto sucede porque los agentes aún no tienen el estado de ánimo ni la memoria a corto plazo para considerar eventos previos. Curiosamente, todas las evaluadoras mujeres siguieron el mismo razonamiento y preguntaron si las acciones son independientes antes de contestar.

Respecto a la pregunta D, los usuarios tienen opiniones dispares, a grandes rasgos las emociones les parecen coherentes pero subrayan el hecho de que depende de quién le dé el susto a Laura para desencadenar emociones. La mayoría defiende que si se trata de un amigo las emociones deben ser menos intensas, sobre todo en el miedo y el enfado. Todo lo contrario sucede con la pregunta E, los usuarios tienen claro que se generan bien, a pesar de que Laura olvida completamente el susto de antes.

### 6.3.2. Resultados de la evaluación del estado de ánimo

Partiendo de esta base se procede a realizar la segunda escena, en la que se prueba el estado de ánimo. Los cuestionarios siguen siendo los mismos que los de la escena anterior ya que visualmente no cambia nada, salvo los niveles de intensidad de las emociones. La Tabla 6.12 muestra la media, varianza, desviación estándar y mediana de cada una de las preguntas del cuestionario anterior, a excepción de las de redacción.

La media aritmética de la pregunta A es ligeramente menor que la de la escena anterior pero la varianza es muy alta y eso es debido a dos usuarios que valoraron con 4 la pregunta. Uno de ellos argumentaba que *aunque estaba muy alegre por los presupuestos, no es normal que muestre prácticamente los mismos valores robándole un iPhone que una coca-cola*. Los niveles de

Modelo	Media	Varianza	Desviación estándar	Mediana
Pregunta A	8.182	4.512	2.124	9
Pregunta B	8.091	2.81	1.676	8
Pregunta D	8.636	1.868	1.367	9
Pregunta E	8.727	2.017	1.42	9

Figura 6.12: Resultados obtenidos de la segunda escena

intensidades de esta escena estaban condicionados por el gran estado de ánimo que poseía el personaje Roberto. En el segundo robo del refresco, las emociones no incrementan demasiado porque el estado de ánimo en ese momento no es extremadamente malo. Lo que reclamaba este usuario era que sucediera lo mismo que en la anterior escena, olvidar lo que ha pasado previamente y simular de nuevo las emociones. El otro usuario puntuó con 4 porque reclamaba que el enfado fuera un poco más elevado en el primer robo y la tristeza subiera a la par que el enfado.

En la pregunta B ya se ve claramente la mejora con respecto a la primera escena (8.091 frente a 3.09). Los usuarios entienden que el estado emocional alcanzado tras el segundo robo es más coherente que antes, sin embargo echan en falta un poco más de nivel de intensidad en todas las emociones negativas por repetición de robo. Un evaluador comentaba *Mejor que antes pero me gustaría que el enfado subiera más*.

La media de la pregunta E es inferior porque los evaluadores piensan que las emociones negativas siguen siendo muy elevadas después de entregarle el iPhone. Piensan que el hecho de entregárselo debería mermar o incluso dejar a 0 la poca intensidad que quedaba de las emociones negativas, después de darle el susto a Laura.

### 6.3.3. Resultados de la evaluación de la personalidad

En la tercera escena se evalúa la componente de la personalidad, junto con las emociones y el estado de ánimo. En parte se añaden dos preguntas más que las realizadas hasta ahora. Con ellas, se pretende conseguir una valoración general del sistema por parte de los usuarios, a modo de resumen de lo que ha visto hasta el momento. La Tabla 6.13 muestra los resultados obtenidos con los mismos cuestionarios de escenas anteriores.

Modelo	Media	Varianza	Desviación estándar	Mediana
Pregunta A	9.364	0.777	0.882	9
Pregunta B	9.181	0.694	0.833	9
Pregunta D	9	0.727	0.853	9
Pregunta E	8.818	2.694	1.641	9

Figura 6.13: Resultados obtenidos de la tercera escena

La media de las preguntas supera el 9 y la varianza es muy pequeña en la mayoría. Al probar el sistema completo los usuarios comprenden que la simulación de las emociones es más completa con la personalidad que sin ella. Además, piensan que las emociones que cambian con cada rasgo de personalidad son las adecuadas y con el nivel de intensidad correcto.

