



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO

---



MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

GENERACIÓN DE EXPRESIONES FACIALES BASADAS EN EMOCIONES PARA  
CRIATURAS VIRTUALES

Octubre 2017

Nombre del alumno: Rodrigo Vidal López  
Tutor académico: Dr. Marco Antonio Ramos Corchado  
Tutores adjuntos: Dra. Vianney Muñoz Jiménez,  
Dr. José Raymundo Marcial Romero  
Línea de Acentuación: Ciencias Computacionales

*“No fabriques fantasías, cuando quieras realidades...”*

*Odin Dupeyron*

*“Es correcto pensar lo que quieres hacer, hasta que llega el momento de hacer lo que debes hacer.”*

*Jimmy Morris (Dennis Quaid) - The Rookie*

# Agradecimientos

En mi vida agradezco a todas aquellas personas que conocí, ya que debido a eso me impulsaron positiva o negativamente a conseguir mis metas, lo cual aprecio, ya que sin esas motivaciones probablemente hubiese sido mucho más difícil lograrlo.

Agradezco a mi familia, porque más que un apoyo, aprendí muchas cosas importantes, cosas que me hicieron desear el éxito y una vez de alcanzarlo...mantenerlo.

A mis profesores, porque aprendí dentro y fuera de las aulas, incluso con algunos poder llegar a formar una amistad y que siempre estuvieron ahí para apoyarme en diversos momentos.

Destaco, en esta última etapa al Dr. Marco Antonio Ramos Corchado, por ser mi asesor de tesis y más aún por darme la oportunidad de realizar una maestría y todas la experiencia adquirida, tanto personal como académicamente. Por supuesto no puedo dejar de lado a la Dra. Vianney Muñoz Jiménez, por el tiempo invertido en revisar mi trabajo y el apoyo brindado.

Los estudios de maestría me pusieron enfrente una experiencia de vida, la cual fue realizar una estancia de investigación en Cinvestav Guadalajara, a quienes también agradezco por recibirme para trabajar, además de mostrarme otra forma de trabajar, muy buenos amigos que deje allá, y sobre todo la experiencia de vivir en otro estado, vivir solo, hacerse cargo de uno, lo que me lleva a agradecerle a Fernando Rebollar Castelan, que por fortuna nos toco compartir casa y la compañía fue algo que me ayudo a que esta experiencia fuera agradable durante la estancia, ya que es gran amigo mio.

A CONACyT por todo el apoyo económico, sin este apoyo sería muy difícil y me atrevería a decir que imposible realizar un estudio de posgrado, debido a que combinar el trabajo de investigación y convencional es complejo.

Agradezco a Cynthia Chrystell Cruz Cruz, mi esposa, quien me ha acompañado en las buenas y en las malas, quien ha tenido que soportarme día a día y quien sabe perfectamente el costo de este logro, más aún desde la perspectiva hacia los estudios de posgrado en la iniciativa privada, sin embargo ella se convirtió en mi complice, entendió de lo que se trataba esto y me apoyo en todo momento.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que no creyeron en mí así como a las que jamás conocí, porque tal vez esta historia pudo haberse escrito diferente...

## Resumen

La generación de expresiones faciales basadas en emociones para criaturas virtuales es un tema relevante entre la comunidad científica en áreas relacionadas como Psicología, Neurociencias y por supuesto las Ciencias Computacionales, debido a la interacción de manera creciente entre el ser humano y las computadoras, buscando tener una mayor empatía entre ambos. En este trabajo de investigación se estudian los comportamientos humanos, específicamente las expresiones faciales, ya que estas son un aspecto fundamental en las emociones que genera el ser humano al poder discutir si podemos o no expresar en el rostro algo que no sea una emoción. En el contenido de esta tesis se introducen algunos conceptos básicos de la Inteligencia Artificial, como agentes inteligentes, la computación bio-inspirada, entre otros, para lograr que una criatura virtual represente 5 emociones básicas (alegría, tristeza, miedo, enojo y desagrado) en su rostro, la generación de estas emociones son detonadas mediante estímulos que se encuentran en un ambiente virtual y a la vez mostradas en una expresión facial. De esta manera la propuesta que se hace en esta tesis es modelar una criatura virtual embebiendo en ella una base de conocimiento inicial generada con base en Neurociencias y generar estímulos con diversas características, tomando como caso de estudio los colores que están relacionados a las emociones básicas, para después introducir a la criatura virtual y a los estímulos de manera que estos últimos exciten a la criatura virtual y esta pueda generar la expresión facial de acuerdo a su base de conocimiento inicial, lo que permite mostrar un comportamiento que se asemeje un poco más al que tendría una persona real.

# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	2
1.2. Justificación . . . . .	3
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.3.1. Objetivo general . . . . .	4
1.3.2. Objetivos particulares . . . . .	4
1.4. Metodología . . . . .	4
1.5. Organización del documento . . . . .	6
<b>2. Marco teórico</b>	<b>7</b>
2.1. Agentes inteligentes . . . . .	7
2.2. Las emociones . . . . .	8
2.3. Sistema Facial Action Coding System (FACS) . . . . .	9
2.4. Juegos serios . . . . .	11
2.5. Computación Bio-Inspirada . . . . .	12
<b>3. Estado del arte</b>	<b>14</b>
3.1. Arquitecturas cognitivas . . . . .	14
3.1.1. Arquitectura cognitiva iCub . . . . .	15
3.1.2. Arquitectura cognitiva Kismet . . . . .	16
3.1.3. Arquitectura cognitiva <i>Kuayalotl</i> . . . . .	17
3.2. Microexpresiones . . . . .	17
3.3. Action Units . . . . .	19
3.4. Diadema neuronal Emotive EPOC . . . . .	21
3.5. La expresión de las emociones en el hombre y los animales . . . . .	23
3.6. ALICE . . . . .	24
3.7. Alfred . . . . .	25
3.8. FaceShift Studio . . . . .	28

3.9. Sophia, The Robot . . . . .	29
<b>4. Marco metodológico</b>	<b>32</b>
4.1. Arquitectura conginitiva <i>Kuayalotl</i> . . . . .	32
4.2. Complementación de un diccionario de AU's . . . . .	33
4.3. Modelado de un rostro virtual humanoide . . . . .	34
4.3.1. Criaturas virtuales humanoides genéricas y MakeHuman	37
4.4. Integración de una criatura virtual en el ambiente . . . . .	37
4.4.1. <i>Prefabs Unity</i> . . . . .	38
4.5. Modificación del ambiente virtual utilizando la teoría psico- evolucionista de las emociones . . . . .	40
4.5.1. Teoría psico-evolucionista de las emociones . . . . .	40
<b>5. Propuesta</b>	<b>41</b>
5.1. Teoría de agentes y base de conocimiento inicial . . . . .	41
5.2. Construcción de un estímulo . . . . .	42
<b>6. Experimentación y resultados obtenidos</b>	<b>46</b>
6.1. Análisis de señales EGG . . . . .	47
6.2. Pruebas con un estímulo . . . . .	51
6.3. Pruebas con más de un estímulo . . . . .	55
<b>7. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>59</b>
7.1. Conclusiones . . . . .	59
7.2. Trabajo futuro . . . . .	60
<b>8. Artículos</b>	<b>61</b>
8.1. A Neuroscientific-based Mechanism to Represent Emotions th- rough Facial Expressions in Virtual Creatures . . . . .	61

# Índice de tablas

2.2.	AU's que intervienen para la generación de expresiones de las emociones básicas, donde los números de la columna "AU's" representa el conjunto de AU's que se activan. . . . .	10
2.1.	Descripción de acción de las AU's utilizadas en las emociones básicas . . . . .	11
3.1.	Componentes de la arquitectura general para regulación emocional: entradas y salidas . . . . .	18
3.2.	Especificaciones de la diadema neuronal Emotiv EPOC [1] . . . . .	22
4.1.	Relación de las emociones y los colores según Plutchik . . . . .	40
5.1.	Clasificación de los colores por su peso visual, de acuerdo a su saturación y oscuridad. . . . .	43

# Índice de figuras

2.1. La interacción con el ambiente se da gracias a los sensores y efectores del mismo . . . . .	8
2.2. Ejemplo de una criatura virtual o avatar en el juego basado en realidad aumentada Pokemon Go! en 2016 . . . . .	8
2.3. FACS, clasificación de cada una de las AU's en relación a las seis emociones básicas [2]. . . . .	10
3.1. Arquitectura Cognitiva Genérica, las arquitecturas cognitivas contienen los componentes mostrados en el diagrama, el cual está basado en la propuesta de Laird [3] . . . . .	16
3.2. Diagrama de arquitectura de regulación emocional que se muestra en [4], mostrando una propuesta basada en evidencia neutral y teorías psicológicas. . . . .	19
3.3. Microexpresión involuntaria de una atleta, tomada de la revista <i>Business Insider, Science</i> [5] . . . . .	20
3.4. Rostro con las marcas de los músculos debajo de la piel. Paul Ekman Group [6] . . . . .	20
3.5. Colocación de Emotive EPOC para la lectura de las ondas cerebrales en tiempo real [1] . . . . .	21
3.6. Mapa de sensores de la diadema Emotiv EPOC [1]. . . . .	22
3.7. Musculatura facial proporcionada por Darwin [7]. . . . .	23
3.8. Similitudes de las expresiones faciales entre el hombre y los animales [7]. . . . .	23
3.9. Emociones básicas propuestas por Ekman [7]. . . . .	24
3.10. ALICE: Algunos ejemplos de diferentes expresiones faciales [8] . . . . .	26
3.11. ALFRED: Agente virtual Alfred en Horde 3D y Control FACS [9] . . . . .	27
3.12. Hardware opcional para poder controlar a Alfred [9] . . . . .	28
3.13. Etapas para la generación de una animación en FaceShift [10] . . . . .	29

3.14. Mimetización de las expresiones faciales con FaceShift Studio [10] . . . . .	30
3.15. Sophia, El Robot creado por Hanson Robotics, 2016 [11] . . . . .	31
4.1. Mapeo de componentes del cerebro que influyen en el estado emocional, de acuerdo con [12]. . . . .	34
4.2. Diccionario de AU's [13] . . . . .	35
4.3. Modelado de malla generada por Blender para el avatar utilizado en este trabajo. . . . .	35
4.4. <i>Sculpt Mode</i> de Blender, que permite la manipulación del avatar. . . . .	36
4.5. Uso de <i>Shape Keys</i> para la gesticulación del avatar. . . . .	36
4.6. Avatar creado en MakeHuman. . . . .	38
4.7. Migración de Blender a Unity 3D con las Action Units. . . . .	39
4.8. Ejemplo de <i>prefab</i> en Unity 3D. . . . .	39
5.1. Estímulo representado con valores numéricos propuestos . . . . .	45
6.1. Estímulo colocado en el ambiente virtual. . . . .	46
6.2. Actividad eléctrica durante los estados de ondas cerebrales (cps: ciclos por segundo). Beta: actividad alta, Alfa: alerta relajada, Theta: susceptibilidad profunda, Delta: no consciente. Obtenida de [14]. . . . .	47
6.3. Calidad de contacto entre los sensores y el cuero cabelludo de la diadema Emotiv EPOC. . . . .	48
6.4. Pruebas realizadas en TestBench con duración de 1 minuto cada prueba con un color. . . . .	49
6.5. Pruebas realizadas en TestBench con duración de 1 minuto cada prueba con un color. . . . .	50
6.6. Estímulo colocado en el ambiente virtual y la generación de expresiones faciales del avatar ante ese estímulo. . . . .	52
6.7. Peso visual del color negro . . . . .	52
6.8. Peso visual del color amarillo que representa la emoción de la alegría . . . . .	53
6.9. Peso visual del color rojo que representa la emoción de enojo . . . . .	53
6.10. Peso visual del color azul que representa la emoción de tristeza . . . . .	54
6.11. Peso visual del color verde que representa la emoción de miedo . . . . .	54
6.12. Peso visual del color morado que representa la emoción de desagrado . . . . .	55

6.13. Competencia entre tres estímulos de acuerdo a su peso visual .	56
6.14. Prueba con tres estímulos, con variación de tamaño, posición y color . . . . .	57
6.15. El parámetro de la distrinución interviene de manera más notable en esta prueba, además de los otros tres parámetros .	58

# Capítulo 1

## Introducción

Las expresiones faciales actualmente están siendo estudiadas por los investigadores de diversas áreas del conocimiento, en específico las Ciencias de la Conducta, Neurociencias y por supuesto las Ciencias Computacionales, esta última sustentada en la Vida e Inteligencia Artificial, todas con el fin de comprender la conducta humana [15].

El interés en el estudio de las expresiones faciales radica en el origen y la medición de las emociones [16]. Por otra parte, la perspectiva anatómica [15] menciona que la estructura de los músculos del rostro es el responsable de la generación de las expresiones faciales, proporcionando así la base para desarrollar modelos computacionales de la cara para representar posibles expresiones faciales basadas en emociones en personajes animados o avatares, también llamados criaturas virtuales.

El desarrollo de este proyecto de investigación contribuirá con la generación de un modelo computacional capaz de representar emociones a través de expresiones faciales en un ambiente virtual, por ejemplo un sistema de entrenamiento virtual, donde se requiera una retroalimentación más cercano a la realidad que lo que proporciona la tecnología actual entre un usuario y el avatar en el ambiente virtual.

### 1.1. Planteamiento del problema

En los ambientes virtuales se presenta el problema de generar expresiones faciales por computadora, basadas en cinco emociones básicas (*alegría, enojo, miedo, tristeza y desagrado*) [17], que permita retroalimentar

al usuario ante una situación que se presente.

La Inteligencia Artificial (IA) propone técnicas de regulación emocional, tomando como base modelos de la Psicología como el modelo procedural de Gross [18], el cual es aplicado por Bosse [19] conocido como *Modelo de Regulación Emocional para Criaturas Virtuales*. Este modelo consiste en la evaluación y reevaluación el estado emocional de una criatura virtual que tiene como base un estado emocional neutro y tratando de que la criatura virtual se incline a un estado emocional positivo o negativo.

El presente trabajo de investigación busca desarrollar un modelo computacional para la generación de expresiones faciales basadas en emociones, con el fin de obtener criaturas virtuales que exhiban estas expresiones.

## 1.2. Justificación

Actualmente, numerosas actividades que realiza el ser humano están siendo asistidas por sistemas computacionales, que van desde sistemas administrativos o de gestión hasta sistemas industriales de producción.

Los usuarios deben ser entrenados de acuerdo a su área de conocimiento, por lo cual las organizaciones adquieren sistemas de entrenamiento virtual que permitan al usuario capacitarse en un entorno productivo para no afectar los procesos de la organización.

Por lo tanto, es necesario generar ambientes virtuales los cuales sean cercanos a la realidad para generar empatía con los seres humanos. Estos ambientes virtuales deberán contar con entidades que pueblen el medio ambiente y asistan al usuario en las actividades a realizar. Las entidades (agentes) deberán contar con una personalidad autónoma [20], que permita retroalimentar al usuario en las tareas encomendadas, tales como: entrenamiento en cirugías médicas, entrenamiento en prevención de desastres naturales, juegos serios [21], entre otros.

El uso de las emociones es una herramienta que utilizan expertos en la teoría del comportamiento humano como sistema de retroalimentación, sobre actividades y tareas a realizar.

La IA hace uso de la teoría del comportamiento emocional [4] para generar agentes virtuales que mimetizan emociones que son observadas por el usuario y que este actúe en consecuencia.

El caso de estudio estará basado en la construcción de una criatura virtual capaz de exhibir expresiones faciales de acuerdo a estímulos provenientes

de diferentes sensores o señales que contarán con una intensidad, lo que desencadenará una expresión facial.

En la actualidad, hasta donde se tiene conocimiento no existen sistemas que tomen en cuenta la regulación emocional en las personas, es decir, los estímulos que provienen del ambiente virtual pueden influir de manera distinta a cada criatura virtual que lo habita.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Generar expresiones faciales en criaturas virtuales basadas en las cinco emociones básicas (enojo, alegría, tristeza, miedo y disgusto).

### **1.3.2. Objetivos particulares**

1. Desarrollar un modelo computacional bio-inspirado de atención emocional para generar expresiones faciales en criaturas virtuales.
2. Evaluar el modelo computacional mediante estímulos en el ambiente virtual, conforme a teorías psicológicas y neurocientíficas y observarlos en un motor físico.
3. Observar con el apoyo de una diadema neuronal [22] las señales encefalográficas que genera el cerebro y así construir una base de conocimiento inicial para una criatura virtual.

## **1.4. Metodología**

En este apartado se presenta la metodología propuesta para la elaboración de esta investigación.

- Revisión del estado del arte.
  - Lectura de artículos relacionados con el tema de investigación, es decir, la relevancia que tiene el tema en campos como Psicología, Neurociencias y Ciencias Computacionales, además del cómo se ha abordado el tema, los problemas planteados y las soluciones que

se han generado, de esta manera se puede identificar una posible aportación a la que esta dirigido este trabajo de investigación.

- Identificar las arquitecturas cognitivas que propone la IA para el estudio de las emociones.
  - Existen diversas arquitecturas propuestas por la IA que involucren el aspecto emocional [3], [23], [24], en esta etapa se revisarán los módulos que componen dichas arquitecturas.
- Modelar un rostro humano virtual.
  - Utilización de herramientas computacionales como Blender y Unity para crear un rostro virtual, lo cual servirá para mostrar las expresiones que se generen.
- Diseño de una interfaz para la comunicación del sistema.
  - Implementación de estímulos para la influencia en el ambiente sobre el avatar virtual.
- Realización de pruebas.
  - Verificar de acuerdo a la entrada de parámetros bajo el sistema, la correspondencia con la expresión facial que se debe generar.
- Análisis de resultados obtenidos.
  - Comparar los resultados proporcionados por las teorías psicológicas y la realización de pruebas basadas en neurociencias para poder aplicarlos a las ciencias computacionales, es decir, el poder embeber un módulo de regulación emocional en una criatura virtual.
- Conclusiones y trabajo futuro.
  - En esta etapa, se presentan las conclusiones del trabajo de investigación con base al análisis y resultados de las etapas previas. Por otro lado, se plantean los posibles trabajos futuros que permitirán enriquecer el trabajo relacionado en esta investigación.

## 1.5. Organización del documento

La presente tesis está conformada por 8 capítulos, de los cuales el primero (Introducción) ya se abordó describiendo el problema a tratar en el trabajo de investigación, así como los objetivos a los que se quiere llegar. Por lo tanto, la organización del documento se presenta a continuación:

- Capítulo 2: Marco teórico - En este capítulo se abordan los conceptos utilizados en esta investigación, debido a que es importante conocerlos ya que ayudan a introducir el tema y su relación con la investigación presente.
- Capítulo 3: Estado del arte - En él se describen los trabajos relacionados con el tema de investigación, revisando que se ha realizado en estos trabajos, pudiendo abstraer algunas características y herramientas de interés en el tema.
- Capítulo 4: Marco metodológico - Aquí se describen las distintas etapas del proceso para realizar esta investigación, los recursos que se utilizarán, así como detalles acerca de la realización.
- Capítulo 5: Propuesta - En este apartado se encuentra lo que se propone realizar en el trabajo de investigación utilizando un caso de estudio en particular.
- Capítulo 6: Experimentación y resultados obtenidos - Se reportan los experimentos realizados con base en la propuesta para su posterior análisis y poder concluir sobre el trabajo.
- Capítulo 7: Conclusiones y trabajo futuro - En este capítulo se muestran algunas conclusiones del trabajo, además de algunas sugerencias para posibles trabajos futuros retomando el trabajo presente.
- Capítulo 8: Artículos - Se muestra la escritura de un artículo como resultado de este trabajo de investigación.

# Capítulo 2

## Marco teórico

En las siguientes secciones de este capítulo, se presentan algunos conceptos importantes para la comprensión del tema de investigación presentado. Además de algunos de los trabajos más relevantes relacionados con el tema.

### 2.1. Agentes inteligentes

Existe una falta de consenso en cuanto a la definición de un agente inteligente. Sin embargo Wooldrige [25] utiliza la siguiente definición.

Los **agentes inteligentes** son sistemas de computadora situados en un ambiente, capaces de actuar de manera autónoma para cumplir con los objetivos para los cuales fueron diseñados. La interacción de un agente con su ambiente se da gracias a sus sensores y efectores (Figura 2.1). Mediante los sensores, el agente es capaz de conocer su estado actual y del ambiente en el que está inmerso, así como también de mantener un estado de inercia sobre los cambios en el ambiente realizados por él mismo, o por una entidad externa al agente.

Derivado de un agente inteligente y sistemas multiagente, es posible generar criaturas virtuales o avatares, siendo estos entes informáticos que están inmersos en un ambiente virtual tridimensional (3D) y consisten de una representación física y de inteligencia. La parte física es un modelo en tres dimensiones que, generalmente, representa a un ser vivo (Figura 2.2). De igual manera, la inteligencia de la criatura es producida por un agente inteligente. Dicha inteligencia le permite desarrollarse en el ambiente para alcanzar las metas que se le encomiendan [26].

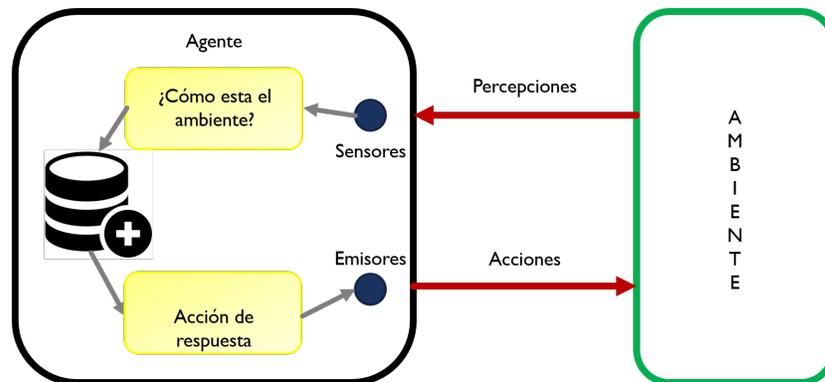


Figura 2.1: La interacción con el ambiente se da gracias a los sensores y efectores del mismo



Figura 2.2: Ejemplo de una criatura virtual o avatar en el juego basado en realidad aumentada Pokemon Go! en 2016

## 2.2. Las emociones

Existe diversos puntos de vista y discusiones acerca de la mejor manera de definir y de operar las emociones, los terapeutas cada vez más acuerdan

la centralidad de las emociones a la salud y al cambio psicológicos [27]. La investigación sugiere que el reconocimiento exacto de las emociones es fundamental para la salud psicológica, y la mayoría de los enfoques terapéuticos principales tratan de abordar los déficits en la conciencia emocional. Las intervenciones también se esfuerzan por regular las emociones, con la terapia cognitivo-conductual típicamente trabajando para reducir las emociones negativas como la ansiedad y la depresión, y los terapeutas experimentales y psicodinámicos para aumentar la experiencia emocional. Cada vez más, sin embargo, estos enfoques están convergiendo hacia el uso de la experiencia emocional dentro de la terapia para, en última instancia, reducir las emociones negativas. Las emociones juegan función muy importante en el cambio de la conducta humana y apunta a la forma en que basarse en la investigación básica de la emoción puede permitirnos crear evaluaciones y tratamientos basados en una comprensión empírica de los mecanismos de cambio y fomentar una mayor integración psicoterapéutica. Las emociones son fenómenos complejos que involucran múltiples sistemas [28].

Por otra parte, en busca de una mejor comprensión de lo que son las emociones, se ha extendido y tratado el concepto a través de la psicología, neurociencia, la biología, la sociología y la filosofía [29]. Sin embargo, algunos autores han argumentado que las emociones son demasiado heterogéneas para el estudio sistemático, es por esta razón que las emociones en términos cognitivos, evolutivos y de desarrollo, en la comprensión de su función en la mediación de la interacción social cotidiana, y en ver lo que va mal en los estados conocidos como trastornos emocionales. Las emociones basadas en procesos biológicos, elaborados en nuestras relaciones cercanas, y moldeados por la cultura. Al igual que la acción experta cuando se escribe su firma, una emoción tiene una base biológica de componentes y restricciones [30].

### **2.3. Sistema Facial Action Coding System (FACS)**

Es un sistema para denominar movimientos faciales humanos desarrollado por Paul Ekman y Wallace V. Friesen. Los movimientos individuales de los músculos faciales son codificados por 'FACS' desde cambios instantáneos en la apariencia facial. Se trata de un estándar para clasificar sistemáticamente la expresión física de las emociones, y ha demostrado ser útil para la psicología y la animación [31].

Este sistema utiliza AU's como una decodificación o descomposición de

una expresión facial, para ello existe un manual que especifica las AU's, así como la interpretación de Ekman acerca de su significado [32].

En la Figura 2.3 se muestra la clasificación de cada una de las AU's en relación a las seis emociones básicas [2].

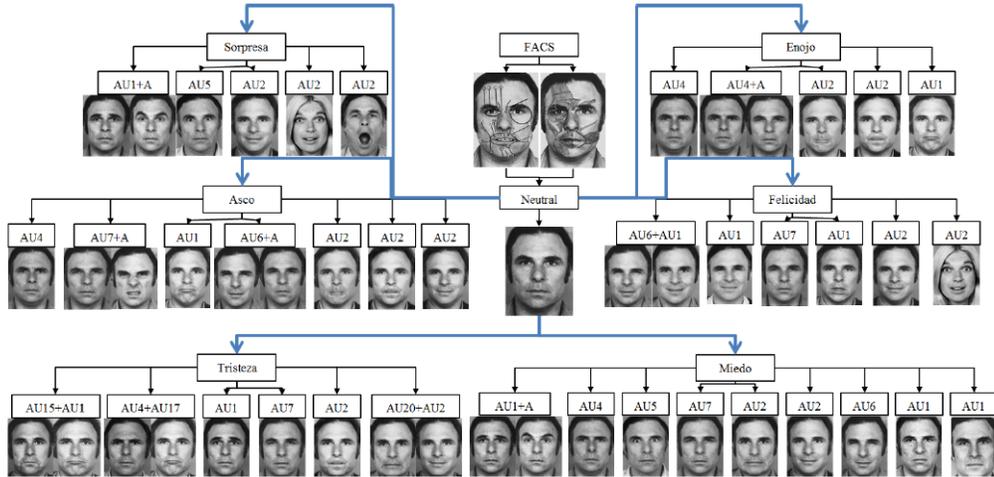


Figura 2.3: FACS, clasificación de cada una de las AU's en relación a las seis emociones básicas [2].

Por otra parte, Ekman provee en [13] conocimiento acerca de las AU's que intervienen en la generación de expresiones de las emociones básicas (Ver Tablas 2.1 y 2.2).

Emoción	AU's
Alegría	6 y 12
Tristeza	1, 4 y 15
Enojo	4, 5, 7 y 23
Miedo	1, 2, 4, 5, 7, 20 y 26
Disgusto	9, 15, 16

Tabla 2.2: AU's que intervienen para la generación de expresiones de las emociones básicas, donde los números de la columna "AU's" representa el conjunto de AU's que se activan.

AU	Descripción
1	Levantar cejas interiores
2	Levantar cejas exteriores
4	Bajar cejas
5	Subir párpados superiores
6	Levantar mejillas
7	Párpados tensos
9	Arrugar nariz
12	Elevar comisuras de los labios
15	Depresor de esquinas de los labios
16	Depresor del labio inferior
20	Estiramiento horizontal de los labios
23	Afinar labios
26	Caida de mandíbula

Tabla 2.1: Descripción de acción de las AU's utilizadas en las emociones básicas

## 2.4. Juegos serios

Los juegos serios son aquellos que son útiles para la educación mejorando así el compromiso y la adopción del conocimiento de una persona mediante la utilización de simulaciones o juegos de video [33]. Los juegos serios pueden potencialmente motivar la práctica regular en un humano, necesaria para el desarrollo de habilidades y competencias de forma sencilla y sistemática, sin descuidar la experiencia de los jugadores como: la diversión, inmersión, presencia, reto, curiosidad y otras emociones [34]. Una de las áreas en las que se puede apreciar esto es la salud, debido al creciente costo económico y la falta de un adecuado número de individuos preparados, puede traer como resultado: pacientes que no tienen una atención médica correcta y sufren efectos negativos en su desarrollo físico, social y psicológico. En fisioterapia y rehabilitación, se requiere particularmente que el individuo realice de manera consistente y regular un régimen de ejercicios físicos repetitivos, sobre un largo periodo de tiempo. La rehabilitación es supervisada por un terapeuta, la cual permite que el paciente pueda realizarla en su hogar, como lo menciona Susi [35] el paciente tiene una mejora importante cuando realiza la rehabilitación en su hogar desde el punto de vista de la Psicología [36].

Los juegos computacionales con imágenes placenteras, gráficos interesantes e historias atractivas para mediar el aspecto aburrido de la rehabilitación tiene un impacto favorable en la recuperación a un relativo bajo precio. A través de los juegos serios, los movimientos del jugador son observados y analizados basándose en objetivos específicos deseados. En [37], se describe un sistema de monitoreo para rehabilitación con movimientos de la cabeza en el hogar, con resultados positivos ya que en 10 minutos el paciente alcanzó un nivel de habilidad necesario para el uso seguro y eficaz del dispositivo y el paciente también fue instruido para completar el equilibrio y los ejercicios de andar un total de 20 minutos diarios. En otro caso, se utilizó la consola Xbox con Kinect para el monitoreo de pacientes que realizan ejercicios de terapia en el hogar sin la directa supervisión de un terapeuta [38], los datos mostraron que los participantes mejoran el rendimiento del ejercicio durante las fases de intervención y son comparados con la postura recomendada para los ejercicios específicos de un paciente. En este sentido, se puede generar una retroalimentación inmediata al paciente con la corrección del movimiento. Estas experiencias indican que los juegos serios pueden ser un motivador razonable y en promedio sustentable para mejorar las funciones emocionales y cognitivas de las personas que necesitan rehabilitación física.

Además de la rehabilitación física, es necesario contar con expresiones faciales que apoyen o completen el movimiento corporal, para tal tarea Zhang [39] menciona que los sensores del Kinect también son capaces de detectar movimientos faciales, lo cual es relevante para este trabajo de investigación.

## 2.5. Computación Bio-Inspirada

La computación biológicamente inspirada o bio-inspirada, tiene como fundamento la explicación biológica de las cosas para crear sistemas computacionales complejos. La principal hipótesis de utilizar dicho fundamento es que la similitud entre los mecanismos dará como resultado sistemas sintéticos robustos, eficientes y altamente adaptables, los cuales son atributos importantes de los sistemas biológicos [26].

En relación con el campo de la IA, Cliff [40] explica la importancia de utilizar un enfoque bio-inspirado, particularmente en los sistemas cognitivos y esto es importante debido a los temas que necesitan de esta computación bio-inspirada como son:

1. Las redes neuronales artificiales que se utilizan para distintas aplicacio-

nes, entre las cuales se encuentran los clasificadores [41], reconocimiento de patrones [42] y controladores de robots [43], entre otras.

2. Los algoritmos genéticos que están basados en la teoría de la evolución, se utilizan en aplicaciones como el aprendizaje máquina [44], clasificadores [41] y optimización [45], etc.
3. Los sistemas de Lindenmayer, que es un tipo de gramática formal, sólo fueron creados para modelar el comportamiento de las células de las plantas, hoy en día se utilizan para modelar el crecimiento de las plantas [46].

Como se observa, existe una gran variedad de herramientas que se inspiran en los sistemas biológicos. Todas ellas están bien fundamentadas y son ampliamente estudiadas en la actualidad.

Tomando en cuenta los puntos mencionados anteriormente, es posible fundamentar este trabajo de investigación en la computación bio-inspirada y aplicar estos conceptos a los agentes inteligentes, para poder lograr que estos logren comportamientos que se acerquen cada vez más a los de los humanos y por lo tanto sean creíbles.

# Capítulo 3

## Estado del arte

El estudio de las emociones ha tenido relevancia en los últimos años, principalmente porque se desea comprender la conducta de los humanos y conocer el origen de estos comportamientos. En el campo de la Psicología, uno de los mayores inconvenientes es que los resultados obtenidos tienen un alto grado de subjetividad [47], por lo que no pueden ser validados, por lo que se utilizan la IA y Neurociencias, y así de manera científica abordar el problema y poder validar los resultados.

### 3.1. Arquitecturas cognitivas

Wooldridge [25], debido a que existe una falta de consenso en el concepto de arquitectura de agentes, propone la siguiente definición: “las *arquitecturas de agentes* son sistemas de toma de decisiones inmersos en un ambiente. Estos sistemas consisten en las estructuras de datos, las operaciones que procesan dichos datos, y el flujo de control entre los mismos. El diseño de la función de decisión de una arquitectura de agentes se basa primeramente en subsistemas de percepción y acción”.

En particular, existe un tipo de arquitecturas que se inspiran en la Biología, las cuales son llamadas **arquitecturas cognitivas**.

Una definición de este tipo de arquitecturas fue la presentada por Langley [48], que comenta que las arquitecturas cognitivas son arquitecturas de agentes, por lo cual especifican la estructura de un sistema inteligente que consiste en memorias de largo y corto plazo, representaciones mentales del mundo, y las funciones necesarias que operan sobre dichos elementos. Su re-

querimiento principal es emular algunas habilidades del ser humano, tales como percibir, sentir emociones y razonar, entre otras.

Los componentes de una arquitectura cognitiva se diseñan con base en fundamentos teóricos de las Ciencias Cognitivas. De ahí que las arquitecturas se consideren como síntesis de los conceptos teóricos con las cuales se modelan. Por lo tanto, se consideran de gran importancia en la Psicología Cognitiva ya que es posible probar nuevas teorías en estas arquitecturas [49]. Algunas arquitecturas de interés que involucran el aspecto emocional y además se han utilizado para la generación de expresiones faciales son: iCub (*Integrated Cognitive Universal Body*) [50] y Kismet [51].

Las arquitecturas cognitivas se modelan utilizando distintas herramientas de la computación. La primera herramienta que se utiliza es la lógica simbólica, particularmente la de primer orden. En este caso, las representaciones del mundo se codifican en reglas de producción que son aplicadas al estado actual del agente y se crean nuevas cuando existe algún aprendizaje.

Por otro lado, la mayoría de las arquitecturas cognitivas tienen algunas similitudes. Entre las similitudes se encuentran las entradas en forma de percepciones, las salidas como comportamientos, y los mecanismos de planeación, toma de decisiones y memorias. En la Figura 3.1 se muestra el modelo de una arquitectura general donde se observa lo anteriormente comentado.

El uso de las arquitecturas cognitivas se puede utilizar para probar nuevas hipótesis, ya sea mediante la comparación directa de resultados de la implementación y los experimentos reales, o solamente con la observación del comportamiento producido por la arquitectura. El supuesto de la validez de estos resultados es la base en que se diseño la arquitectura. Teoría de la Cognición de Newell [52].

### 3.1.1. Arquitectura cognitiva iCub

Es una arquitectura cognitiva diseñada para robots humanoides, los cuales son robots diseñados para simular el cuerpo y los movimientos de un ser humano [53]. Esta arquitectura busca replicar el proceso cognitivo del humano e incorporarlos en estos robots humanoides, todo esto desde la perspectiva de la Psicología y las Neurociencias. Los avances que se tienen sobre este tipo de arquitectura es un robot que tiene la apariencia y habilidades de un niño de 2 años aproximadamente [54].

Por otra parte, iCub genera un estado afectivo, esto es, tiene componentes como: curiosidad, experimentación y la recepción de estímulos, lo cual genera

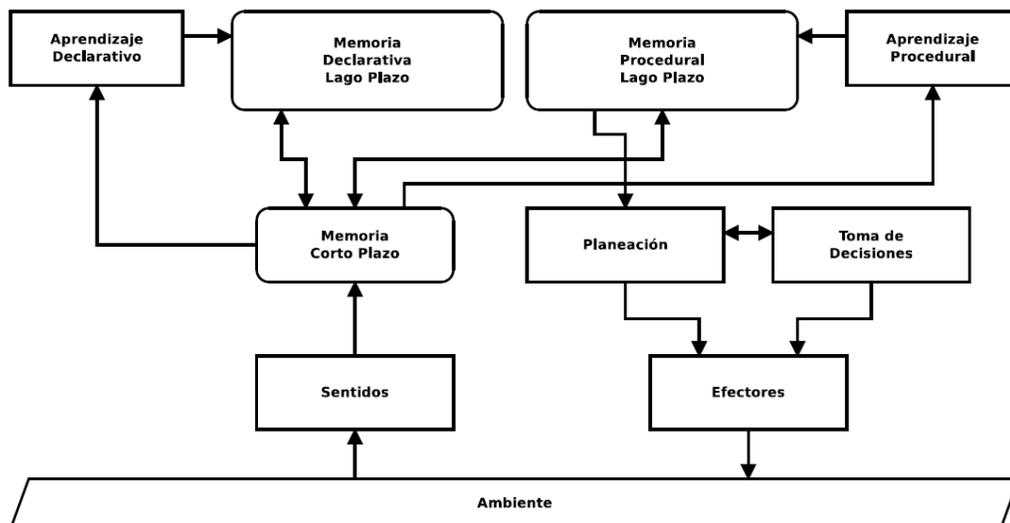


Figura 3.1: Arquitectura Cognitiva Genérica, las arquitecturas cognitivas contienen los componentes mostrados en el diagrama, el cual está basado en la propuesta de Laird [3]

una regulación en el comportamiento del robot.

### 3.1.2. Arquitectura cognitiva Kismet

Kismet es una arquitectura cognitiva desarrollada por el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*,) y es capaz de expresar emociones básicas, considerando para esta generación de emociones cuatro subsistemas:

1. Sistema de motivación.
2. Sistema de comportamiento.
3. Sistema de percepción y atención.
4. Sistema motor.

Las emociones expresadas por Kismet, están basadas en la teoría básicas de las emociones [55]. Las emociones pueden ser usadas para tres propósitos:

la influencia en el comportamiento del robot, dando preferencia a un comportamiento más que a otro; uno más es el impacto emocional del robot; y por último las metas predeterminadas que tiene el robot.

### 3.1.3. Arquitectura cognitiva *Kuayalotl*

Actualmente en 2017, se encuentra en desarrollo una arquitectura cognitiva en Cinvestav Guadalajara [56], la cual involucra diversos módulos, pero el que es del interés para este trabajo de investigación es el Módulo de Regulación Emocional [4].

Tal como se menciona en las otras arquitecturas cognitivas (iCub y Kismet) en las secciones 3.1.1 y 3.1.2 respectivamente, donde se puede apreciar la ausencia de un módulo emocional apropiado que permita un comportamiento creíble en las criaturas virtuales.

La arquitectura de Cinvestav Guadalajara esta orientada a neurociencias, las cuales proveen información sobre las áreas que están involucradas con la regulación emocional, como son: corteza prefrontal dorsomedial (DMPFC, *por sus siglas en inglés*), corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC), corteza prefrontal ventrolateral (VLPFC), corteza orbitofrontal (OFC), amígdala (AMY), hipocampo (HYP), corteza cingulada rostral anterior (rACC), corteza cingulada anterior sungénero (sgACC) [57], [58], [59]. Las entradas y salidas de las áreas involucradas, se describen en la Tabla 3.1, además en la Figura 3.2 se muestra el diagrama del desarrollo de una arquitectura de regulación emocional para criaturas virtuales [4]

Sin embargo, es importante mencionar que en la Figura 3.2 se muestra el módulo de Memoria de Trabajo (*Working Memory*), la cual contribuye para la elección de una acción a ejecutar, pero en este trabajo no se toma en cuenta, debido a que aún no se precisa el impacto de tal módulo en la arquitectura cognitiva desarrollada.

## 3.2. Microexpresiones

El lenguaje del rostro contiene expresiones que se relacionan con las emociones, esto de forma consciente o inconsciente.

Las *microexpresiones* son expresiones muy breves, duran sólo una fracción de segundo. Ocurren cuando una persona deliberadamente o inconscientemente oculta un sentimiento [60].

Área	Entrada	Salida
THAL	Información en bruto.	Preproceso de la información y dirección de envío.
AMY	Información preprocesada.	Información emocional.
HIP	Peticiones.	Recuperado de información de la memoria emocional.
rACC	Información procesada y estado emocional.	Posibles acciones.
OFC	Posibles acciones y estado emocional.	Acción seleccionada.
DMPFC	Acción e información de memoria.	Estado emocional y comportamiento emocional apropiado.
DLPFC	Peticiones.	Información recuperada de la memoria de trabajo.
VLPFC	Estado emocional requerido.	Cambio emocional cognitivo más aproximado a lo requerido.
ACC	Comportamiento y estado emocional.	Comportamiento general.
Corteza motora	Comportamiento general.	Ejecución.

Tabla 3.1: Componentes de la arquitectura general para regulación emocional: entradas y salidas

Existen, hasta donde se tiene conocimiento cinco emociones tienen señales universales: ira, miedo, tristeza, disgusto y felicidad [61] y A diferencia del lenguaje corporal, las expresiones faciales son un sistema universal que reflejan fluctuaciones momento a momento en el estado emocional de una persona. Aprender a leer las microexpresiones permite ayudar a reconocer los sentimientos de las personas, incluyendo disparadores emocionales<sup>1</sup> [6].

Cuando una persona intenta ocultar sus emociones, existen “fugas” de esa emoción que mayormente serán evidentes en la cara de esa persona (como se muestra en la Figura 3.3). La fuga puede estar limitada a una región

---

<sup>1</sup>reacciones involuntarias.