Antes de pasar a la siguiente escena, se realiza un último cuestionario con las dos preguntas que se describieron anteriormente y sus justificaciones correspondientes. Esta vez se valora la coherencia de los cambios de cada escena que ha jugado el evaluador, a modo de comparación entre escenas y componentes combinados. Concretamente, la pregunta que se formula es *¿Dirías que los cambios son coherentes?* para cada uno de los personajes y se muestran todas las emociones que ha experimentado el jugador ordenadas por escena. Los resultados se encuentran en la Tabla 6.14 y ratifican lo que ya se demostró con los cuestionarios de esta escena.

Modelo	Media	Varianza	Desviación estándar	Mediana
Pregunta A	9.272	1.107	1.052	10
Pregunta B	9.182	0.876	0.936	9

Figura 6.14: Resultados obtenidos tras el cuestionario de visión general del sistema

#### 6.3.4. Resultados de la comparación de personalidades

En esta última escena, el jugador tendrá que repetir las acciones relacionadas con Roberto pero esta vez tendrá una personalidad más agradable en

lugar de neurótica. En este apartado se valora la coherencia de las emociones comparando entre las dos personalidades, pues en el cuestionario se muestran las emociones de Roberto con ambos rasgos. Las preguntas realizadas fueron las mismas que en las tres primeras escenas. La Tabla 6.15 muestra los resultados obtenidos.

Modelo	Media	Varianza	Desviación estándar	Mediana
Pregunta A	9	2.909	1.706	10
Pregunta B	8.455	2.901	1.499	9

Figura 6.15: Resultados obtenidos de la cuarta escena

Como se puede ver, con una personalidad agradable la mayoría de los usuarios valora positivamente las emociones que se generan porque pueden comparar rasgos de personalidad y comprenden que las negativas no aumenten tanto como antes. En el robo del refresco, los resultados tienen una media menor porque el nivel de intensidad de la tristeza cuando se produce el robo del refresco no acaba de convencer a la gente. Entienden que debería ser muy bajo o incluso no tener nada de tristeza.

### 6.3.5. Discusión

A continuación, se muestra una comparativa de los resultados obtenidos para las tres primeras escenas a través del diagrama de barras de la Figura 6.16. Las barras están agrupadas en cuatro grupos de tres que se corresponden con las cuatro preguntas de la escala Likert que se realizaron en las tres primeras escenas.

En la primera escena, se puede ver que la varianza y la desviación estándar alcanzan valores muy altos comparados con los que se obtienen en el resto de escenas, por lo que se puede deducir que las opiniones de los evaluadores son muy distintas para este caso. Sin embargo, la media de cada pregunta se mantiene en valores cercanos al 8, salvo en la segunda pregunta debido a que el robo del refresco se produce sin contar con el estado de ánimo del personaje.

En la segunda escena, se puede apreciar cómo los evaluadores coinciden más que en la primera. La varianza y desviación típica son menores por lo general. La mejora más significativa se encuentra en el segundo robo, puesto que esta vez los agentes cuentan con el estado de ánimo. Ahora, el personaje es capaz de recordar lo que ha experimentado previamente, como por ejemplo

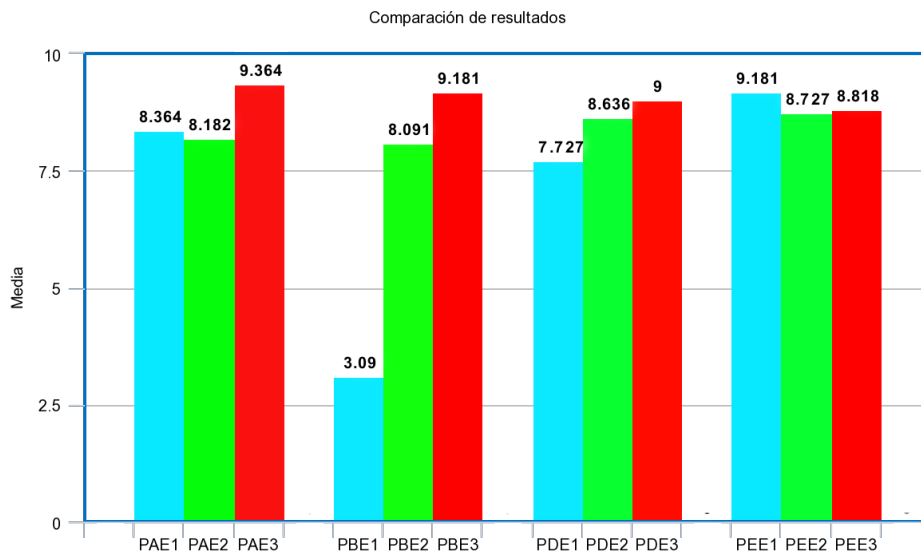


Figura 6.16: Comparativa de resultados de las tres escenas

el primer robo. De esta forma, la simulación de emociones ya puede responder a eventos continuos. Los resultados obtenidos muestran la mejora drástica de la pregunta B con respecto a la primera escena.

En la tercera escena, ya se ve claramente cómo añadiendo personalidad y estado de ánimo las opiniones de los evaluadores coinciden todavía más, alcanzando niveles los niveles más bajos de varianza y desviación estándar que se pueden encontrar en esta evaluación. La última escena no termina de convencer a los usuarios porque según los evaluadores las emociones negativas están ligeramente elevadas más de lo necesario. Sin embargo, sí encuentran una coherencia similar a la de las anteriores escenas dado que están comprando distintas personalidades en los agentes.



## Capítulo 7

# Conclusiones y Trabajo Futuro

### 7.1. Conclusiones

Después de finalizar el proyecto y explicar cada detalle de todos los resultados en este documento, es posible extraer las siguientes conclusiones según los objetivos que se marcaron al principio.

La investigación de los modelos computacionales y las teorías psicológicas de la emoción culminó en la adopción del modelo computacional FLAME como base para el modelado de emociones. Fue escogido principalmente por su modelo de emociones basado en técnicas de lógica difusa, pero su procesamiento se queda estancado cuando se quiere combinar con el concepto de estado de ánimo, puesto que en este punto el sistema sigue respondiendo a eventos pero de manera independiente. En este proyecto se ha diseñado e implementado un modelo de simulación de emociones para agentes virtuales, empleando lógica difusa de FLAME para el modelado más básico y añadiendo un nuevo componente de estado de ánimo y rasgos de personalidad, tal y como se había fijado como objetivo.

El estado de ánimo soluciona los problemas que tenía FLAME cuando un agente olvidaba lo que le había sucedido inmediatamente antes. Además añade nuevas funcionalidades para perfeccionar el estado emocional de salida. En cuanto a los rasgos de personalidad, se optó por basarse en el modelo que se ha convertido en un estándar para la psicología, el *Big Five*. El Modelo de los cinco grandes aborda la personalidad desde el punto de vista de cinco dimensiones y las descripciones de las emociones que ofrecían cada una de ellas sirvieron para formular una aproximación a la personalidad humana.

Una vez establecido el diseño teórico del modelado, se optó por integrarlo

en personajes humanoides dentro de un entorno virtual creado en Unity 3D. Se implementó principalmente separando los componentes emocionales, de personalidad y de estado de ánimo, de manera que se puedan realizar distintas combinaciones, apartando la personalidad o el estado del proceso de simulación de emociones.

Tras realizar algunas pruebas para comprobar cómo se comportaba el sistema en Unity 3D, se decidió desarrollar un videojuego de aventura conversacional para integrar los personajes en un entorno que simule la realidad. El motor Unity 3D facilitaba esta tarea, así que se optó por continuar trabajando con él. Con la aplicación terminada, se pidió a usuarios tanto expertos como inexpertos en la materia, realizar evaluaciones para comprobar el realismo del modelo y valorar la coherencia con la que se simulan las emociones.

De los resultados vistos en la evaluación, cabe destacar que si no se hubiera implementado el estado del ánimo y la personalidad, los resultados obtenidos hubieran estado muy por debajo de lo esperado. A medida que se combinaban todas las componentes, las valoraciones obtenidas eran más positivas y con mejores comentarios al respecto. Aunque aún quedan muchos aspectos a mejorar en la aplicación y a pesar de haber realizado pocas evaluaciones para lo que demanda un sistema de esta envergadura, los resultados obtenidos dan pie a pensar que puede ser de mucha utilidad para el avance de la modelización de emociones en agentes virtuales.