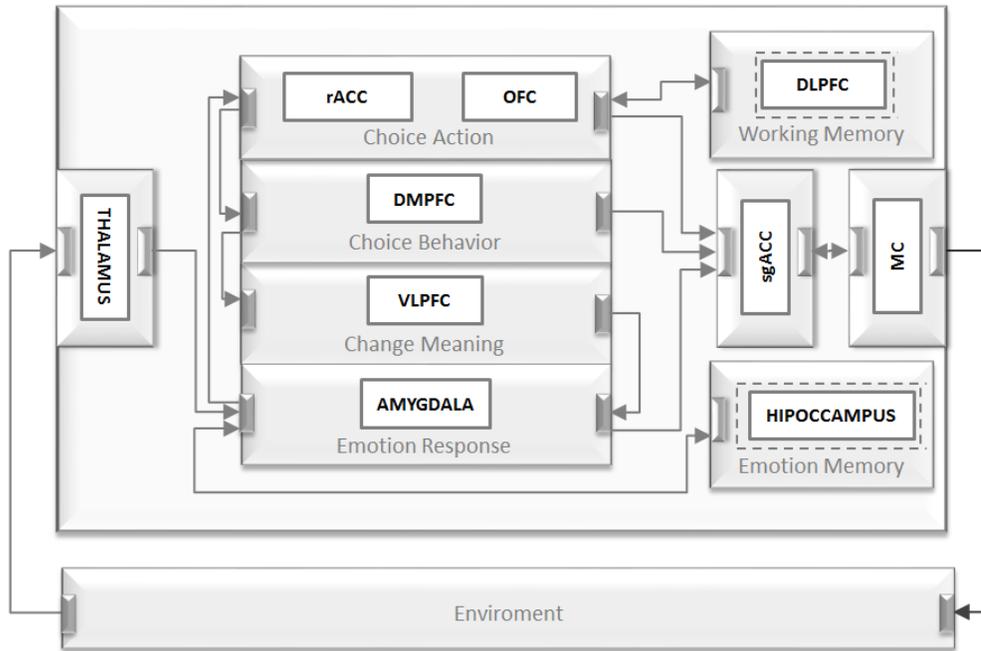


Figura 3.2: Diagrama de arquitectura de regulación emocional que se muestra en [4], mostrando una propuesta basada en evidencia neural y teorías psicológicas.

de la cara, es decir, una miniexpresión o en toda la cara dando lugar a una gesticulación más pequeña y difícil de detectar como lo es una microexpresión [6].

Las investigaciones de Ekman [62] han demostrado que las microexpresiones son un sistema universal, debido a que todos los individuos las tienen, incluso las personas de culturas diferentes, que no hablan el mismo idioma, todos tienen las mismas emociones y mostrarán las mismas expresiones faciales.

### 3.3. Action Units

Las Action Units (AU's) son movimientos musculares del rostro que determinan una deformación en la piel, como se muestra en la Figura 3.4 y son

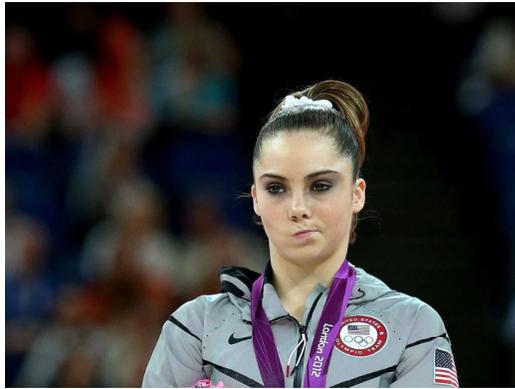


Figura 3.3: Microexpresión involuntaria de una atleta, tomada de la revista *Business Insider, Science* [5]

clasificados en grupos, basados en la ubicación y el tipo de acción involucrada.

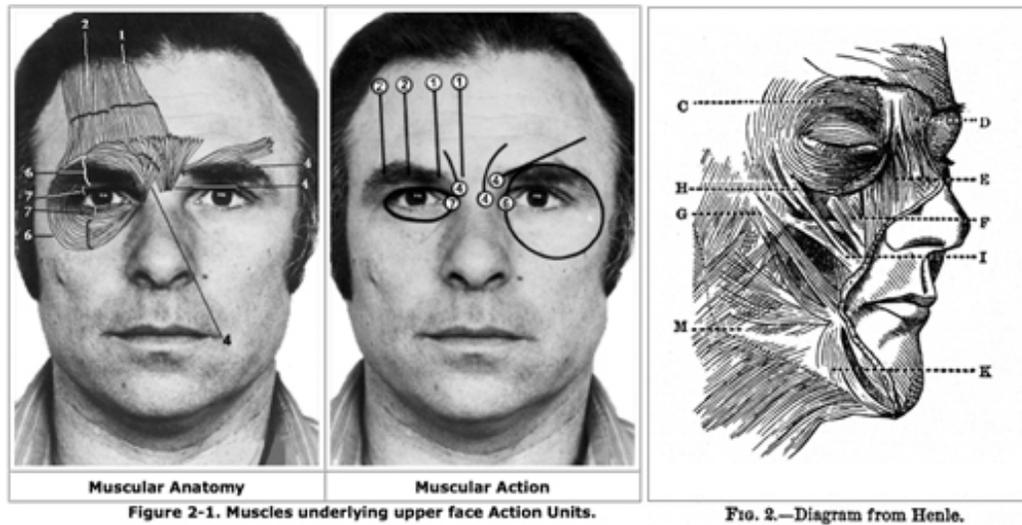


Figura 3.4: Rostro con las marcas de los músculos debajo de la piel. Paul Ekman Group [6]

1. Parte superior de la cara afecta: cejas, frente y párpados.

2. Parte baja compuesta por cinco grupos: arriba/abajo, horizontal, oblicuo, orbital, acciones misceláneas.
3. Cada AU está compuesta por 3 secciones: cambios de apariencia, instrucciones para ejecutar AU y el marcador de intensidad.

En [31], se presenta una descripción completa del rostro y los movimientos que involucra. Es importante señalar que algunas expresiones faciales pueden ser relacionadas a estados emocionales específicos, clasificados en 5 emociones básicas: alegría, enojo, tristeza, desagrado y miedo [63], anteponiendo una expresión neutral.

### 3.4. Diadema neuronal Emotive EPOC

La diadema EPOC es un dispositivo comercial que proporciona un encefalograma (*EGG*, en inglés) [22], basado en la medición de ondas cerebrales a través de señales proporcionadas por 14 sensores en contacto con el cuero cabelludo como se muestra en la Figura 3.5. Estas señales son extraídas en tiempo real en una escala de 0.0 a 1.0. Los sensores obtienen señales de respiración, conductividad de la piel, latidos del corazón, y los niveles en la sangre, esta colección de datos es interpretada con el EGG.

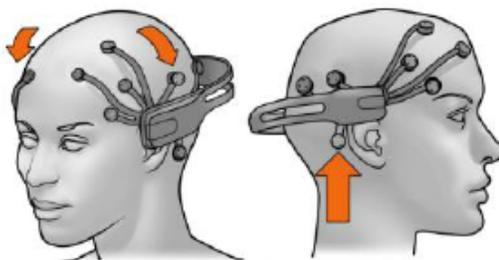


Figura 3.5: Colocación de Emotive EPOC para la lectura de las ondas cerebrales en tiempo real [1]

En la Tabla 3.2 se muestran las especificaciones con las que cuenta la diadema Emotiv EPOC, así como en la Figura 3.6 se muestra el mapeo de los sensores de la diadema.

Número de canales	14 (más CMD/DRL, que son puntos de referencia)
Identificador de los canales	AF3,AF4,F3,F4,F7,F8,FC5,FC6,P7,P8,T7,T8,O1,O2
Método de muestreo	Muestreo secuencial simple ADC
Frecuencia de muestreo	~128Hz
Resolución	16 bits 1 LSB = $1.95\mu\text{V}$
Ancho de banda	0.2 - 45Hz, filtros digitales entre 40Hz y 60Hz
Rango dinámico (entrada referida)	256mVpp
Modo de acomplamiento	Coplamiento AC
Conectividad	Inalámbrica ( <i>wireless</i> ), 2.4GHz

Tabla 3.2: Especificaciones de la diadema neuronal Emotiv EPOC [1]

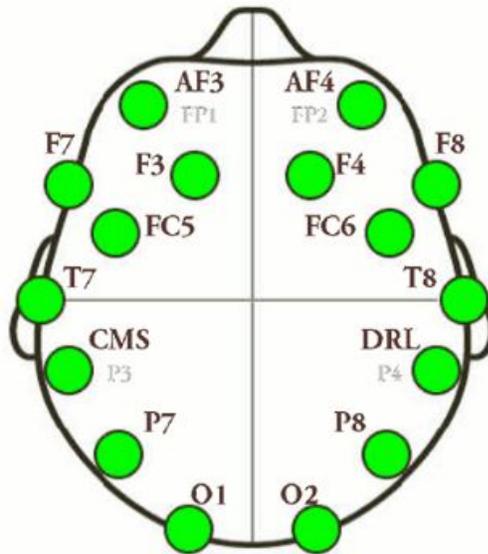


Figura 3.6: Mapa de sensores de la diadema Emotiv EPOC [1].



En el año de 1998, Paul Ekman retomó el trabajo de Darwin [7], en este trabajo detalló una serie de emociones como el enojo, la alegría, el miedo, la tristeza y por último la sorpresa, las cuales denominó *emociones básicas* (Figura 3.9). Sin embargo, en 2008 el antropólogo Donald Brown [65] realizó experimentos en diversas regiones del mundo, mismos que consistían en preguntar a las personas las emociones que identificaban en las expresiones faciales y concluyó que la mayoría identificaron la expresión facial de la sorpresa y la tristeza como la misma, por ello, se elimina esa emoción como básica.

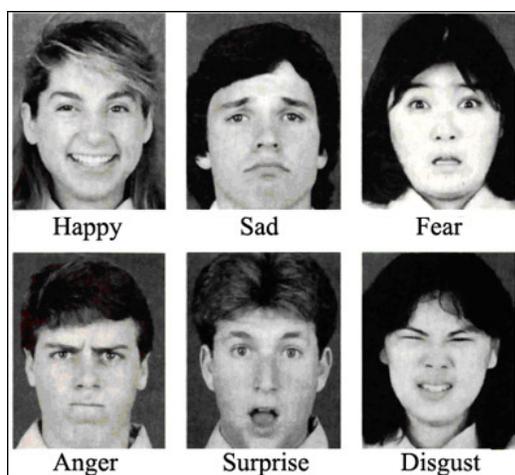


Figura 3.9: Emociones básicas propuestas por Ekman [7].

### 3.6. ALICE

En el año 2008, Egges [66] publicó un trabajo titulado “Impartir individualidad a los seres humanos virtuales” (*Imparting individuality to virtual humans*). En este trabajo presenta un método integrado para poder vincular la personalidad y la emoción con la síntesis de generación de respuestas y la expresión de los humanos virtuales. Los personajes son alimentados por un sistema de **diálogo** que consta de un conjunto de interacciones básicas entre el usuario y el agente virtual.

Estas interacciones se codifican en máquinas de estado finito. Las transacciones están vinculadas con las condiciones y acciones que se pueden conectar

con módulos externos. Uno de éstos es el **módulo de personalidad**. De esta manera, las respuestas del agente virtual dependen no sólo de la entrada dada por el usuario, sino también de su personalidad y estado emocional. El sistema de diálogo está conectado a una cara 3D que realiza las expresiones faciales que reflejan la personalidad especificada.

El objetivo de este trabajo es vincular de una manera realista a los sistemas computacionales con los seres humanos reales, gracias a la aparición de los gráficos en 3D esto empieza a ser posible, sin embargo, los sistemas actuales carecen de interacción real con el usuario, por lo que no generan una empatía con el mismo.

Es importante resaltar que agregar un módulo de personalidad no es nuevo, un ejemplo claro de ello es lo que propuso Marsella [67] que trata sobre la influencia de las emociones en el comportamiento general.

Lo interesante del trabajo de Egges, es el **Sistema de Diálogo**, uno de los primeros intentos para crear un sistema que interactúa con el ser humano a través del lenguaje natural, fue ELIZA [68], un sistema que genera respuestas estándar, basado en ciertas combinaciones de palabras que encuentra en una frase introducida por el usuario, una versión más reciente fue ALICE [8] (Figura 3.10) que utilizaba lenguaje XML para obtener relaciones patrón-respuesta.

La personalidad que implementa Egges es una *red bayesiana* [69], y los cambios de ánimo de ALICE se controlan mediante una función de probabilidad de la personalidad, basada en la inferencia bayesiana, la cual permite modificar lo que Egges llama “afectores”, lo que es una especie de contador para saber que tanto afecto se tiene por una emoción.

Uno de los problemas que enfrenta el trabajo de Egges, es la sincronización en la generación de las expresiones y algunos movimientos en el parpadeo y la cabeza [70].

Por lo tanto, la principal aportación de Egges, es el sistema de diálogo utilizando XML, para poder especificar parámetros de estado emocional y mejorando el sistema visual se puede lograr las expresiones faciales en tiempo real.

### 3.7. Alfred

Alfred es un sistema de animación facial [9] (Figura 3.11) diseñado para crear expresiones faciales para agentes animados de una manera más fácil, más



Figura 3.10: ALICE: Algunos ejemplos de diferentes expresiones faciales [8]

intuitivo y más rápido que las herramientas de animación convencionales. El proyecto utiliza un mando y un guante de datos de entrada del usuario.

Alfred utiliza el Facial Action Coding System (FACS) de Paul Ekman y Wallace Friesen (Figura 3.11) para la descripción y la creación de las expresiones faciales. La herramienta es una aplicación realizada en el motor de gráficos Horde 3D. Aunque se usa para controlar un personaje virtual específico en este momento, se puede reconfigurar fácilmente para controlar la cara de cualquier personaje basado en FACS.

Alfred ha ganado el “Premio del Jurado a la GALA 2008” en IVA (*International conference on Intelligent Virtual Agents*) de 2008.

Aunque las expresiones faciales se han vuelto cada vez más importantes en personajes animados, la mayoría de las herramientas de animación facial están utilizando interfaces gráficas de usuario con sistemas basados en “objetivos de transformación”, es decir, el uso de controles deslizantes (*sliders*) para el control de la animación tales como Poser o Faceposer.

Alfred intenta superar las limitaciones y complejidad de estas herramientas de animación mediante el uso de controladores de hardware (gamepad o Dataglove; Figura 3.12). El usuario puede elegir entre diferentes modos de entradas: el control directo de las unidades de actuación, la modificación de las emociones básicas o expresión básica de mezcla. Estos controladores de hardware tienen la ventaja de que permiten la edición y mezcla de varios

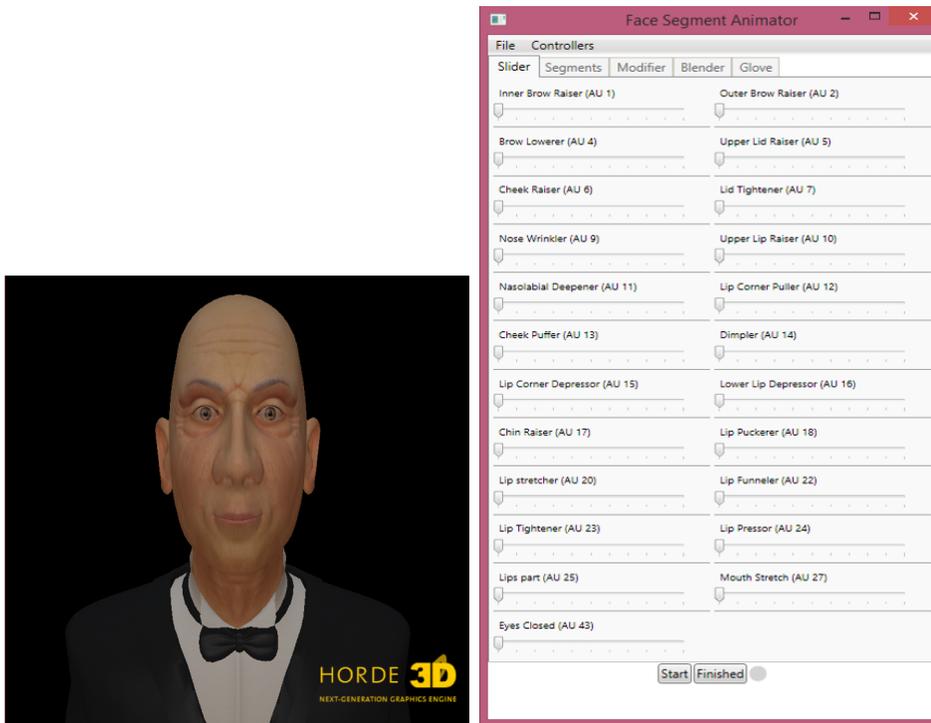


Figura 3.11: ALFRED: Agente virtual Alfred en Horde 3D y Control FACS [9]

parámetros de animación al mismo tiempo. Además se proporcionan control háptico de estos parámetros, lo que permite al usuario centrarse en la expresión del personaje y no en el sistema de animación.

Alfred, es una herramienta poderosa y altamente utilizada para la generación de expresiones faciales [9], sin embargo, también tiene limitantes y algunas cosas por mejorar.

Una de las limitaciones de Alfred es que no tiene un cuerpo virtual, y en situaciones de desastres naturales u otros, Alfred sólo permitirá ver las expresiones, más no un movimiento corporal que ayude a interpretar una reacción cercana a la realidad por parte del usuario.

Por otra parte, una mejora que puede hacerse a Alfred, es la independencia de ciertos músculos, es decir, Alfred mueve las AU's de manera simétrica (derecha e izquierda), y en muchas ocasiones las expresiones de los seres humanos no son simétricas o incluso no todas las personas pueden realizar el



Figura 3.12: Hardware opcional para poder controlar a Alfred [9]

movimiento de algunas AU's (por ejemplo, una persona con parálisis facial).

### 3.8. FaceShift Studio

FaceShift Studio [10] es una solución de software de captura de movimiento facial que revoluciona la animación facial, el software analiza los movimientos faciales del actor y los describe como una mezcla de expresiones básicas, además de orientación de la cabeza y la mirada. Esta descripción se utiliza entonces para animar personajes virtuales para su uso en cualquier situación donde se requiere la animación facial, tales como películas y juego de video.

La animación de FaceShift Studio consiste de 3 etapas (Figura 3.13):

1. Entrenamiento según la Figura 3.13 un conjunto de expresiones para entrenar a su avatar personalizado para el seguimiento.
2. Capturar una actuación con información en tiempo real, y, opcionalmente, mejorar la precisión en una etapa de post-procesamiento.
3. Animación de avatares virtuales en FaceShift y exportar la animación a su software preferido de animación en 3D.

FaceShift Studio tiene muchas ventajas, una de ellas es que se pueden adaptar las expresiones faciales de un humano en prácticamente cualquier criatura virtual (Figura 3.14), sin embargo una desventaja que tiene es que mimetiza las expresiones faciales de una persona, más no aporta que AU's se

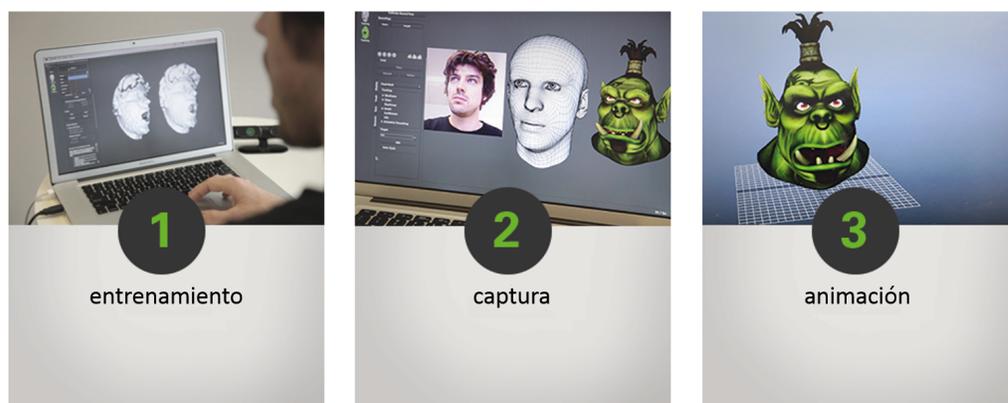


Figura 3.13: Etapas para la generación de una animación en FaceShift [10]

están utilizando en el proceso de generación de expresiones y lo más importante es que no involucra a las emociones, puesto que el software sólo imita los movimientos faciales, pero en cuanto a la renderización de las expresiones se refiere es una herramienta muy atractiva.

### 3.9. Sophia, The Robot

En 2016, Hanson Robotics [11], una empresa que se dedica a crear robots que contengan expresiones tanto faciales como corporales, en un futuro pretenden poder hacer un equilibrio entre la IA y sentimientos como bondad y compasión para lograr una interacción entre los robots y las personas.

Hanson Robotics desarrolló a Sophia (Figura 3.15), un androide capaz de realizar expresiones faciales naturales, tiene cámaras y algoritmos en sus ojos que le permiten ver caras, lo cual le permite hacer contacto visual con las personas y también puede entender el lenguaje (hasta el momento el inglés), recordar las interacciones, recordar las caras de las personas, con esto, debido a sus algoritmos le permite hacerse más inteligente con el tiempo.

Por cuestiones de privacidad y que la presentación de Sophia sólo es un prototipo, no se tiene acceso a más información, sin embargo es importante seguir este tipo de avances, lo único que se sabe es que actualmente cuenta con 66 expresiones faciales, pero es interesante ver las expresiones faciales aplicadas en un robot.

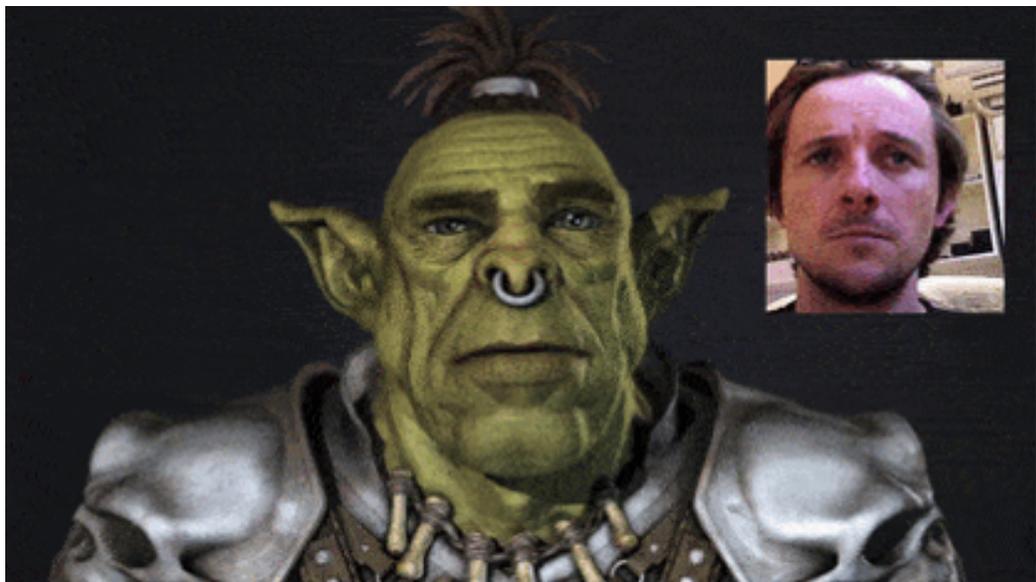


Figura 3.14: Mimetización de las expresiones faciales con FaceShift Studio [10]

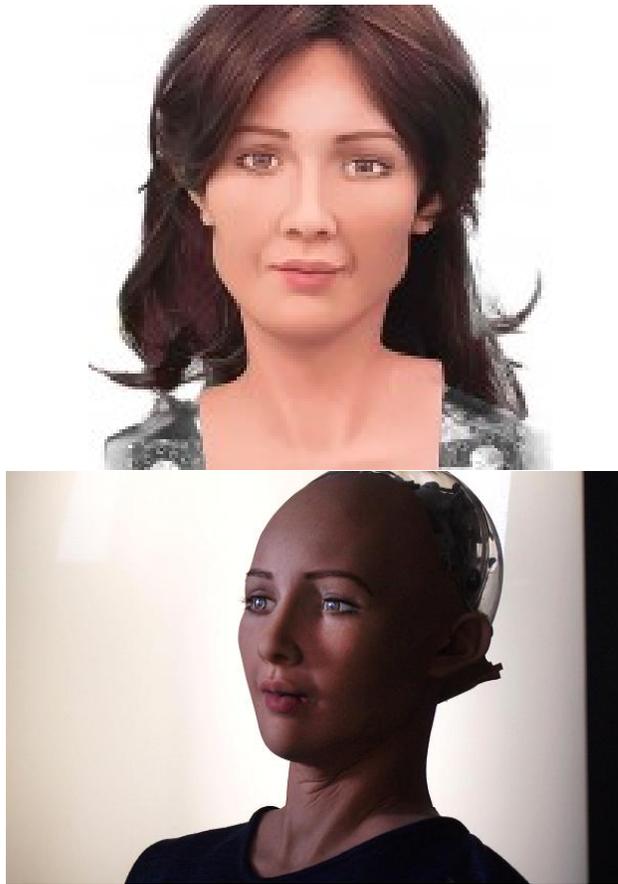


Figura 3.15: Sophia, El Robot creado por Hanson Robotics, 2016 [11]

# Capítulo 4

## Marco metodológico

El estudio de las emociones ha sido un punto de interés desde perspectivas psicológicas como neurocientíficas, esto es debido a que las emociones, así como las expresiones de las mismas, son innatas [71], sin embargo se ha considerado la posibilidad de que factores o estímulos, puedan ejercer algún tipo de influencia sobre la expresión.

Por tal motivo, la metodología aplicada en este trabajo de investigación implica en las primeras etapas el estudio de arquitecturas cognitivas, las cuales se mencionaron en el Capítulo 2, Sección 3.1 y son fundamentales para la generación de expresiones faciales basadas en emociones, que es la razón de ser de este tema de investigación. Además de guiar hacia una perspectiva neurocientífica esta generación de expresiones faciales.

Es importante mencionar en este trabajo la colaboración científica con Cinvestav Unidad Guadalajara, donde se realizó una estancia de investigación, para conocer y entender el desarrollo de una arquitectura cognitiva y así sustentar la evidencia biológica del presente trabajo. Específicamente se trabajó con el módulo emocional [4] y de atención selectiva [72] de la arquitectura de Cinvestav Guadalajara.

### 4.1. Arquitectura conginitiva *Kuayalotl*

En la sección 3.1.3, se explicaron los componentes y el desarrollo que se está realizando para lograr una arquitectura cognitiva, sin embargo en este trabajo de investigación sólo se enfocó el trabajo hacia tres módulos en específico: amígdala, tálamo y corteza motora.

La **amígdala** es del interés de la evidencia biológica de este trabajo de investigación, ya que es la responsable de las evaluaciones del entorno emocional, en colaboración con otras estructuras que están dentro del sistema límbico. Además uno de sus núcleos es el responsable de generar una primera evaluación que se conecta con el **tálamo**, otro de sus núcleos recibe una segunda evaluación de la **corteza motora**, un tercer núcleo se comunica con el resto de las áreas del cerebro y por último un núcleo genera la información y es responsable de envío del estado emocional en ese momento, además de la emoción percibida de acuerdo con las suposiciones y pruebas científicas planteadas en este trabajo.

Por otro lado, el **tálamo** es una estructura que recibe todos los estímulos, excepto el olfato. Además, si el estímulo no es importante, no permite su progreso en el resto del cerebro [12]. El **tálamo**, dentro de la arquitectura propuesta en [4], proporciona una tarea de preprocesamiento y determina la importancia del estímulo entrante. Esta estructura envía información a las áreas a procesar y paralelamente se envía también información a la **amígdala** para tener su primera evaluación emocional.

Y por último **corteza motora** es donde se hace la generación de una planificación ejecutiva. Genera un marco de ejecución para la reacción del rostro ante los estímulos percibidos.

En la Figura 4.1 se muestra el flujo de cómo es la actividad cognitiva los componentes amígdala, tálamo y corteza motora, anteriormente explicados en esta sección.

## 4.2. Complementación de un diccionario de AU's

Las AU's, vistas en la sección 3.3, son una parte fundamental de este trabajo, ya que sin ellas no se pueden modelar las expresiones faciales [73], tal como se abordará en la sección 4.3 de este capítulo.

En esta parte de la metodología, se observó que todos los trabajos relacionados con AU's (*ver sección 3*) carecen de dos puntos importantes: **no considerar todas las AU's existentes y asimétrica**, es decir, todos los trabajos manejan las AU's en pares (*por ejemplo, si se mueve la ceja izquierda, se mueve la derecha al mismo tiempo*), esto es importante debido a que en la realidad no sucede así, todo ser humano es asimétrico [74].

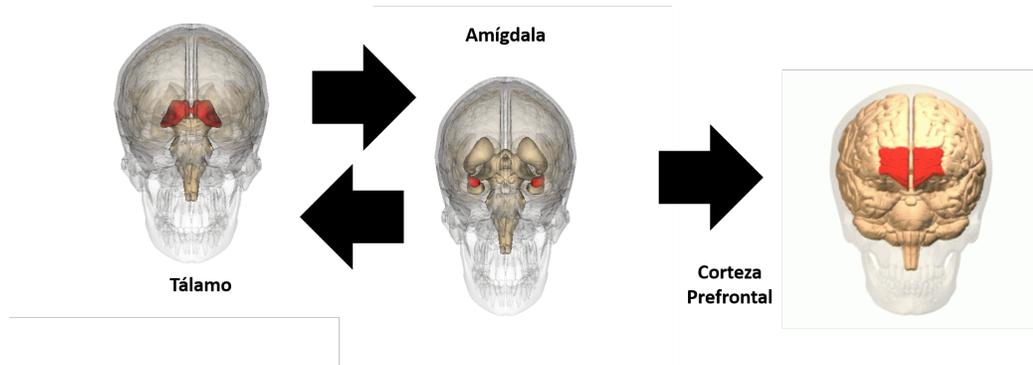


Figura 4.1: Mapeo de componentes del cerebro que influyen en el estado emocional, de acuerdo con [12].

Es por ello que se decidió incluir la mayor cantidad de AU's posibles en esté trabajo, además de considerar la asimetría entre ellas. En la Figura 4.2 se muestra una lista de las AU's que se utilizan, es importante mencionar que no se incluyen todas las AU's existentes, ya que algunas corresponden a movimientos corporales, que aunque es parte de la expresión emocional del ser humano no corresponde abordarlos en este trabajo.

### 4.3. Modelado de un rostro virtual humanoide

Para el modelado de un rostro humano virtual se utilizó un software especializado de gran uso y además es de código abierto como es: **Blender** [75], este software de modelado nos permite importar una gran cantidad de extensiones (.dae, .3ds, .fbx, .bvh, .ply, .obj, .wrt, .stl, .svg).

Una vez teniendo en cuenta los beneficios que tiene este software de modelado, se procedió a elegir un avatar de licencia gratuita para la manipulación del mismo, tomando como base la evidencia neurocientífica de la sección 4.1 y principalmente para el modelado del diccionario de AU's (sección 4.2).

El proceso de modelado en Blender ofrece una gran cantidad de opciones para su realización, una de ellas es el *Edit Mode*, el cual se puede apreciar en

Upper Face Action Units					
AU 1	AU 2	AU 4	AU 5	AU 6	AU 7
Inner Brow Raiser	Outer Brow Raiser	Brow Lowerer	Upper Lid Raiser	Cheek Raiser	Lid Tightener
*AU 41	*AU 42	*AU 43	AU 44	AU 45	AU 46
Lid Droop	Slit	Eyes Closed	Squint	Blink	Wink
Lower Face Action Units					
AU 9	AU 10	AU 11	AU 12	AU 13	AU 14
Nose Wrinkler	Upper Lip Raiser	Nasolabial Deepener	Lip Corner Puller	Cheek Puffer	Dimpler
AU 15	AU 16	AU 17	AU 18	AU 20	AU 22
Lip Corner Depressor	Lower Lip Depressor	Chin Raiser	Lip Puckerer	Lip Stretcher	Lip Funneler
AU 23	AU 24	*AU 25	*AU 26	*AU 27	AU 28
Lip Tightener	Lip Pressor	Lips Part	Jaw Drop	Mouth Stretch	Lip Suck

Figura 4.2: Diccionario de AU's [13]

la Figura 4.3. También se puede observar cómo la malla generada por Blender es en su mayoría polígonos triangulares de diversos tamaños, el proceso es detallado en la incrustación o generación de AU's, ya que la diversidad de tamaños nos permite acceder a zonas del rostro muy pequeñas pero a su vez difíciles de manipular.



Figura 4.3: Modelado de malla generada por Blender para el avatar utilizado en este trabajo.

Sin embargo, existe otro modo en Blender que es de ayuda cuando lo que se quiere manipular son secciones grandes, esto es el *Sculpt Mode*, este modo permite manipular la “piel” o textura del avatar con variedad de grados de libertad como se muestra en la Figura 4.4.

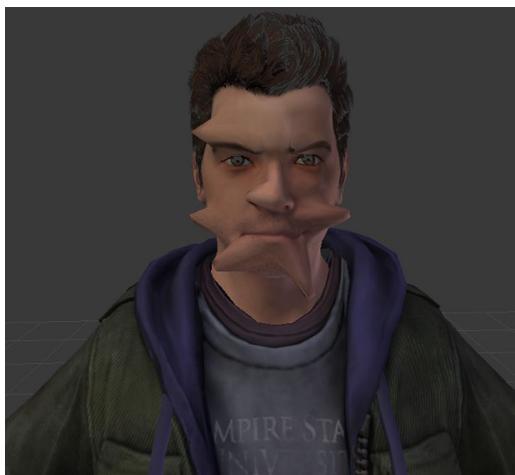


Figura 4.4: *Sculpt Mode* de Blender, que permite la manipulación del avatar.

Para lograr las modificaciones anteriores de la Figura 4.3 ó de la Figura 4.4, se necesitan crear *Shape Keys*, las cuales permiten por medio de un *slider* de manera gradual (0 - 100) ir de un estado gesticular original a uno futuro, y viceversa, esta explicación se ilustra en la Figura 4.5.

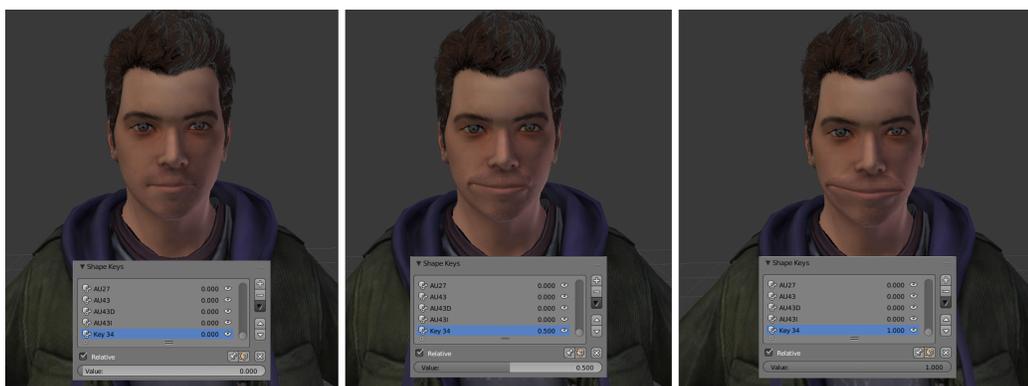


Figura 4.5: Uso de *Shape Keys* para la gesticulación del avatar.

Es así como se logra en Blender embeber las AUs en un avatar, pero Blender es utilizado mayormente para este tipo de modelados, una vez que se ha obtenido este producto, el siguiente paso es poder hacer que este agente (criatura virtual) pueda existir en un ambiente del mismo tipo (sección 4.4).

### 4.3.1. Criaturas virtuales humanoides genéricas y MakeHuman

Durante el proceso de modelado de un avatar surgió el inconveniente de que el modelo creado sólo era posible utilizarlo en un avatar y no en varios, tal situación motiva a la creación de un estándar para que el modelado que se realizó en Blender no tenga la particularidad de sólo poder utilizar el modelado, en este caso las AU's en un sólo avatar, sino tener la posibilidad de replicar el modelado en más de uno.

Para ello se utilizó un software de nombre *MakeHuman* [76] utilizado para el prototipado de modelos tridimensionales de humanoides fotorrealísticos, además cuenta con la posibilidad de crear un humanoide de cualquier edad desde bebés hasta ancianos. Tiene usos en el campo científico, como en diseños industriales para verificar la antropometría de un proyecto y en situaciones de realidad virtual, otros usos en ingeniería biomédica para simular el comportamiento del cuerpo humano bajo ciertos tratamientos.

Bajo el estándar que proporciona MakeHuman, se puede crear diversos avatares y proporcionales el modelo que se ha creado a partir de uno, es decir, las AU's. En la Figura 4.6 se muestra un avatar creado en MakeHuman.

## 4.4. Integración de una criatura virtual en el ambiente

Como se mencionó en la sección 4.3 Blender es fundamental para poder modelar las AU's, sin embargo para los propósitos de este trabajo de investigación, también es muy importante poder hacer que esa criatura virtual pueda existir en un ambiente e incluso interactuar con este ambiente.

Para poder realizar esta población de un ambiente virtual se utilizó *Unity 3D* [77] que es un motor gráfico y tiene beneficios como ser multiplataforma, este motor gráfico permite crear un ambiente virtual (para nuestro caso de estudio se usa el ambiente por *default* de Unity).

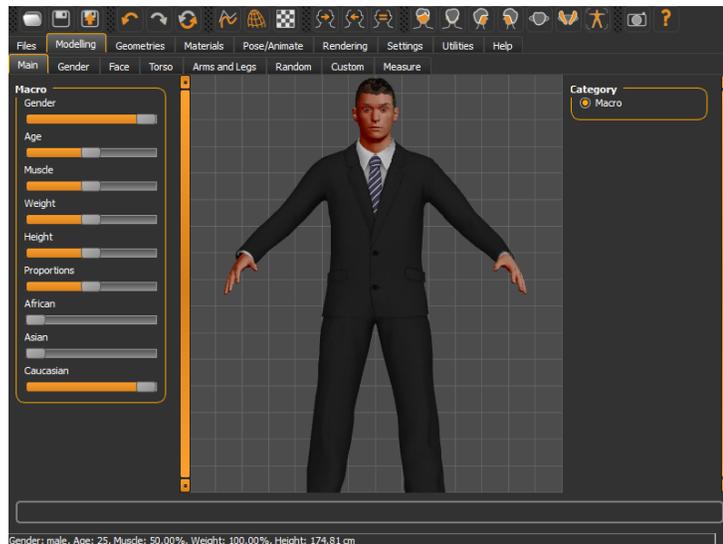


Figura 4.6: Avatar creado en MakeHuman.

Así que se hizo la migración de Blender a Unity con el avatar mencionado en la sección 4.3, el cual se muestra en la Figura 4.7, como se puede observar, se logró la migración de Unity respetando aspectos de interés de este trabajo de investigación, las AU's, sin embargo en Blender la formación de las AU's se conocían como *Shape Keys*, ahora en Unity se conocen como *Blend Shapes*.

Es importante mencionar que a pesar de que el avatar cuenta con un cuerpo, este no tiene movimiento alguno, ya que este trabajo solo se enfoca a la expresión facial y no corporal.

#### 4.4.1. *Prefabs* Unity

Otro tema de interés es el que se abordó en la sección 4.3.1, donde se realizó el estándar para la creación de más avatares que puedan utilizar las AU's, Unity lo complementa, ya que al hacer la migración de Blender a Unity, es posible crear lo que en Unity se conoce como *prefab*, es decir un “prefabricado”, en Unity un tipo de activo que puede ser insertado en varias escenas, y todas las instancias *prefab* están vinculadas al original, es por ello, que al crear este *prefab* se le pueden embeber las AU's a todos los avatares que estén en el ambiente virtual para que cada uno pueda generar expresiones faciales.

Es posible considerar un aporte este logró, ya que hasta donde se tiene

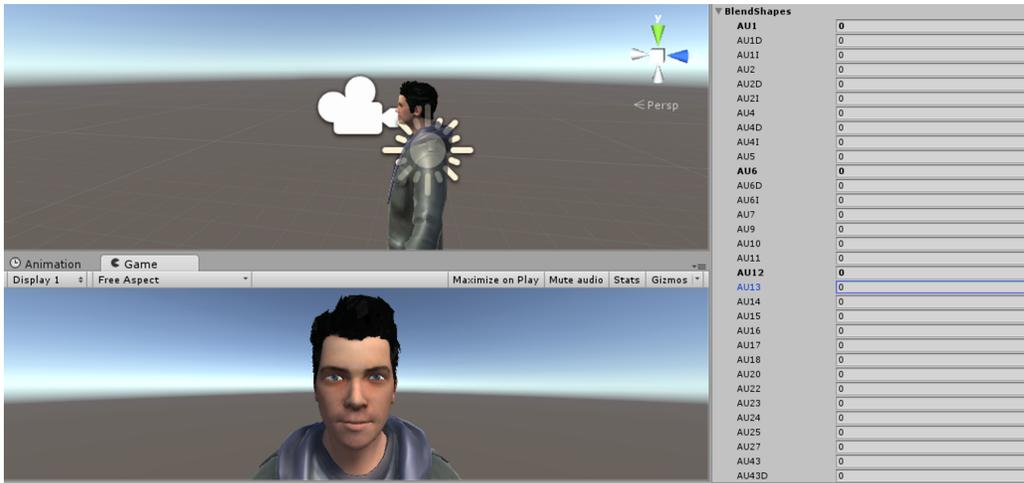


Figura 4.7: Migración de Blender a Unity 3D con las Action Units.

conocimiento, al momento no se ha realizado este tipo de *prefab* o no se había logrado que pudiera ser compatible con diversos ávatares, por lo que se considera como un resultado preliminar y un beneficio colateral al objetivo propuesto. En la Figura 4.8 se puede ver un ejemplo de un *prefab* en Unity.

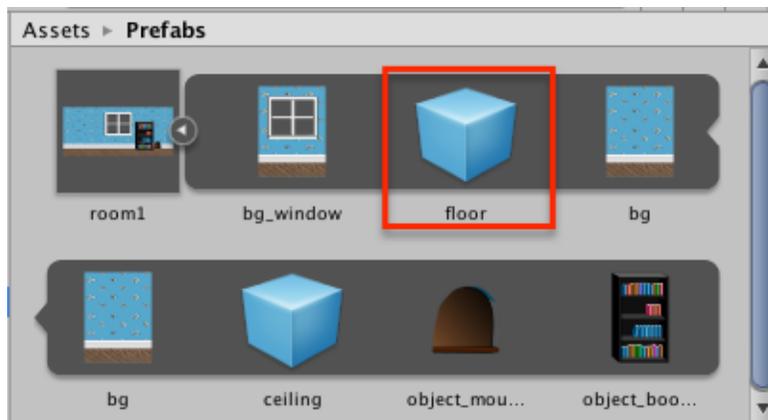


Figura 4.8: Ejemplo de *prefab* en Unity 3D.

## 4.5. Modificación del ambiente virtual utilizando la teoría psico-evolucionista de las emociones

En esta sección a manera de introducción es importante abordar un tema que servirá como caso de estudio para la investigación en la capítulo ??, esto es, teoría psico-evolucionista de las emociones [78].