## 7.2. Trabajo futuro

Una vez finalizado el proyecto, analizados los datos de las evaluaciones y recapitulando todo el proceso que se ha llevado a cabo para construir este sistema, no cabe duda que se abren muchas líneas de investigación futura. Dado el tiempo limitado para el desarrollo del proyecto, no se pudo profundizar en cada una de las partes que componen el modelo propuesto e experimentar otras características que hubieran enriquecido el modelado de emociones tanto como se hubiera querido.

Sin embargo, este proyecto ha logrado cumplir todos los objetivos que se han propuesto en este documento. Pero aún queda mucho camino por recorrer para conseguir un sistema de simulación de emociones estandarizado que pueda ser usado en campos como la Inteligencia Artificial o Robótica. Ahora, se presentarán algunas ideas para futuras modificaciones del sistema.

El primer cambio que se sugiere trata sobre la organización del sistema para que un usuario pueda alterar más opciones del mismo. Por ejemplo, podría ser muy útil que en lugar de incluir eventos, como coger un objeto,

sea el usuario el que los defina mediante una configuración a través de archivos XML, como la que se llevó a cabo para cargar el estado de ánimo y la personalidad. Esto permitiría incluir un nivel más de personalización al sistema. Los pesos de la importancia de las relaciones entre el personaje y objetos u otros personajes podrían ser calculados partiendo del aprendizaje automático del entorno, en el que se ajusten los valores la necesidad de cada uno.

Otra de las posibles modificaciones futuras y de las más complicadas es realizar un ajuste en las ecuaciones emocionales. Vistos los resultados de las evaluaciones, en algunas situaciones los usuarios coincidían en que se podría calibrar mejor los niveles de intensidad, llegando a dar incluso cifras de a cuánto debería llegar o no sobrepasar cada emoción. La mayoría de los modelos computacionales los justifican argumentando que previamente se realizaron estudios y pruebas varias, pero no terminan de concretar muchos detalles de estos métodos. Para realizar esta modificación podría darse de nuevo el aprendizaje automático o mediante evaluaciones a usuarios, aunque los participantes deberán ser un número mucho más elevado que el de las que se hicieron en este proyecto.

En relación al ajuste de las emociones, otro posible cambio puede darse en la personalidad. Actualmente, la base sobre la que se fundamenta son las descripciones teóricas del *Big Five*, sobre las que se consigue un mapeado con las emociones disponibles. Se podrían explorar otros modelos más complejos sobre los que asentar la base de la personalidad.

Por último, además de contar con una respuesta emocional, sería beneficioso que el sistema también tuviera un comportamiento como reacción a su estado emocional. Expresiones faciales o planes entre distintos agentes podrían ser una buena solución.



## Chapter 8

# Conclusions and Future Work

### 8.1. Conclusions

After completing the project and explaining each detail of all the results in this document, it is possible to extract the following conclusions according to the objectives that were marked at the beginning.

The investigation of computational models and the psychological theories of emotion culminated in the adoption of the FLAME computational model as a basis for the process of generating emotions. It was chosen mainly for its model of emotions based on fuzzy logic techniques, but its processing remains stuck when combined with the concept of mood, since at this point the system continues to respond to events but independently. In this project, a model of emotion generation for virtual agents has been designed and implemented, using FLAME's fuzzy logic for the most basic generation and adding a new component of mood and personality traits.

The mood solves the problems had FLAME when an agent forgot what had happened immediately before. It also adds new features to improve the emotional state of output. Regarding personality traits, we chose to rely on the model that has become a standard for psychology, the *Big Five*. *The Model of the Big Five* addresses the personality from the five-dimensional point of view and the descriptions of the emotions that were use to formulate an approach to the human personality.

Once the theoretical design of the modeling was established, it was decided to integrate it into humanoid characters within a virtual environment created in Unity 3D. It was implemented mainly by separating the emotional, personality and mood components, so that different combinations can

be made, separating the personality or mood from the generating emotions process.

After performing some tests to check how the system behaved in Unity 3D, it was decided to develop a conversational adventure video game to integrate the characters in an environment that simulates reality. The Unity 3D engine facilitated this task, so it was decided to continue working with it. With the finished application, both expert and inexperienced users were asked to perform evaluations to check the realism of the model and assess the coherence of the generated emotions.

Given the results of the evaluation, it is worth to explain that if the mood and personality had not been implemented, the results obtained would have been much worse than it expected. As all the components were combined, the obtained assessment were more positive and with better commentaries on the matter. Although, there are still many aspects to be improved in the application and despite having made a few evaluations for what a system of this magnitude demands, the results obtained give a reason to think that it can be very useful for the advance of the generation of emotions.