### 4.5.1. Teoría psico-evolucionista de las emociones

Robert Plutchik menciona en su trabajo denominado “Teoría de colores” [78] como las emociones se asocian a un color y que no hay emociones buenas o malas, puesto que todas tienen un propósito, como protección y a fin de cuentas, él explica que las emociones tienen una función **adaptativa**.

Plutchik describe cinco emociones básicas, que para esta investigación sólo tomaremos en cuenta los colores con los que los asocia, lo que se puede observar en la Tabla 4.1.

Emoción	Color
Alegría	Amarillo
Tristeza	Azul
Enojo	Rojo
Miedo	Verde
Disgusto	Morado

Tabla 4.1: Relación de las emociones y los colores según Plutchik

Por supuesto, este trabajo se limita a lo que son las emociones básicas, pero al igual que Plutchik, creemos que la combinación de las emociones básicas generarán emociones más complejas y existen teorías que lo comparten, como la de Von y la Teoría de Colores [79].

En el capítulo 5 se presenta la propuesta para este trabajo de investigación utilizando como base principal la teoría de Robert Plutchik utilizada en un caso de estudio, adicionalmente a otros estudios.

# Capítulo 5

## Propuesta

La propuesta presentada en este capítulo para la presente investigación es dotar a nuestra criatura virtual de capacidades autónomas para mostrar emociones básicas exhibidas mediante las expresiones faciales correspondientes a una respuesta emocional tomando como referencia de comparación los estudios de Paul Ekman [31] y en el modelo de regulación emocional propuesto por Rosales [4], esto debido a que existen diversas situaciones en las que nuestras emociones pueden ser controlables, reprimidas o incluso ignoradas.

### 5.1. Teoría de agentes y base de conocimiento inicial

La criatura virtual hace uso de la teoría de agentes y sistemas multi-agentes, debido a que ésta debe ser capaz de tomar decisiones de acuerdo a su medio ambiente. En el ambiente como sabemos existen diversos objetos, para nuestro caso de estudio los objetos serán los mínimos en una primera instancia ya que nuestro interés de estudio se basa en obtener una expresión facial con mínimas características del ambiente. Entonces nuestro ambiente sólo contendrá los objetos que produzcan los estímulos necesarios para que la criatura virtual pueda utilizar una regulación emocional y en consecuencia el movimiento de los músculos faciales para obtener una expresión típica conocida.

La originalidad de la presente investigación se basa en la construcción de la base de conocimiento inicial de nuestra criatura virtual mediante comportamientos proporcionados por la diadema neuronal Emotiv EPOC [80], los

cuales son la guía de los comportamientos que tiene un individuo y que la criatura virtual deberá reproducir mediante los estímulos del medio ambiente y adecuarlos a una situación dada. Debemos decir que por el momento sólo estamos recolectando información de un sólo individuo, sin embargo estamos dejando una puerta abierta para poder generar una librería de comportamientos de diferentes personas pudiendo así tener comportamientos heterogéneos.

## 5.2. Construcción de un estímulo

Con base en la teoría neurocientífica la regulación emocional es consecuencia de los estímulos provenientes del entorno tanto interno como externo del individuo, esto es, que uno de los problemas que debemos resolver es la generación de éstos y el filtrado de sólo aquellos estímulos que son utilizados para la generación de expresiones faciales. Estos tienen distintos atributos como son: la relación del *peso visual* con los atributos de un estímulo, los cuales son: posición, tamaño, forma, color, distribución, textura, contraste, movimiento [81]. Para nuestro caso de estudio sólo serán tomados en cuenta con cuatro atributos, esto porque, los experimentos que se realizarán, no se contemplaron atributos como: forma, textura, contraste y movimiento, debido a que por el momento nuestro escenario es de tipo estático.

Los atributos de los estímulos, hasta donde se tiene conocimiento no están catalogados jerárquicamente de una manera formal, es decir, no se tiene certeza de cual de estos atributos tiene mayor peso visual, que como menciona Arnheim [82] un concepto de peso visual puede ser considerado como “*la fuerza con la que un elemento atrae la vista del espectador, a más peso visual, más capacidad tiene de atraer la atención*”, por lo tanto este trabajo propone una forma en que los estímulos puedan competir entre sí para saber cuál de los estímulos presentes tiene mayor peso visual.

El proceso de decisión del peso visual de un estímulo se propone de la siguiente manera:

1. El ambiente virtual en el que habita la criatura virtual, aparecerán de manera aleatoria distintos estímulos, tomando en cuenta los atributos que los componen.
2. Se obtendrán características relativas de acuerdo a los estímulos generados en el ambiente, por ejemplo, el tamaño del estímulo más grande será la referencia para los otros estímulos y tomarán el valor de su

tamaño respectivamente. Algunos atributos, como el color, tienen ya cierto peso visual de acuerdo a, si son colores cálidos o fríos [83].

3. Comparar los atributos de cada estímulo, esto es, hacer la suma del valor de cada estímulo y después obtener el promedio de cada uno, el promedio más grande es el estímulo que ganará la atención de la criatura virtual.

Descrito lo anterior, podemos decir que un estímulo está formado de la siguiente manera:

$$\text{estímulo} = \{\text{color, posición, tamaño, distribución}\}$$

En la Tabla 5.1 podemos ver el orden de los colores de acuerdo a su peso visual de mayor a menor por composición y oscuridad. Esta clasificación se basa en la teoría del color [82].

<b>Peso visual de colores</b>
Rojo
Amarillo
Azul
Verde
Morado

Tabla 5.1: Clasificación de los colores por su peso visual, de acuerdo a su saturación y oscuridad.

Siendo así que los atributos que componen un estímulo se clasifican de mayor a menor conforme al peso visual.

Por ejemplo, si en el ambiente se cuenta con un estímulo rojo y otro amarillo, de acuerdo a la teoría del color el que gana es el color rojo. De ahí se define la competencia de colores de la siguiente forma:

- Color: Rojo > Amarillo > Azul > Verde > Morado

Por otro lado se debe tratar los diferentes atributos como: la posición, el tamaño y la distribución

- Posición: Centro > Izquierda > Derecha [84]
- Tamaño: Grande > Mediano > Pequeño
- Distribución: Juntos > Separados

Un estímulo está conformado por un conjunto de atributos, mismos que compiten de acuerdo al peso visual dentro de nuestro entorno o ambiente virtual. Entonces se define un estímulo  $S$  un conjunto de atributos  $a$  representando color, posición, tamaño, y distribución que conforman un peso visual.

Por lo tanto, se propone un estímulo de manera formal de la siguiente manera:

1. Sea  $S$  un estímulo  $\in \mathbb{R}$
2.  $S_i = \{c, p, t, d\}$  donde  $c$  es el color,  $p$  la posición,  $t$  el tamaño,  $d$  la distribución y  $\{c, p, t, d\} \in [0.0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0]$
3. Siendo la cuarteta de  $S_i$  un **orden parcial**,  $\therefore$  es *reflexiva, transitiva y antisimétrica*
4. Tal que  $S_i \leq S_j$
5. Si  $c_i > c_j \rightarrow S_i > S_j$
6. Si  $c_i = c_j \wedge t_i > t_j \rightarrow S_i > S_j$
7. Si  $c_i = c_j \wedge t_i = t_j \wedge p_i > p_j \rightarrow S_i > S_j$
8. Si  $c_i = c_j \wedge t_i = t_j \wedge p_i = p_j \wedge d_i > d_j \rightarrow S_i > S_j$
9. Otro caso  $S_i = S_j \therefore$  es el **mismo estímulo**

De la competencia de los estímulos, el estímulo con mayor peso visual es que el influya en la criatura virtual, la criatura reaccionará ante ese estímulo, asociándolo a una emoción, la cual se verá reflejada en una expresión facial. Existe una probabilidad en que el promedio de dos estímulos sea el mismo, esto es, que por lo menos uno de sus atributos es diferente, en cuyo caso se tendría que hacer un desempate por jerarquía de atributos. En [85] se explica

los diferentes tipos de jerarquías que se utilizan para los estímulos, estas son: por color, tamaño, posición, disposición de elementos, entre otras. Por lo tanto en este trabajo se utiliza el atributo de **color** como desempate en caso de ser necesario, después tamaño, posición y finalmente distribución, como se observa en la formalización anterior.

Para el caso de estudio de esta investigación, se propone un modelo para representar un estímulo de manera numérica para lograr la competencia entre ellos, como se muestra en la Figura 5.1:

**estímulo =**

color	tamaño	posición	distribución
rojo: 1.0	grande: 1.0	centro: 1.0	juntos: 1.0
amarillo: 0.8	mediano: 0.6	izquierda: 0.6	separados: 0.5
azul: 0.6	pequeño: 0.3	derecha: 0.3	
verde: 0.4			
morado: 0.2			

Figura 5.1: Estímulo representado con valores numéricos propuestos

Los valores numéricos que se muestran en la Figura 5.1 son propuestos ya que hasta donde se sabe, no hay valores numéricos asignados a cada atributo, pero como ya se mencionó, si hay una relación jerárquica de los atributos, por lo que la propuesta numérica puede considerarse válida.

En el siguiente capítulo 6, se muestran las pruebas realizadas discutiendo los resultados obtenidos.

## Capítulo 6

# Experimentación y resultados obtenidos

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la experimentación, utilizando la Teoría de Colores de Robert Plutchik como caso de estudio, además de las lecturas que se obtuvieron utilizando la diadema neuronal Emotiv EPOC introduciendo algunos estímulos y posteriormente, llevado a un ambiente virtual con un avatar que habita este, como se muestra en la Figura 6.1.



Figura 6.1: Estímulo colocado en el ambiente virtual.

En las experimentaciones realizadas, lo primero que se realizó es construir una base de conocimiento inicial embebida en el avatar con base a las seales adquiridas de la diadema neuronal Emotiv EPOC, lo cual se explica en la sección 6.1

## 6.1. Análisis de señales EEG

Se utilizó la diadema neuronal Emotiv EPOC, la cual se tiene en el laboratorio, gracias a ésta, se obtuvieron las señales cerebrales: Alfa, Beta, Theta y Delta lo que permitió tener una referencia acerca de cómo se comporta un individuo a la exposición de diversos estímulos, en este caso colores para poderlos recordar en una criatura virtual, generando así una base de conocimiento inicial para que pueda adquirir una autonomía en un ambiente virtual.

Para el caso de estudio se hace uso de histogramas que permiten obtener las señales Alfa, Beta, Theta y Delta. Estas señales son fundamentales dentro de los procesos emocionales y de atención. La Figura 6.2, muestra el barrido de las señales de interés lo que dará un indicio acerca de cómo están afectando los colores y la aproximación de los rangos en los que se tienen estas señales.

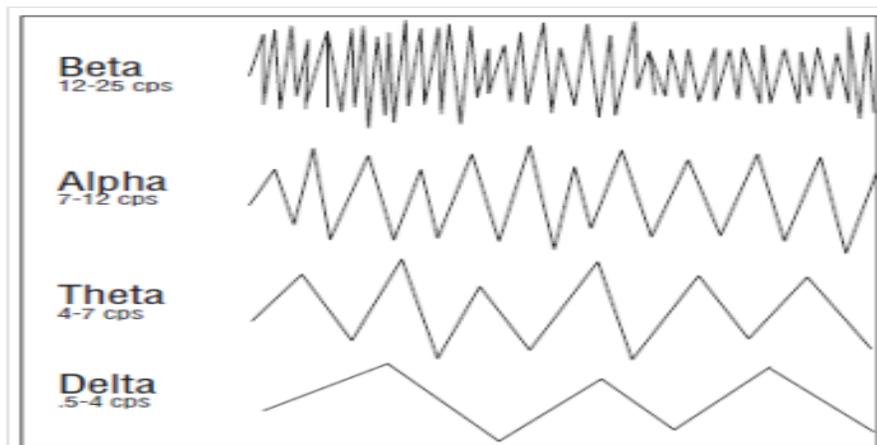


Figura 6.2: Actividad eléctrica durante los estados de ondas cerebrales (cps: ciclos por segundo). Beta: actividad alta, Alfa: alerta relajada, Theta: susceptibilidad profunda, Delta: no consciente. Obtenida de [14].

Es importante considerar la calidad del contacto de los sensores con el cuero cabelludo. Esta debe ser calibrada, es decir, los conductores entre la diadema y el cuero cabelludo deben estar bien humectados como se muestra en la Figura 6.3, hay que tomar en cuenta la calidad del contacto por el movimiento natural que tiene la cabeza, como por ejemplo cuando se habla, o se hace alguna gesticulación, esto puede hacer que la calidad del contacto no sea la adecuada.

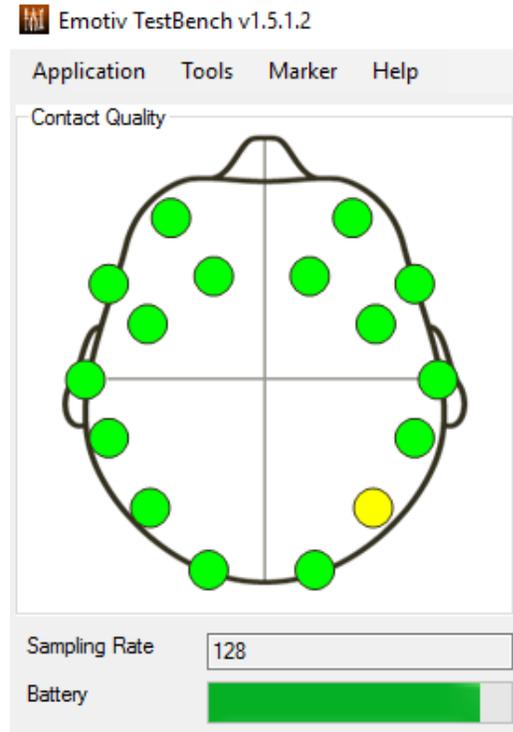


Figura 6.3: Calidad de contacto entre los sensores y el cuero cabelludo de la diadema Emotiv EPOC.

Las lecturas de la diadema se realizaron tomando periodos de un minuto para cada prueba, la relación de los colores con su respectiva emoción asociada se muestran en la Tabla 4.1. La Figuras 6.4 y 6.5. muestra los histogramas obtenidos y la relación del color, la emoción y el proceso de atención.

Como se puede observar en las Figuras 6.4 y 6.5, las señales Alfa, Beta, Theta y Delta, varían de acuerdo al color usado en la prueba, con lo cual podemos validar la teoría de los colores cálidos y fríos [83], además el estudio de Jensen [14] acerca de la interpretación de las señales como se muestra en la Figura 6.2.

Por último la relación entre los colores y las emociones de Plutchik (ver Tabla 4.1), se puede concluir de manera distinta, esto es, por ejemplo las pruebas realizadas con el color rojo, la teoría sustenta que es un color más llamativo y como lo vemos en la prueba (Figura 6.4) la señal Beta tiene una intensidad mucho mayor en relación a las demás, y la correlación que existe

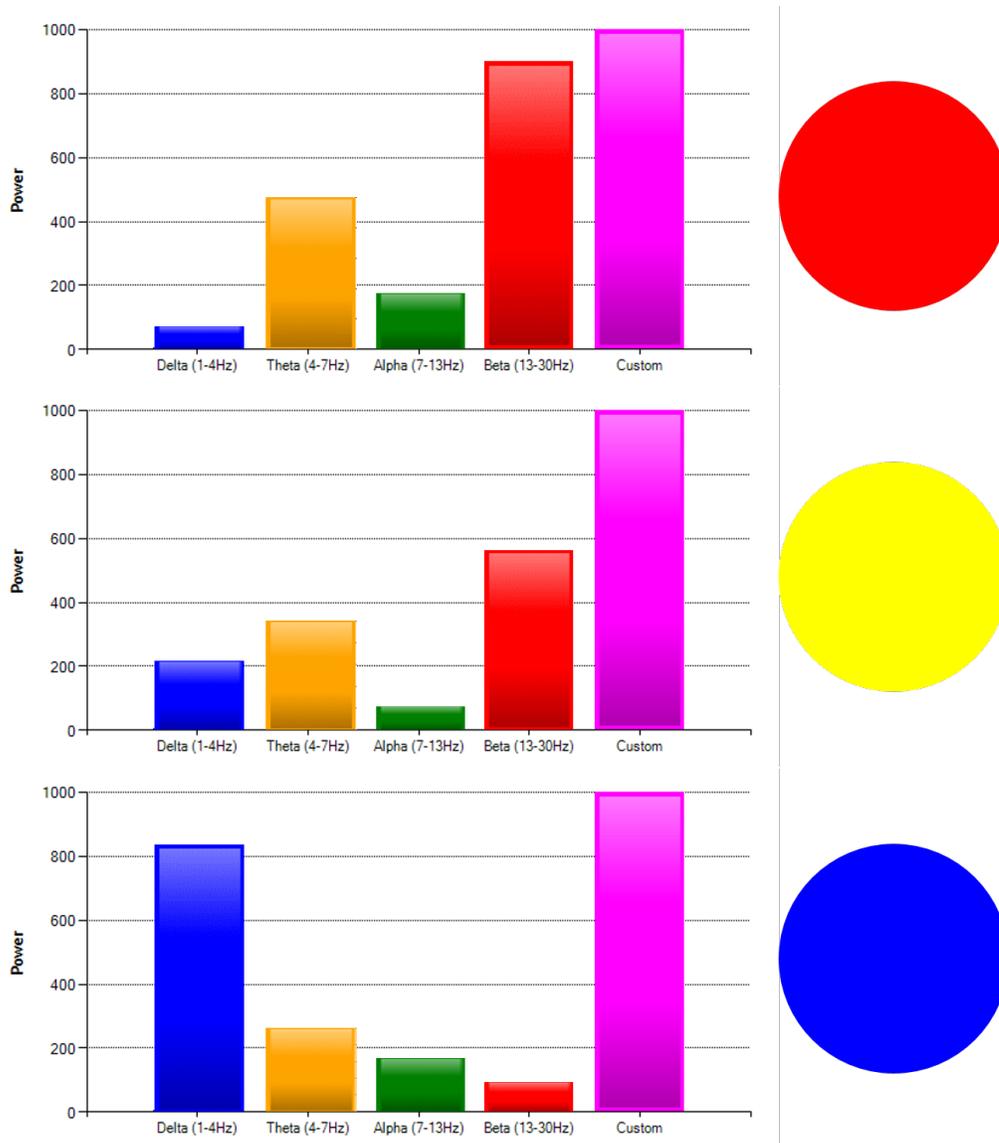


Figura 6.4: Pruebas realizadas en TestBench con duración de 1 minuto cada prueba con un color.

entre el color rojo y la emoción de enojo, la teoría acerca de los colores [83] dice que los colores cálidos como el rojo afecta a las personas en factores como

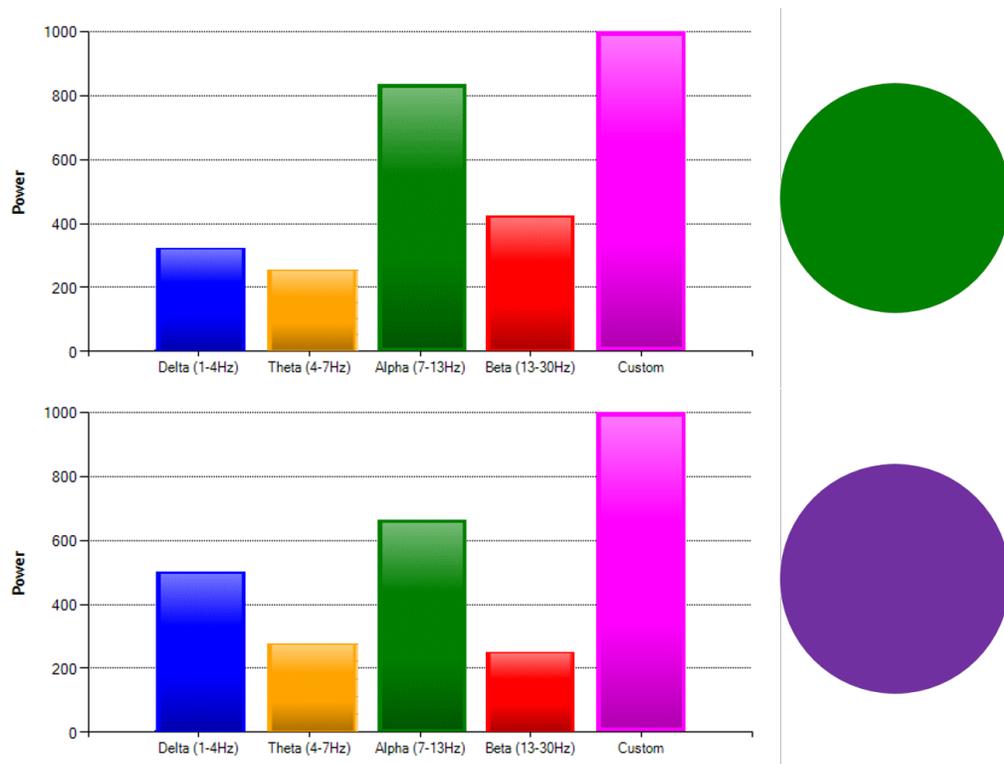


Figura 6.5: Pruebas realizadas en TestBench con duración de 1 minuto cada prueba con un color.

el aumento de la presión sanguínea y la estimulación del sistema nervioso, entonces se puede concluir que la relación que existe entre los estímulos de colores y los procesos de atención con las emociones que generan diferentes expresiones faciales.

Descrito lo anterior, se toman los resultados obtenidos para la generación de la base de conocimiento inicial que posee el avatar para poder generar comportamientos de acuerdo a los estímulos de colores presentados en el ambiente. En las siguiente secciones (6.2 y 6.3), se muestran las pruebas que se realizaron con uno y más estímulos respectivamente.

## 6.2. Pruebas con un estímulo

Las primeras pruebas se hicieron, fueron con un sólo estímulo de color, tomando en cuenta la base de conocimiento inicial que se generó en la sección 6.1, de tal manera que una vez colocado el estímulo, el avatar entra en un proceso de atención [72], esto sustentado en que el estímulo se convierte en un objeto aberrante [86], el cual es considerado como un objeto fuera del contexto, en este caso al ser el ambiente un lugar sin nada que lo poble, excepto por el avatar y al cabo de un tiempo aparece un objeto, en este caso la esfera, el avatar será influenciado por ella.

La dinámica que se siguió en este caso de estudio fue el de hacer que la esfera cambie de color y así en conjunto con la teoría de Plutchik, el avatar puede asociar el color que se presente en el estímulo con una emoción, lo cual modificará las AU's, correspondientes a esa emoción (ver Figura 6.6). Sin embargo, los estímulos no llegan de inmediato al cerebro, para obtener una reacción de la corteza motora y generar los movimientos correspondientes, de acuerdo con Picard [87], la corteza motora tarda en reaccionar a los estímulos de 5 a 100 milisegundos. El tiempo de reacción de la corteza motora no fue el único parámetro a tomar en cuenta en las pruebas, también se consideró el **peso visual** de los estímulos, ya que como se mencionó en el Capítulo 5, la competencia entre los estímulos es importante para el caso de estudio y saber el que tiene el peso visual mayor, esto se hace, obteniendo el promedio de los atributos que estructuran el estímulo.

El peso visual determina la atracción que tendrá el estímulo sobre la criatura virtual o avatar, en el caso neutro (ausencia de color, *negro*), se obtiene un peso visual de 0.75, como se muestra en la Figura 6.7, la estructura del estímulo como se propuso en la sección 5.2, el primer parámetro es el peso visual del color, el segundo es peso visual del tamaño, el tercero representa la posición, y por último la distribución.

De la Figura 6.7 podemos observar que el primer parámetro tiene un valor de cero, esto es porque la color negro es el color con menos peso visual de todos los demás colores, el resto de los parámetros tienen un valor de 1 ya que como es el único estímulo que se encuentra en el ambiente virtual, los valores que tomen no tienen relevancia, en este momento.

Las pruebas se hicieron con cada uno de los colores que se asocian a las emociones, como se pudo observar en la Tabla 4.1 y considerando el peso visual que tuvo cada estímulo de cada color, como se observa en la Figura 6.8, donde podemos notar que el único parámetro que cambia es el primero,

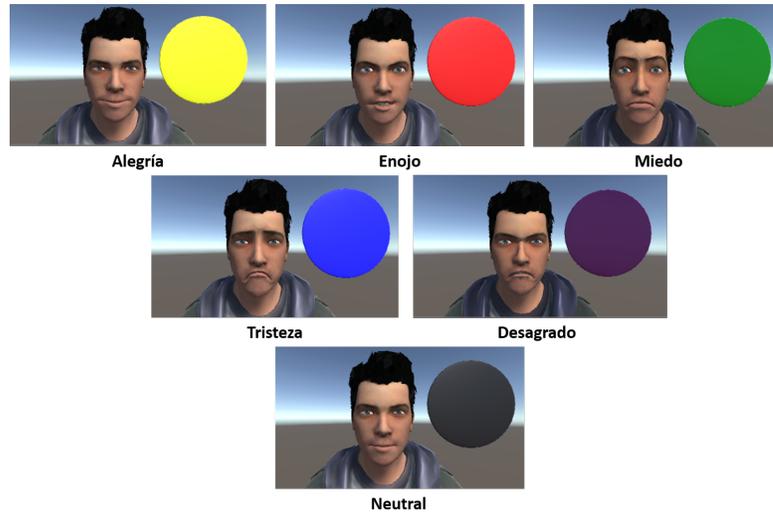


Figura 6.6: Estímulo colocado en el ambiente virtual y la generación de expresiones faciales del avatar ante ese estímulo.

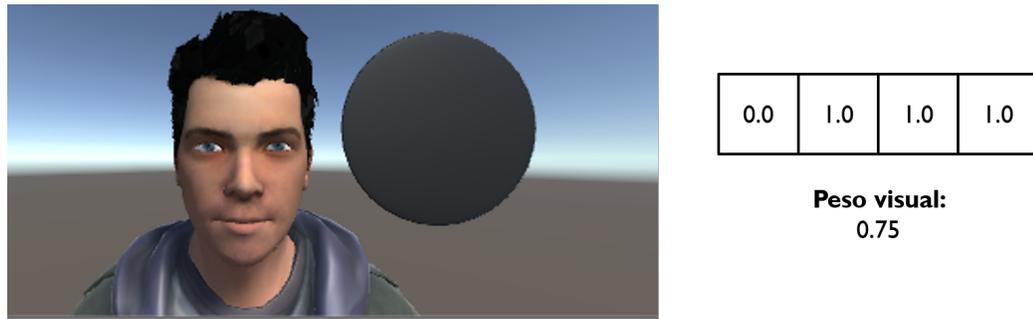


Figura 6.7: Peso visual del color negro

que representa el color, los demás no se alteran por la misma razón que se explico en el párrafo anterior.

Por consecuencia, en el resto de las pruebas con los estímulos de diferentes colores se obtuvieron los siguientes resultados (ver Figuras 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12):

Además, en las Figuras 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12 es posible observar la variación en el primer parámetro, siendo que el color rojo que representa el enojo tiene el mayor peso visual, lo que se interpreta como el estímulo que

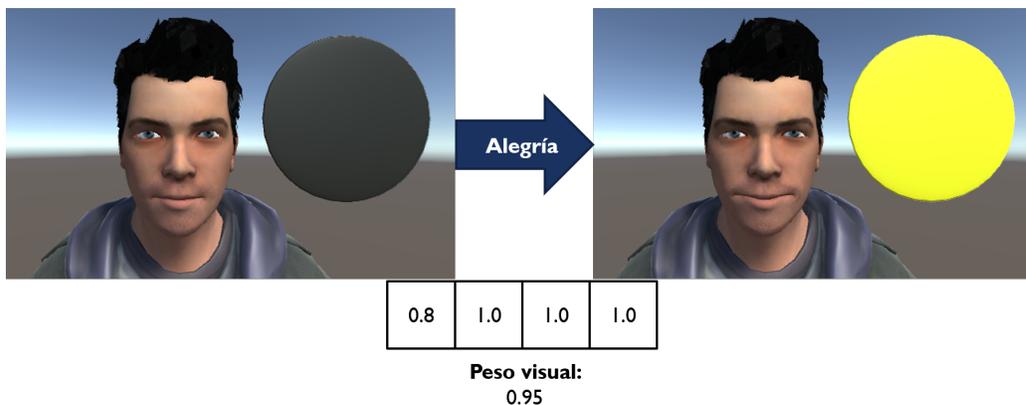


Figura 6.8: Peso visual del color amarillo que representa la emoción de la alegría

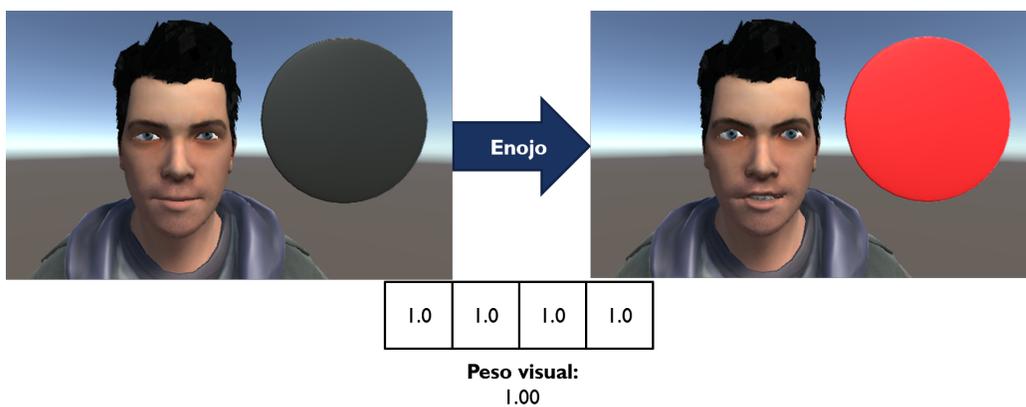


Figura 6.9: Peso visual del color rojo que representa la emoción de enojo

tiene tendencia a llamar más la atención que cualquiera de los otros estímulos presentados, lo cual es coherente tanto en la vida real, como en este caso de estudio.

Sin embargo, también es cierto que la variación de un sólo parámetro hace que los demás parámetros no tengan razón de ser, estos toman mayor relevancia en los casos que se presentan en la sección 6.3. Estas primeras pruebas con un sólo estímulo, forman bases sustentadas en la teoría de Plutchik pa-

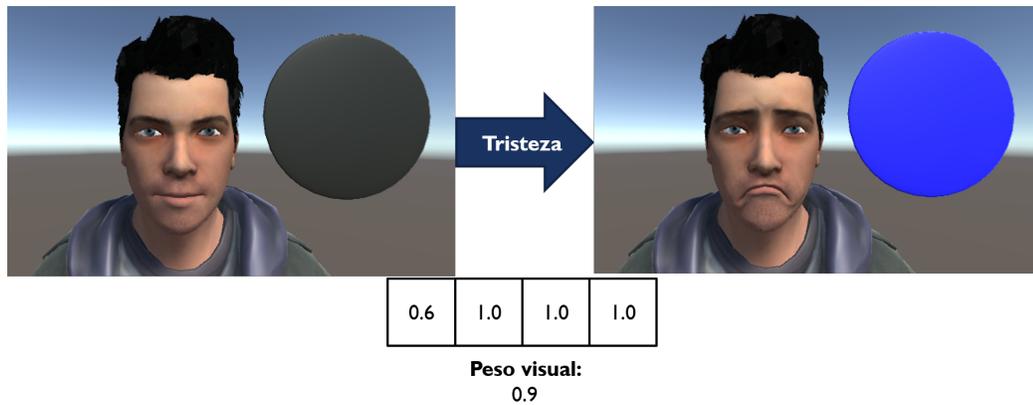


Figura 6.10: Peso visual del color azul que representa la emoción de tristeza

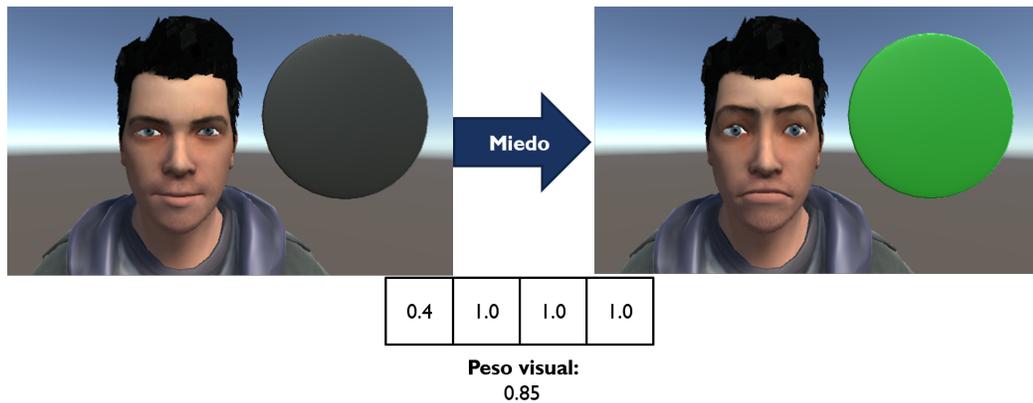


Figura 6.11: Peso visual del color verde que representa la emoción de miedo

ra poder aplicarlas con un enfoque neurocientífico y son el principio para lograr introducir más estímulos en el ambiente virtual los cuales compitan entre sí y por consecuencia afecten al avatar que se encuentra en el mismo entorno virtual para lograr comportamientos que se asemejen un poco más a los observados en los seres humanos.

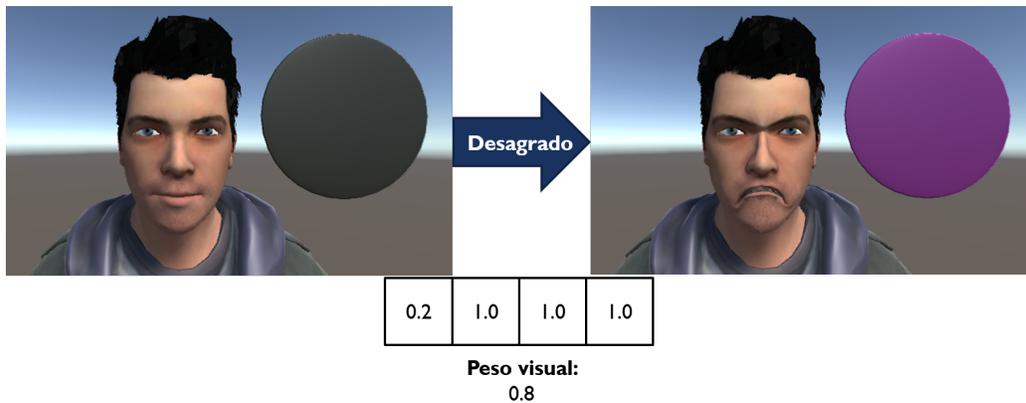


Figura 6.12: Peso visual del color morado que representa la emoción de desagrado

### 6.3. Pruebas con más de un estímulo

Los resultados mostrados en la sección 6.2, sólo toman en cuenta un estímulo, por lo que aunque son importantes los resultados obtenidos, es necesario modificar la cantidad de estímulos, además de los atributos que contengan. Por lo tanto, en esta sección se integraron dos estímulos más a la simulación, de acuerdo con el modelo mencionado en la sección 5.

Por lo tanto, en este caso se realizaron diversos experimentos haciendo una variación entre los estímulos que se presentan en el ambiente, realizando el siguiente proceso:

1. Se trabajó mediante la premisa de la Teoría de Colores de Plutchik [78] y las demás características que conforman un estímulo (color, tamaño, posición y distribución).
2. Se incluyeron dos estímulos más al de pruebas anteriores (sección 6.2) con diferencias en sus atributos para lograr los objetivos deseados, que es saber cuál es el estímulo que tiene el mayor peso visual para el avatar.
3. El avatar estuvo expuesto a los tres estímulos con la variación de tres parámetros, en este caso el color y su intensidad que también influye, por otro lado la posición de cada estímulo, de tal manera que el estímulo afectó al avatar en base al modelo propuesto (capítulo 5).

4. Los estímulos en lapsos de tiempo aleatorios, obtuvieron diferentes valores en sus atributos lo cual influye en su peso visual, es decir, variación en su tamaño, color, posición y distribución.
5. El avatar teniendo como base de conocimiento inicial el peso visual y la asociación de los colores con cada emoción, fue influenciado por cada estímulo de acuerdo a los atributos antes mencionados, por lo tanto la competencia a la que son sometidos los estímulos determina la emoción que relaciona el avatar y así genera la expresión facial correspondiente, como se muestra en la Figura 6.13.

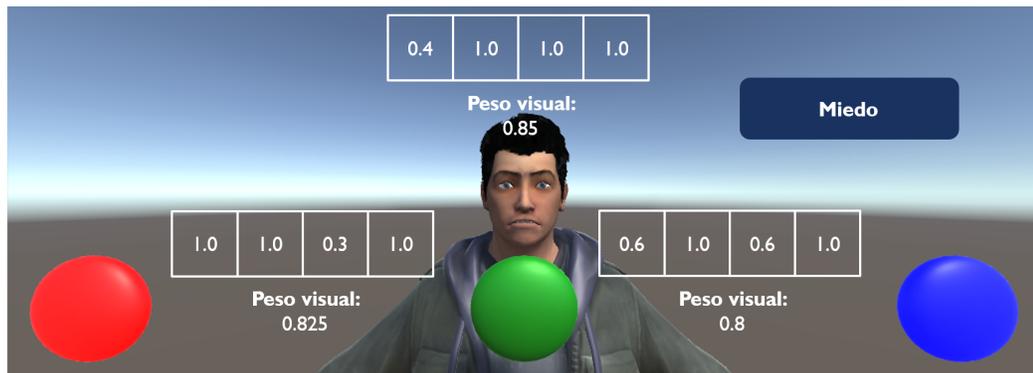


Figura 6.13: Competencia entre tres estímulos de acuerdo a su peso visual

En la Figura 6.13 se observa la competencia generada entre los tres estímulos a los que es expuesto el avatar, de lo cual se concluye que a pesar de que el color rojo es el que tiene un mayor peso visual que el resto de los colores [78], en estos experimentos es claro observar como no es el estímulo ganador de la competencia, debido a que la posición del estímulo de color verde le hace promediar un mayor peso visual que sus competidores azul y rojo, por lo tanto el color verde se asocia con la emoción del miedo, y esta es la expresión generada como resultado de esta competencia.

En otros experimentos realizados se obtienen resultados variables de acuerdo a las características de los estímulos que se encuentran en el ambiente virtual, como por ejemplo la prueba realizada que se muestra en la Figura 6.14, donde el atributo notable es el del tamaño observado en el estímulo de

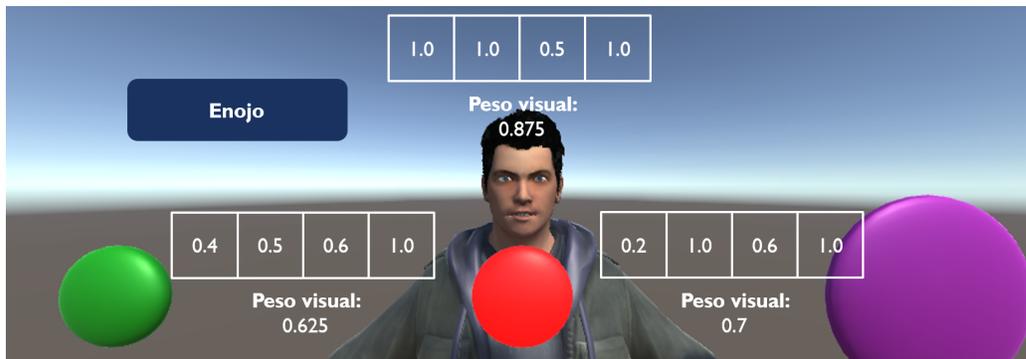


Figura 6.14: Prueba con tres estímulos, con variación de tamaño, posición y color

color morado, sin embargo, a pesar de ello, no es el estímulo que gana, y se demuestra con la expresión facial del enojo.

Por último, en la Figura 6.15, se presenta un caso más en los atributos, en el que se tiene una distribución, esto es, se encuentran dos estímulos juntos (amarillo y morado), lo que produce que ellos en el atributo de distribución del estímulo tengan un valor de 1, mientras que el rojo tiene un valor de 0.5 y esto al final hace que la esfera de color amarillo sea la que más influya en el avatar con un peso visual mayor, lo que produce la expresión facial correspondiente a la alegría.

Las pruebas realizadas y los resultados derivados de estas pruebas, dan indicios para poder generar diversas criaturas virtuales humanoides, pese a que en este momento tendrían la misma base de conocimiento inicial, se puede ir modificando esta base de conocimiento de acuerdo a las experiencias que afecten a cada criatura virtual, haciendo que se generen diferentes personalidades, lo que tendrá como consecuencia que presentándose a diferentes avatares el mismo estímulo, la reacción pueda ser diferente, es decir, la emoción que genere ese estímulo sea distinta, lo que finalmente se verá reflejado en diversas expresiones faciales, lo cual logra acercar un paso más el comportamiento exhibido por una criatura virtual a lo que es un ser humano.



Figura 6.15: El parámetro de la distribución interviene de manera más notable en esta prueba, además de los otros tres parámetros

# Capítulo 7

## Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegaron, así mismo se proponen un par de puntos como trabajo futuro utilizando como base este trabajo.

### 7.1. Conclusiones

Este trabajo de investigación, el objetivo es poder observar comportamientos humanos en una criatura virtual que se acercquen un poco más a lo que se muestra en la vida real, enfocandose específicamente en el rostro y en la generación de expresiones basadas en cinco emociones básicas.

Por lo tanto al finalizar las pruebas realizadas, podemos concluir los siguientes puntos:

- La generación de criaturas virtuales basadas en la teoría de agentes y sistemas multiagentes que son capaces de tomar decisiones de manera autónoma, conforme a una base de conocimiento inicial.
- La base de conocimiento inicial es capaz de actuar conforme a los estímulos que se presentan, los cuales se encuentran dentro de un rango de la construcción de expresiones faciales, como: alegría, enojo, tristeza, miedo o desagrado.
- El modelo propuesto permite embeber en una criatura virtual diferentes expresiones ante estímulos presentados al azar, lo que permite que distintas criaturas virtuales tengan diversas reacciones ante un mismo estímulo.

- Es importante tomar en cuenta todos los atributos de los estímulos, así como la cantidad de estímulos que existan en el ambiente virtual para lograr una interacción e influencia sobre la criatura virtual, lo que provocará que asocie la emoción que represente el estímulo que tiene un mayor peso visual y que la expresión generada por la criatura virtual sea la asociada a la emoción.
- Además de los estímulos en el ambiente virtual, es necesario tomar otras características del ambiente virtual para acercarse más a un comportamiento similar al de un humano, y una de las características más importantes es el contexto en el que se encuentre la criatura virtual, lo que provocaría que los estímulos tomen diferentes significados.