## 8.2. Future Work

Once the project is finished, analyzing the data of the evaluations and recapitulating the whole process that has been carried out to build this system, there is no doubt that many lines of future research are opened. Given the limited time for the development of the project, it was not possible to deepen in each of the parts that form the proposed model and to experience other characteristics that would have enriched the generation of emotions.

However, this project has managed to fulfill all the objectives that have been proposed in this document. But there is still a long way to go to achieve a standardized emotion generation system that can be used in fields such as Artificial Intelligence or Robotics. Now, some ideas for future modifications of the system will be presented.

The first change that is suggested is about the organization of the system so that a user can change more options of it. For example, it could be very useful that instead of including events, such as picking up an object, it is the user who defines them through a configuration through XML files, such as the one carried out to load the mood and the personality. This would allow to include one more level of customization to the system. The weights of the importance of the relationships between the character and objects or other characters could be calculated starting from the automatic learning of the

---

environment, in which the values fit the need of each one.

Another possible and future modification is to make an adjustment in the emotional equations. Having seen the results of the evaluations, in some situations the users agreed that intensity levels could be better calibrated, even they give values of how much the emotion should reach or not exceed. Most of the computational models justify them arguing that previously several studies and tests were carried out, but they do not finish specifying many details of these methods. To carry out this modification, automatic learning or user evaluations could be used again, although the participants must be a higher number than the ones that were participated in this project.

In relation to the adjustment of emotions, another possible change can occur in the personality. Currently, the basis on which it is based are the theoretical descriptions of the Big Five, on which a mapping with the available emotions is achieved. Other more complex models could be explored on which the personality could base on.

Finally, in addition to having an emotional response, it would be beneficial for the system to also have a behavior as a reaction of their emotional state. Facial expressions or plans between different agents could be a great solution.



# Bibliografía

*Y así, del mucho leer y del poco dormir,  
se le secó el cerebro de manera que vino  
a perder el juicio.*

Miguel de Cervantes Saavedra

- ALLPORT, G. W. *Personality: A psychological interpretation*. 1937.
- ARNOLD, M. B. *Emotion and personality*. *Columbia University Press*, 1960.
- BARRICK, M. R. y MOUNT, M. K. The big five personality dimensions and job performance: a meta-analysis. *Personnel psychology*, vol. 44(1), páginas 1–26, 1991.
- BECHARA, A., DAMASIO, H., DAMASIO, A. R. y LEE, G. P. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of Neuroscience*, vol. 19, páginas 5473–5481, 1999.
- BECKER-ASANO, C. *WASABI for affect simulation in human-computer interaction*. 2014.
- BEE, N., POLLOCK, C., ANDRÉ, E. y WALKER, M. Bossy or wimpy: expressing social dominance by combining gaze and linguistic behaviors. En *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, páginas 265–271. Springer, 2010.
- BOLLES, R. C. y FANSELOW, M. S. A perceptual defensive recuperative model of fear and pain. *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 3(2), páginas 291–301, 1980.
- BROEKENS, J., DEGROOT, D. y KOSTERS, W. A. Formal models of appraisal: Theory, specification, and computational model. *Cognitive Systems Research*, vol. 9(3), páginas 173–197, 2008.