## 7.2. Trabajo futuro

Tal como se mencionó al final de la sección 6.3 del capítulo 6, un trabajo futuro interesante es el proceso de interacción y aprendizaje de los avatares con el ambiente virtual en el que se encuentren, aprendiendo de él y modificando su base de conocimiento inicial, ya sea adquiriendo nuevo conocimiento ó modificando lo que ya se tiene.

- Hacer pruebas ampliando las características del ambiente, así como utilizar todas las características que conforman un estímulo.
- Permitir la interacción entre criaturas virtuales, con base en la influencia de los estímulos.
- Poder incluir experiencias previas o recuerdos, de tal manera que la base de conocimiento se modifique, provocando que cada criatura virtual vaya creando una autonomía en el ambiente de acuerdo a las experiencias que vaya generando.

# Capítulo 8

## Artículos

Los resultados hasta el momento obtenidos en esta investigación se ha materializado en un artículo, el cual se muestra a continuación:

### 8.1. A Neuroscientific-based Mechanism to Represent Emotions through Facial Expressions in Virtual Creatures

- **Enviado** “*A Neuroscientific-based Mechanism to Represent Emotions through Facial Expressions in Virtual Creatures*” Computational Intelligence and Neuroscience, Hindawi Corporation

# A Neuroscientific-based Mechanism to Represent Emotions through Facial Expressions in Virtual Creatures

Rodrigo Vidal-López\*, Marco A. Ramos\*, Erick Castellanos†, Félix F. Ramos†, Vianney Muñoz Jiménez\*, Jonathan-Hernando Rosales†

**Abstract**—A major challenge in artificial intelligence has been the development of autonomous agents capable of displaying believable behaviors. The need for virtual creatures with behaviors similar to the human beings has been increasing in recent years. This need was born thanks to the increasing interaction between humans and virtual environments. These virtual environments are more complex and closer to reality regarding nature and architecture. However, users require an accompaniment within these environments. In particular, emotional behaviors in virtual creatures represent a significant challenge. In this work, a mechanism is proposed to respond to stimuli, associate an emotional state, and represent it through facial expressions in virtual creatures. The presented mechanism is based on neuroscientific evidence, and it's validated with a neuroheadset. Moreover, a simulation was done using Plutchik's color theory to generate emotions in an avatar.

**Index Terms**—Artificial Intelligence, Computational Modeling, Facial Expressions, Autonomous Agents.

## I. INTRODUCTION

The underlying mechanisms of human behaviors have been widely investigated in multiple disciplines [1], [2]. Evidence shows that the attention process allows humans to focus on the most relevant elements in the environment and disregard those irrelevant. On the one hand, attention provides humans with a control mechanism for the allocation of limited processing resources in charge of interpreting incoming stimuli. On the other hand, emotion processes allow humans to evaluate their environment from an emotional perspective and prepare appropriate responses to deal with emotional stimuli. Particularly, emotions endow humans and other animals with proper mechanisms for their adaptation to dynamic environments. The importance of these two brain processes to the development of rational behavior in humans and their interrelationships have been discussed elsewhere [1], [3], [4].

In the fields of artificial intelligence (AI), virtual reality (VR), and human computer interaction (HCI), a primary goal has been the development of autonomous agents (AAs) capable of displaying believable behaviors. The architectures of these intelligent systems usually incorporate components that implement models of cognitive and affective functions

underlying human behavior such as perception, decision making, planning, attention, and emotions. The main purpose of this methodology has been to imitate some aspects of human behavior in AAs, by this making them more believable, and allow them to implement intelligent, social, and emotional responses. In this sense, computational models of emotions and attention have been proposed to be included in, or as part of, cognitive agent architectures. Although considerable efforts have been made to incorporate attentional and emotional mechanisms in AAs, these have been mostly incorporated as two separate processes, disregarding multidisciplinary evidence that suggests that the mechanisms underlying human emotions and attention interact extensively [5]. In this context, despite numerous developments of AAs whose architectures include emotion and attention mechanisms, there is still a need for models that take into account essential interactions between these two processes.

In this work, it is proposed a biologically inspired computational model of emotional attention for generation of facial expression in AAs. This model is designed to synthesize some essential aspects of the interrelationship between human attention and emotions. In particular, the proposed model is designed to provide autonomous agents with adequate mechanisms to attend and react to emotionally salient visual elements in the environment. This fundamental characteristic of human behavior is essential for the development of AAs for several reasons. As an illustration, in situations in which an agent is exposed to environments that contain threatening objects, it is necessary for the agent to embody mechanisms that allow it to properly attend and react to these types of objects (independently of the relevance of its current task), which may even appear spontaneously or be placed outside the agent's focus of attention. In addition, given the evidence that human behavior is highly influenced by emotionally salient elements in the environment, specially fear relevant stimuli, virtual entities in HCI and VR applications must correspond to such behavior by being capable of also attending and reacting to such emotionally salient elements, thus establishing more natural interactions.

This paper is structured as follows. In section II, a review is done of computational models developed to include synthetic emotions and attention mechanisms in AAs. After that, in section III, it's explored the theoretical and empirical evidence from psychology and neuroscience about the interactions between these two processes (which inspired the design of

\*Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec, s/n Ciudad Universitaria. Toluca, México, México, 50130.

†Cinvestav - IPN, Unidad Guadalajara Av. del Bosque 1145, Colonia el Bajío, Zapopan, Jalisco, México, 45019.

Corresponding author: rvidall419@alumno.uaemex.mx and maramosc@uaemex.mx

the proposed model). In section IV, it's presented the high-level design of the proposed model with some implementation details. In section V, a description is given of the study case used to evaluate the proposed model, providing details of the simulations performed, and present some results. Finally, a discussion is provided in section VI and concluding remarks in section VII.

## II. RELATED WORK

There are several papers that propose emotional models to create facial expressions [6], [7], [8], [9] among other cognitive processes that are inspired by biological evidence. The most notable works are cognitive architectures that include multiple cognitive processes that work together to accomplish human-like behaviors but exhibited by virtual creatures. These cognitive architectures are inspired by psychological theories or in neuroscientific evidence for the development of their cognitive processes. For the development of emotions, there are emotional theories that provide us a framework to understand human emotional assessment and the generation of emotions from a stimulus or a set of stimuli within a situation.

In particular, the appraisal theory [10] is the most cited and used within the state of the art. The appraisal theory is a psychological theory that considers the emotion as an appraisal of the environment. This theory mentions three stages of appraisal emotion:

- Appraisals that help the agent to respond to a stimulus (relevance, chattering);
- Appraisals that help the agent to understand its involvement in the situation (the causal agent, motivation, expectations, conductivity);
- Appraisals that help the agent to choose what to do in response to the stimulus addressed (control, power).

Listed below are some of the existing cognitive architectures and a brief analysis of the management and regulation of emotional processes. These architectures were chosen since they are frequently cited and because they are based on the theory of assessment and emotional regulation.

### A. SOAR

State Operator and Result [11], SOAR, is a cognitive architecture for AI, and it is used for the development of agents that solve either ordinary problems or complex ones. The design of SOAR is based on the assumption that all deliberative behavior-oriented goals can be formulated as the selection and application of operators to a state. In other words, if an agent has a particular goal, in any situation this goal can be achieved by multiple forms or actions. The possible actions in such a situation will be the operations for a state, and the state is a representation of the current situation. Moreover, a state is the coding of the situation, a goal is the objective, and a coded operation is a possible action on the behavior of the agent to achieve their goals.

SOAR has not fully implemented the emotional process. However, it proposes a way to implement behaviors based on the theory of emotional evaluation. This architecture modeled the three steps in the theory of assessment, nonetheless it does

not implement these steps and reduces deployment to a simple tool for improvement of the learning of the virtual creature through a greater reward when agents make a good action in some sense.

Given the absence of a full emotional evaluation process, this architecture is neither able to consider multiple cognitive meanings of the same stimulus within the environment, nor to assess emotional states of virtual creatures inside their study cases.

### B. ICUB

Integrated Cognitive Universal Body[7], ICUB, is a cognitive architecture designed for humanoid robots. This architecture searches to copy the cognitive processes in humans and incorporate them into humanoid robots, all this from a psychological and neuroscientific perspective. The architecture has been implemented in ICUB Humanoid robot which has the appearance of a child 2.5 years old, and it has the basic skills that a child of that age possesses. The architecture is not completed, it is only a preliminary architecture.

Through three components, ICUB generates an affective state. These components are: curiosity, dominated by external stimuli; experimentation, dominated by external stimuli; and social commitment, giving a good balance between external and internal stimuli. The affective state, in conjunction with a process of selection of actions in the environment, generates a small homeostatic process that regulates the behavior of the ICUB robot.

ICUB actions are triggered by the change of stimuli in the scene, so it does not require an appropriate behavior because it does not have a process of cognitive emotion regulation.

### C. Kismet

Kismet[12], [13], [6] is developed by the Massachusetts Institute of Technology, and it is capable of expressing emotions. It was started around the 90's, and the architecture developed for this robot began as a working framework which took account of four sub systems:

- Motivation System: consists of handlers and emotions.
- Behavior System: consists of several types of behavior.
- System of Perception and Attention: extracts the characteristics of the atmosphere.
- Motor System: running facial expressions.

The emotions expressed in Kismet are seven based on the theory of basic emotions [14]. Emotions can be used for three purposes: to influence the behavior of the robot giving preference to some behavior more than other; to have an impact on the emotional state of the robot that, in turn, will be shown through the motor system; and finally, to learn after the completion of goals that were predetermined to the robot. Facial expressions are predefined through handles to see a measured motor response of emotions.

As ICUB, Kismet regulates the emotions from changes in the environment, but it does not have a cognitive emotion regulation. That is the reason it does not require a predefined behavior for given situations.

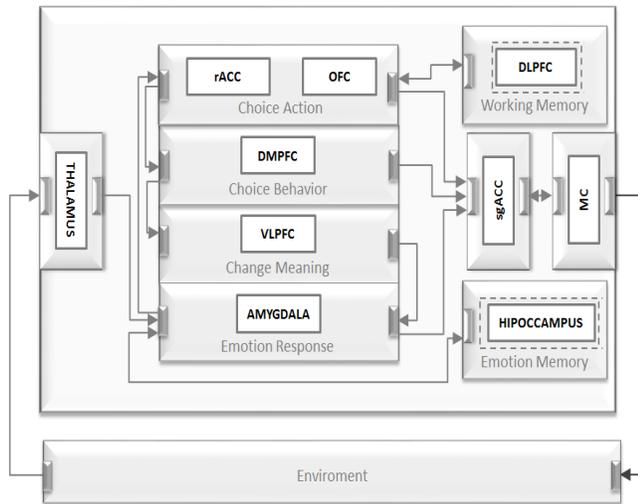


Fig. 1. **Emotion Regulation Architecture** shows a proposed architecture based on Neural evidence and Psychological theories.

### III. THEORETICAL EVIDENCE

Within Section II some cognitive architectures were described. It can be appreciated the lack of an appropriate emotional module to enable natural behavior in agents. In particular, emotional regulation is not addressed as an important part for achieving objectives within the environment.

There is biological evidence, as it is explained below, that shows how human beings seek an appropriate behavior when faced with common situations. Either from prior knowledge associated with known situations, or unknown situations but with constants and known factors in these situations, internal processes are triggered to find a behavior suited for a situation. A typical example is the first day of class in a new school and an unknown teacher: a student's behavior automatically changes, and tries to behave accordingly to what is expected.

While emotions anticipate behavior, it is common to try to repress them in various ways, either trying to ignore stimuli that cause overflow or suppressing the emotional behavior, i.e. pretending that the emotion is not felt. These are the principles of emotional regulation, but how do humans do it? And where do these processes are carried out? Human beings associate ancient knowledge with new one, as in the example of the first day of class, an association is done between the new classroom with old classroom, between the teacher with old teachers, and the school with old schools. This is done by identifying similar characteristics between a known situation and another unknown situation. This relationship are carried out within the brain in areas that retrieve information and cognitive processes of high level.

In neuroscience some of the areas involve in emotional regulation are the Dorso Medial Pre Frontal Cortex (DMPFC), the Dorso Lateral Pre Frontal Cortex (DLPFC), the Ventro Lateral Pre Frontal cortex (VLPFC), the Ventro Medial Pre Frontal Cortex (VMPFC), the Orbito Frontal Cortex (OFC), the Thalamus, the Amygdala, the Hippocampus, the rostral Anterior Cingulate Cortex (rACC), the subgenual Anterior Cingulate Cortex (sgACC), and the Motor Cortex (MC) [15],

[16], [17], [18], [19], [20]. The inputs and outputs of information for each one of these structures are defined within Table I.

These areas have been taken as a basis for the development of a model of emotional regulation for virtual creatures [9]. In this model, a flow of information has been defined. This flow of information is inspired by neuroscience and, at the same time, the model of Gross for emotion regulation [30], [31], [21], [32]. Gross provides us with the entwined processes at a large scale by which, in conjunction with the neurosciences, can define processes and functions. This evidence leads us to the development of a general architecture for emotion regulation in virtual creatures (see Figure 1). The objective of this architecture is to express, in a more explicit way, the flow of information and the sub-processes entwined within the emotional regulation.

### IV. FROM EMOTIONS TO FACIAL EXPRESSIONS

The research presented in this work deals with the problem of finding an appropriate behavior for situations presented in virtual environments. The selected approach is to follow, as close as possible, the biological requirements and neuroscientific evidence expressed in the previous section and the referenced material. The objective is to provide the virtual creatures of search and decision capabilities in order to choose an appropriate behavior to carry out the process of emotion regulation from its internal state.

As a first step to tackle the objective, it's being proposed to narrow some of the possible mechanisms related to emotions. Emotions are manifested in different ways such as facial expressions, speech, gestures and physiology which can be used for identifying them. In this research, two basic decisions are taken: first, emotions are going to be represented by facial expressions in avatars; and, second, emotion states are going to be identified and validated automatically in a real person by using the Emotiv EPOC Neuroheadset.

#### A. Emotive EPOC

The Emotiv EPOC Neuroheadset is a commercially available electroencephalogram (EEG) based device to measure a collection of brainwave signals from 14 sensors touching the scalp (see Figure 2). It extracts excitement intensities from brain signals in real time. These intensities are represented as real values between 0.0 and 1.0. Sensors for respiration, skin conductance, heart rate, and blood volume flow, were used together with EEG data collected using the Emotiv EPOC. When emotion models are used in real-time, the system performs self-scaling such that it is able to adapt to the base point and range of emotions of the current user. Table II shows the specifications of EPOC headset.

#### B. Psychological Theory

Besides neuroscientific theories, it was found a supporting theory from the psychological perspective. Robert Plutchik, in his psycho-evolutionist theory [33], associates colors to emotions according to the functions that they have, e.g. protection,

Structure	Input	Output	References
THALAMUS	Frame with raw information.	Pre-process of frame and shipping address.	[21]
AMYGDALA	Frame with information pre-processed and processed.	Frame with emotional information.	[18], [22], [21]
HIPPOCAMPUS	Requests.	Retrieved information from the emotional memory.	[22], [23]
rACC	Frame with processed information and emotional state.	Possible actions.	[24]
OFC	Possible actions and emotional state.	Frame selected action.	[25], [25], [18]
DMPFC	Frame of action and information from memory.	Emotional state and appropriate emotional behavior.	[26], [27]
DLPFC	Requests.	Retrieved information from working memory.	[28], [18], [28]
VLDFC	Required emotional State.	The cognitive emotional change more approximate to required.	[19], [18], [20], [17]
sgACC	Emotional behavior and emotional state.	General behavior.	[29], [24], [9]
MOTOR CORTEX	General behavior.	Execution frame.	

TABLE I

GENERAL ARCHITECTURE STRUCTURES FOR EMOTION REGULATION: INPUTS AND OUTPUTS

Number of channels	14 (plus CMD/DRL references)
Channel names (Int. 10-20 location)	AF3,AF4,F3,F4,F7,F8,FC5,FC6,P7,P8,T7,T8,O1,O2
Sampling method	Sequential sampling Single ADC
Sampling rate	~128Hz
Resolution	16 bits 1 LSB = 1.95 $\mu$ V
Bandwidth	0.2 - 45Hz, digital notch filters at 40Hz and 60Hz
Dynamic range (input referred)	256mVpp
Coupling mode	AC coupled
Connectivity	Proprietary wireless, 2.4GHz band
Battery type	Li-poly
Battery life	12 hrs
Impedance measurement	Contact quality using patented system

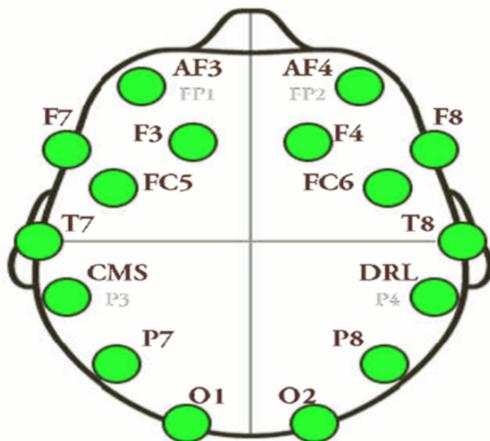
TABLE II  
EPOC HEADSET SPECIFICATION

Fig. 2. Sensor locations covered by EPOC.

rejection, destruction. In a similar way, colors are classified in warm and cold [34] (see table III). These scientific theories allow us to take them as part of a case study and experiment with them in a populated virtual environment.

### C. Other Supporting Tools

Additionally, using modeling software, such as Blender[35], and an avatar creator, like MakeHuman[36], a software component will be developed such that it contains Action Units (AU's) [37] in order to embed them in avatars living in a virtual

Emotion	Color
Happiness	Yellow
Sadness	Blue
Anger	Red
Fear	Green
Disgust	Purple

TABLE III

PLUTCHIK'S ASSOCIATION OF EMOTIONS AND COLORS.

environment. The purpose, and expected result, is that avatars will have facial expressions as a way to represent emotional states.

## V. EXPERIMENTS AND RESULTS

The following experiment was designed using Plutchik's theory [33] as a base. First, in a virtual environment, a colored sphere was placed and used as a stimulus for an avatar as seen in figure 3.



Fig. 3. Stimulus placed in the virtual environment.

Once the stimulus is placed, the avatar starts an attention process [38] because the stimulus acts like an aberrant object [39], that is, an object out of context. In this case, the environment is a place with nothing in it, except the avatar and the stimulus (the sphere), so the avatar becomes influenced by it.

Next, in a dynamic way, the sphere's color is changed with the purpose of modifying the avatar's emotion, according to Plutchik's Theory. In this case, the avatars associates the presented color with an emotion and generates the AUs corresponding to this emotion (see Figure 4). However, the stimulus will not arrive immediately to the brain to create a

reaction of the motor cortex with the correct moves. According to Picard [40], the motor cortex has a lag of reaction in the range of 5 to 100 milliseconds.

Moreover, reaction time in the motor cortex was not the only param to consider as a validation, the visual weight of colors was considered too. Defined by Xiang [34] like “*the force with the element attracts the vision of a viewer; to more visual weight, more capability has of attracts the attention*”. In neurosciences, it is known as **attention process** [41]. It has been demonstrated that attention can only be sustained for short periods of time. These periods don’t exceed fifteen minutes.

In a neuronal level, it takes time to make strong synapses and, consequently, prevent from giving a response to others stimuli detected. For this reason, there exists a classification of colors into warm and cold types. **Warm colors** are the ones that attract more attention. For example, the red color is the most used in signs or markings because the majority of the human beings recognize them. What’s more, to a reduced number of people, their emotional regulation association of this color in specific affects them in a physical way, like the increase of the blood pressure and the nervous system. The other type of color, **cold colors**, like blue, green and purple, give a sensation of calm.

#### A. EGG Signal Analysis and Neuroscientific Sustenance

The Emotiv EPOC Neuroheadset allowed us to obtain brain signals: Alpha, Beta, Theta, and Delta. This fact enabled us to validate with neuroscientific evidence the attention process and color’s theory.

Signals are captured and viewed in histograms. The processing and interpretation of these signals are fundamental in the emotional and attentional process. Figure 5, shows the sweep of signals of interest. This will give us a clue about how colors are influencing a person, and the proximity of the ranges in which these signals are being triggered.

Important: the device must be correctly calibrated, this is, sensors between the headset and the scalp must have continuous communication like shown in figure 6.

The readings collected by the headset were taken in periods of time of a minute for each test. The relationship between colors and emotions are shown in Table III.

Signals Alpha, Beta, Theta, and Delta, vary according to the color used for the test like can be observed in Figure 7. These experiments give some validation of Xiang’s theory [34] about warm and cold colors. Along with the study done by Jensen [42] concerning the interpretation of signals like shown in Figure 5.

When analyzing the experiment realized with the red color (see Figure7), it’s observed that Beta signal has a greater intensity compared with the others. This behavior is related to the emotion of anger, which supports Plutchik’s theory [33] (see Table III). Furthermore, this result also adheres to what is described in Xiang’s theory [34], which states that this color, being warm, has more relevance than other colors to attract attention. This result, seen from both perspectives, **\*\*validates\*\*** the approach taken to create an interrelation



Fig. 4. Stimulus set in the virtual environment and the generation of facial expressions of avatar influenced by this stimulus.