- CATTELL, R. B. Personality and motivation structure and measurement. 1957.
- D ERRICO, F. y POGGI, I. *Emotions and Personality in Personalized Services*. Springer, 2016.
- DAMASIO, A. R. y SUTHERLAND, S. Descartes error: Emotion, reason and the human brain. *Nature*, vol. 372(6503), páginas 287–287, 2008.
- DIAS, J., MASCARENHAS, S. y PAIVA, A. Fatima modular: Towards an agent architecture with a generic appraisal framework. páginas 44–56, 2014.
- EKMAN, P. An argument for basic emotions. *Cognition and emotion*, vol. 6(3-4), páginas 169–200, 1992.
- EL-NASR, M. S., YEN, J. y IOERGER, T. R. Flame-fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-agent systems*, vol. 3(3), páginas 219–257, 2000.
- EYSENCK, H. J. Dimensions of personality: 16, 5 or 3? criteria for a taxonomic paradigm. *Personality and individual differences*, vol. 12(8), páginas 773–790, 1991.
- FORGAS, J. P. Mood and judgment: the affect infusion model (aim). *Psychological bulletin*, vol. 117(1), página 39, 1995.
- FRIJDA, N. H. *The emotions*. Cambridge University Press, 1986.
- FRIJDA, N. H. ET AL. The psychologists' point of view. *Handbook of emotions*, vol. 2, páginas 59–74, 2000.
- GEBHARD, P. Alma: a layered model of affect. páginas 29–36, 2005.
- GROSS, J. J. y BARRETT, L. F. Emotion generation and emotion regulation: One or two depends on your point of view. *Emotion review*, vol. 3, páginas 8–16, 2011.
- H. A. SIMON, L. F. B., LEWIS, M. y HAVILAND-JONES, J. M. *Handbook of emotions*. Guilford Publications, 2016.
- HUDLICKA, E. Guidelines for designing computational models of emotions. *International Journal of Synthetic Emotions (IJSE)*, vol. 2, páginas 26–79, 2011.
- KLIR, G. y YUAN, B. *Fuzzy sets and fuzzy logic*, vol. 4. Prentice hall New Jersey, 1995.
- LAZARUS, R. S. *Emotion and adaptation*. Oxford University Press on Demand, 1991.

- LEDoux, J. *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon and Schuster, 1998.
- MAIRESSE, F. y WALKER, M. A. Towards personality-based user adaptation: psychologically informed stylistic language generation. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 20(3), páginas 227–278, 2010.
- MARSELLA, S. y GRATCH, J. Computationally modeling human emotion. *Communications of the ACM*, vol. 57, páginas 56–67, 2014.
- MARSELLA, S., GRATCH, J., PETTA, P. ET AL. Computational models of emotion. *A Blueprint for Affective Computing-A sourcebook and manual*, vol. 11, páginas 21–46, 2010.
- MARSELLA, S. C. y GRATCH, J. Ema: A process model of appraisal dynamics. *Cognitive Systems Research*, vol. 10(1), páginas 70–90, 2009.
- MCRORIE, M., SNEDDON, I., MCKEOWN, G., BEVACQUA, E., DE SEVIN, E. y PELACHAUD, C. Evaluation of four designed virtual agent personalities. *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 3(3), páginas 311–322, 2012.
- MEHRABIAN, A. Framework for a comprehensive description and measurement of emotional states. *Genetic, social, and general psychology monographs*, 1995.
- ORTONY, A., CLORE, G. L. y COLLINS, A. *The cognitive structure of emotions*. Cambridge university press, 1990.
- POURJAVAD, E. y MAYORGA, R. V. A comparative study and measuring performance of manufacturing systems with mamdani fuzzy inference system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, páginas 1–13, 2017.
- PRICE, D. D., BARRELL, J. E. y BARRELL, J. J. A quantitative-experiential analysis of human emotions. *Motivation and Emotion*, vol. 9(1), páginas 19–38, 1985.
- REISENZEIN, R. A short history of psychological perspectives on emotion. *The Oxford handbook of affective computing*. Oxford University Press, USA, páginas 21–37, 2015.
- REISENZEIN, R. y DÖRING, S. A. Ten perspectives on emotional experience: Introduction to the special issue. 2009.
- REISENZEIN, R., HUDLICKA, E., DASTANI, M., GRATCH, J., HINDRIKS, K., LORINI, E. y MEYER, J.-J. C. Computational modeling of emotion: Toward improving the inter-and intradisciplinary exchange. *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 4, páginas 246–266, 2013.

- ROSEMAN, I. J., SPINDEL, M. S. y JOSE, P. E. Appraisals of emotion-eliciting events: Testing a theory of discrete emotions. *Journal of personality and social psychology*, vol. 59(5), página 899, 1990.
- RUSSELL, J. A. Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological review*, vol. 110(1), página 145, 2003.
- SIMON, H. A. *Motivational and emotional controls of cognition*. American Psychological Association, 1967.
- STRONGMAN, K. T. *The Psychology of Emotion: From everyday life to theory (5th ed.)*. John Wiley & Sons, 2003.
- SUN, R. Introduction to computational cognitive modeling. *Cambridge handbook of computational psychology*, páginas 3–19, 2008.
- VELSQUEZ, J. Modeling emotions and other motivations in synthetic agents. *Aaai/iaai*, páginas 10–15, 1997.