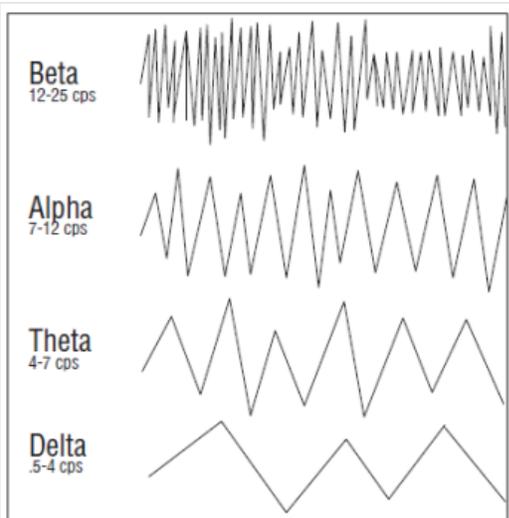


Fig. 5. Electrical activity during brain wave states (cps: cycles per second). Beta: high activity, Alpha: relaxed alert, Theta: deep susceptibility, Delta: not conscious. Brain waves facilitate synchronization in neuronal and how you can focus on the mind [42].

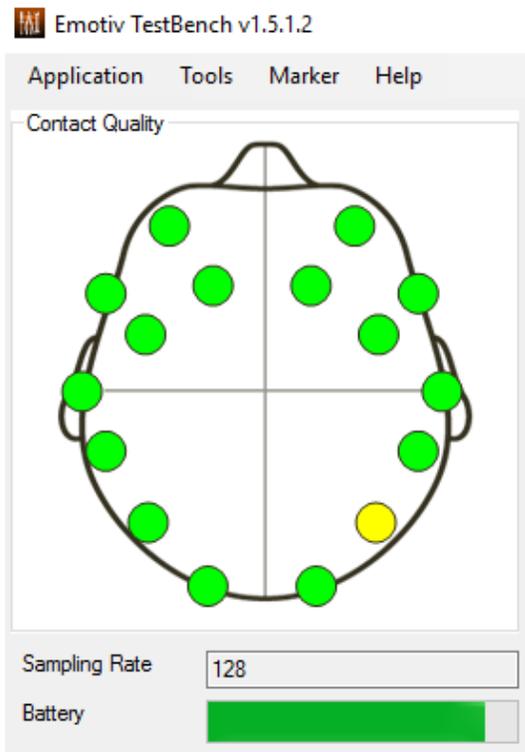


Fig. 6. Quality of contact between the sensors and the scalp of the Emotiv EPOC diadem.

between the two theories, so that the resulting emotional regulation is more similar to what is observed in a human.

The results can be observed in Figure 4, where they were taken into account the three params before mentioned:

- 1) Motor cortex reaction.
- 2) Visual weight of colors.
- 3) Attention process.

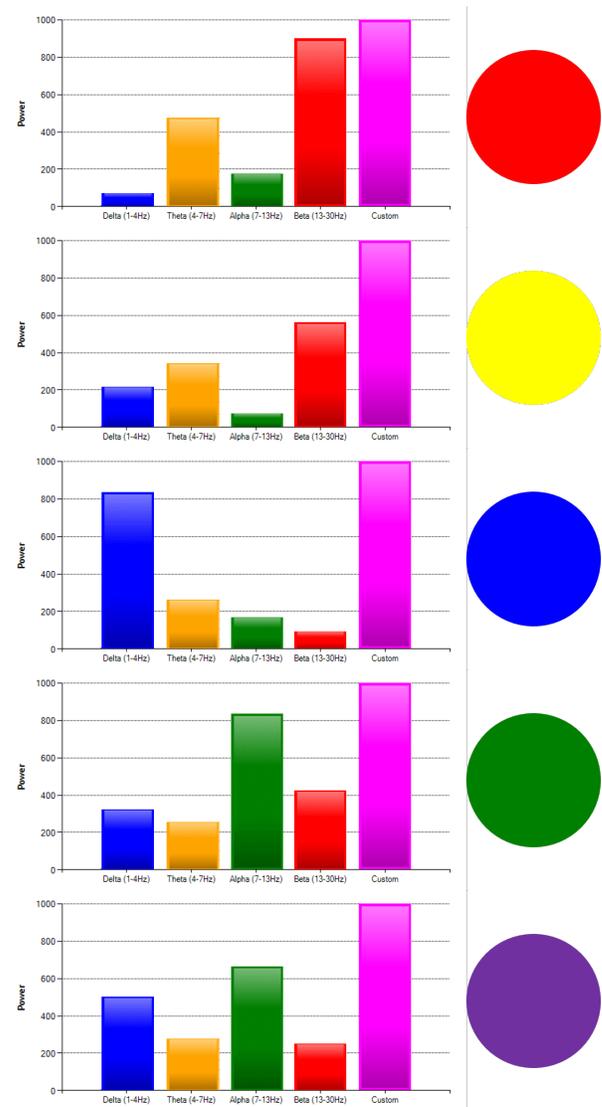


Fig. 7. Tests performed in TestBench with duration of 1 minute each test with a color.

## VI. DISCUSSION

It is important to mention that the results are based on an only stimulus, for this reason, is necessary to increase the number of stimuli for obtaining behaviors a little similar to observed in human been, in addition, must be taken into consideration that this paper is only working with the facial expressions, the complement is still missing for a complete expression, that is, the body expression

However, the neuroscientific support provided in V-A and Ekman's studies on AUs and their relation to the basic emotions (see Table IV) and what is shown in Figure 4 can be concluded that if it is possible to embed an emotional module in a virtual creature and that it is influenced by stimuli that are present in the virtual environment where he lives.

Until the moment, one has the limitation of observing a homogeneous behavior in the avatars because its knowledge base is the same. It has the possibility of generating different behaviors based on personality that will be working in the near

Emotion	AUs
Happiness	6 + 12
Sadness	1 + 4 + 15
Anger	4 + 5 + 7 + 23
Fear	1 + 2 + 4 + 5+ 7 + 20 +26
Disgust	9 + 15 + 16

TABLE IV

AUS THAT ARE ACTIVATED FOR THE GENERATION OF FACIAL EXPRESSIONS BASED ON THE BASIC EMOTIONS.

future

According to the work done in this research and the conclusions reached, it is necessary to include more stimuli in the virtual environment that affect the avatar or failing to include at least another avatar with a different personality to achieve reactions other than the same stimulus.

The experimentation in which we are currently working is the inclusion of new stimuli, the inclusion of these stimuli should be considered in an important way because theories that are working, the stimulus take different meanings, depending: the form, the size, the color, You context and others.

Thus, for the next experiments:

- 1) Will be working taking the premise of color theory and its intensity
- 2) Two more stimuli will be included, in the form of a sphere and the same size, so that the three stimuli have the same characteristics
- 3) Taking into account that warm colors have more visual weight than cold colors, saturated colors have greater visual weight than unsaturated ones and finally, those dark colors have a greater visual weight than light colors, a classification of greater than lower visual weight, which can be seen in the Table V.
- 4) The avatar will be exposed to the stimuli with the characteristics mentioned above.
- 5) The stimuli in random time periods will obtain one of the colors measured in Table V, randomly, as well as an intensity that will also be random between 0 and 100
- 6) The avatar having as initial knowledge base the visual weight and the association of colors with an emotion, will be influenced by each stimulus according to the color and the intensity that in each stimulus is present, affecting the avatar in such a way that it will be able to be observed the facial expression of the stimulus that has the most impact and the emotion that it represents (See Figure 8).

Color weights by composition (saturation) and darkness
Red
Yellow
Blue
Green
Purple

TABLE V

CLASSIFICATION OF COLORS ACCORDING TO THEIR VISUAL WEIGHT.

In this way, it will be possible to observe in the case study different behaviors represented by facial expressions before more than one stimulus and that the stimuli do not affect in

the same way the avatar, which will allow us to see a behavior a little more similar to that of a human real.



Fig. 8. Avatar with three stimuli taking colors and random intensities.

The originality of this research lies in the possibility of integrating a greater number of stimuli based on prior knowledge because a single stimulus represents a simple decision for a virtual creature. With the integration of a greater number of stimuli the complexity of the decision increases, which causes that the virtual creature does not have a reaction in real time. The number of stimuli in conjunction with the virtual environment based on context parameters such as previous experiences, shapes, sizes, generating new bases of knowledge that allows obtaining behaviors that approach a little more to those observed in humans.

## VII. CONCLUSIONS

In this paper is present the way of generating behaviors in virtual creatures with evidence neuroscientific.

The attention process y emotional regulation is validated through EGG diadem, getting behaviors similar to human been.

The modules of emotional regulation saw for neuroscience allows imbibe in the virtual creatures a knowledge base that is adaptative to the conditions of the environment.

The secondary emotional regulation generated from the intersection of differents factor allow observed facial expressions in many different cases to the community proposals, so, open a possibilities window for study and use differents avatars.

The use of colors and emotional regulation allow getting basics facial expressions based on Plutchik's Theory [33].

Is necessary generated others study cases that allow getting differents types of behavior in the same environment and being able to obtain virtually environments in which phenomena similar to those of real life can be observed.

## CONFLICTS OF INTEREST

The author(s) declare(s) that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

## REFERENCES

- [1] S. Kastner and L. G. Ungerleider, "Mechanisms of visual attention in the human cortex," *Annual Review of Neuroscience*, vol. 23, no. 1, pp. 315–341, 2000, pMID: 10845067.
- [2] E. A. Phelps, S. Ling, and M. Carrasco, "Emotion facilitates perception and potentiates the perceptual benefits of attention," *Psychological science*, vol. 17, no. 4, pp. 292–299, 2006.
- [3] L. Pessoa, M. G. Pereira, and L. Oliveira, "Attention and emotion," *Scholarpedia*, vol. 5, no. 2, p. 6314, 2010.

- [4] J. Taylor and N. Fragopanagos, "Modelling human attention and emotions," in *Neural Networks, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Joint Conference on*, vol. 1. IEEE, 2004.
- [5] P. Vuilleumier, "How brains beware: neural mechanisms of emotional attention," *Trends in cognitive sciences*, vol. 9, no. 12, pp. 585–594, 2005.
- [6] C. Breazeal, "Emotion and sociable humanoid robots," *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 59, pp. 119–155, 2003.
- [7] D. Vernon, C. von Hofsten, and L. Fadiga, *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer-Verlag, Ed. COSMOS 11, 2010.
- [8] L.-F. Rodríguez, F. Ramos, and Y. Wang, "Cognitive computational model of emotions," in *10th IEEE IC on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI'CC'11)*, 2011.
- [9] J. H. Rosales, K. Jaime, and F. Ramos, "An emotional regulation model with memories for virtual agents," in *ICCI\*CC\*2013. 2013, New York, USA.*, 2013.
- [10] K. R. Scherer, A. Schorr, and T. a. Johnstone, *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research. Series in affective science.*, O. U. Press, Ed. New York, NY, US. xiv 478 pp, 2001.
- [11] J. E. Laird, *The Soar Cognitive Architecture*, M. I. of Technology, Ed. 1 edition, 2012.
- [12] C. Breazeal, "Early experiments using motivations to regulate human-robot interaction," *AAAI Technical Report FS-98-03*, vol. 3, pp. 31–36, 1998.
- [13] C. Breazeal and B. Scassellati, "Infant-like social interaction between a robot and a human caregiver," *Adaptive Behavior*, vol. 8, pp. 49–74, 2000.
- [14] T. Bosse, M. Pontier, and J. Treur, "A computational model based on gross emotion regulation theory," *Cognitive System Research*, vol. 11, pp. 211 – 230, 2010.
- [15] R. J. Davidson, K. M. Putnam, and C. L. Larson, "Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation – a possible prelude to violence," *Science*, vol. 289, pp. 591–594, 2000.
- [16] A. R. Hariri, V. S. Mattay, A. Tessitore, F. Fera, and D. R. Weinberger, "Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli," *BIOL PSYCHIATRY*, vol. 53, p. 49450, 2003.
- [17] K. L. Phan, D. A. Fitzgerald, P. J. Nathan, G. J. Moore, T. W. Uhde, and M. E. Tancer, "Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: A functional magnetic resonance imaging study," *BIOL PSYCHIATRY*, vol. 57, pp. 210–219, 2005.
- [18] L. A. Miller, K. H. Taber, G. O. Gabbard, and R. A. Hurley, "Neural underpinnings of fear and its modulation: Implications for anxiety disorders," *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*, vol. 17:1, pp. 1–6, 2005.
- [19] S. J. Banks, K. T. Eddy, M. Angstadt, P. J. Nathan, and K. L. Phan, "Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation," *SCAN*, vol. 2, pp. 303–312, 2007.
- [20] L. Campbell-Sills, A. N. Simmons, K. L. Lovero, A. A. Rochlin, M. P. Paulus, and M. B. Stein, "Functioning of neural systems supporting emotion regulation in anxiety-prone individuals," *Neuroimage*, vol. 54:1, pp. 689–696, 2011.
- [21] E. R. Kandel, J. H. Schwartz, and T. M. Jessell, *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, Ed. Fourth Edition, 2000.
- [22] P. J. Whalen and E. A. Phelps, *THE HUMAN AMYGDALA*, T. G. Press, Ed. 1 edition, 2009.
- [23] P. Andersen, R. Morris, D. Amaral, T. Bliss, and J. O'keefe, *The Hippocampus Book*, O. U. Press, Ed. 1 edition, 2007.
- [24] G. Bush, P. Luu, and M. I. Posner, "Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, pp. 215–222, 2000.
- [25] J. D. Wallis, "Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making," *Annu. Rev. Neurosci.*, vol. 30, pp. 31–56, 2007.
- [26] J. Grinband, J. Savitskaya, T. D. Wager, T. Teichert, V. P. Ferrera, and J. Hirsch, "The dorsal medial frontal cortex is sensitive to time on task, not response conflict or error likelihood," *NeuroImage*, vol. 57(2), pp. 303–311, 2011.
- [27] J. C. Cooper, S. Dunne, T. Furey, and J. P. O'Doherty, "Dorsomedial prefrontal cortex mediates rapid evaluations predicting the outcome of romantic interactions," *The Journal of Neuroscience*, vol. 32(45), pp. 15 647–15 656, 2012.
- [28] M. Petrides, "The role of the mid-dorsolateral prefrontal cortex in working memory," *Executive Control and the Frontal Lobe: Current Issues*, vol. VI, pp. 44–54, 2000.
- [29] W. C. Drevets, J. Savitz, and M. Trimble, "The subgenual anterior cingulate cortex in mood disorders," *CNS Spectr*, vol. 13(8), pp. 663–681, 2008.
- [30] H. Barbas, "Prefrontal cortex: Structure and anatomy," *Encyclopedia of Neuroscience*, vol. 7, pp. 909–918, 2009.
- [31] M. Bennett, "The prefrontal-limbic network in depression: A core pathology of synapse regression," *Progress in Neurobiology*, vol. 93, pp. 457–467, 2011.
- [32] J. M. Fuster, *The Prefrontal Cortex*, Elsevier, Ed. Fourth Edition, 2008.
- [33] R. Plutchik, "Emotions, evolution, and adaptive processes," in *Feelings and emotions: the Loyola Symposium*. Academic Press, New York, 1970, pp. 3–24.
- [34] W. Xiang-Yang, Y. Hong-Ying, Z. Hong-Liang, and W. Jun-Feng, "A color blockhistogram image retrieval based on visual weight," *Acta Automatica Sinica*, vol. 36, no. 10, pp. 1489–1492, 2010.
- [35] J. W. McConnell, B. T. Mock, and Z. Yin, "Blender," Nov. 1 2016, uS Patent D770,226.
- [36] MakeHuma Team. (2016) Makehuman. [Online]. Available: <http://www.makehuman.org/>
- [37] P. Ekman, E. Rosenberg, and J. Hager, "Facial action coding system affect interpretation dictionary (facsaid)," 1998.
- [38] C. Avila-Contreras, O. Medina, K. Jaime, and F. Ramos, "An agent cognitive model for visual attention and response to novelty," in *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*. Springer, 2014, pp. 27–36.
- [39] J. Lock, A. Garrett, J. Beenhakker, and A. L. Reiss, "Aberrant brain activation during a response inhibition task in adolescent eating disorder subtypes," *American Journal of Psychiatry*, 2011.
- [40] N. Picard and P. L. Strick, "Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation," *Cerebral cortex*, vol. 6, no. 3, pp. 342–353, 1996.
- [41] M. I. Posner and S. E. Petersen, "The attention system of the human brain," DTIC Document, Tech. Rep., 1989.
- [42] E. Jensen, *Teaching with the brain in mind*. ASCD, 2005.

# Bibliografía

- [1] Emotiv. *Emotiv Epoc Headset Manual*, 2014 edition, 2014.
- [2] Victor Fernández Cervantes. *Interpretación de Estructura y Movimiento Corporal Usando Teoría de Patrones Difusa*. PhD thesis, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I. P. N., Unidad Guadalajara, Junio 2014.
- [3] John Laird. *The Soar cognitive architecture*. MIT Press, 2012.
- [4] Jonathan-Hernando Rosales, Karina Jaime, Felix Ramos, and Marco Ramos. An emotional regulation model with memories for virtual agents. In *Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI\* CC), 2013 12th IEEE International Conference on*, pages 260–267. IEEE, 2013.
- [5] Jes Greene. How involuntary micro expressions can reveal your true emotions. url: <http://www.businessinsider.com/how-involuntary-micro-expressions-can-reveal-your-true-emotions-2015-2>, 2015.
- [6] Pauk Ekman. *Micro expressions*, 2016.
- [7] Charles Darwin, Paul Ekman, and Phillip Prodger. *The expression of the emotions in man and animals*. Oxford University Press, USA, 1998.
- [8] Adjamir M Galvao, Flavia A Barros, Andre MM Neves, and Geber L Ramalho. Persona-aiml: An architecture developing chatterbots with personality. In *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*, pages 1266–1267. IEEE Computer Society, 2004.
- [9] Universitt Augsburg. Alfred facts, January 2008.
- [10] Faceshift Online. Faceshift studio v.2015.2, 2015.

- [11] Hanson Robotics. Sophia, the robot, 2016.
- [12] A James Hudspeth, Thomas M Jessell, Eric R Kandel, James Harris Schwartz, and Steven A Siegelbaum. *Principles of neural science*. 2013.
- [13] P Ekman, E Rosenberg, and J Hager. Facial action coding system affect interpretation dictionary (facsaid), 1998.
- [14] Eric Jensen. *Teaching with the brain in mind*. ASCD, 2005.
- [15] Avinash Awasthi and Manas K Mandal. Facial expressions of emotions: Research perspectives. In *Understanding Facial Expressions in Communication*, pages 1–18. Springer, 2015.
- [16] Fred S Roberts. *Measurement theory*. 1985.
- [17] Paul Ekman. Facial expressions. *Handbook of cognition and emotion*, 16:301–320, 1999.
- [18] Pree Zanolia, Kateri McRae, and James J Gross. Emotion regulation. *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences: An Interdisciplinary, Searchable, and Linkable Resource*, 2015.
- [19] Tibor Bosse, Matthijs Pontier, and Jan Treur. A dynamical system modelling approach to gross model of emotion regulation. In *Proceedings of the 8th international conference on cognitive modeling, ICCM*, volume 7, pages 187–192. Taylor and Francis/Psychology Press, Oxford, UK, 2007.
- [20] Thomas A O'Neill, Richard D Goffin, and Ian R Gellatly. Test-taking motivation and personality test validity. *Journal of Personnel Psychology*, 2015.
- [21] Hans W Giessen. Serious games effects: An overview. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 174:2240–2244, 2015.
- [22] Diego S Benitez, Sebastian Toscano, and Adrian Silva. On the use of the emotiv epoc neuroheadset as a low cost alternative for eeg signal acquisition. In *Communications and Computing (COLCOM), 2016 IEEE Colombian Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2016.

- [23] David Vernon, Claes Von Hofsten, and Luciano Fadiga. *A roadmap for cognitive development in humanoid robots*, volume 11. Springer Science & Business Media, 2011.
- [24] Richard Zhao. *Tiered behaviour architecture for virtual characters using cyclic scheduling and behaviour capture*. PhD thesis, University of Alberta, 2015.
- [25] Michael Wooldridge. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009.
- [26] Gustavo Alejandro Torres Blanco. *Metodología para el desarrollo de arquitecturas cognitivas basadas en neurociencias*. PhD thesis, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I. P. N., Unidad Guadalajara, Octubre 2013.
- [27] Bethany A Burum and Marvin R Goldfried. The centrality of emotion to psychological change. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 14(4):407–413, 2007.
- [28] Tony Ward. Emotion, cognition and motivation. *Sexual Offending: Cognition, Emotion and Motivation*, page 1, 2017.
- [29] William James. What is an emotion? *Mind*, 9(34):188–205, 1884.
- [30] Keith Oatley, Dacher Keltner, and Jennifer M Jenkins. *Understanding emotions*. Blackwell publishing, 2006.
- [31] Paul Ekman and Wallace V Friesen. Facial action coding system. 1977.
- [32] Paul Ekman and Wallace V Friesen. *Manual for the facial action coding system*. Consulting Psychologists Press, 1978.
- [33] Ben Sawyer and Peter Smith. Serious games taxonomy. In *Slides from the Serious Games Summit at the Game Developers Conference*, 2008.
- [34] Lennart Nacke. Affective ludology: Scientific measurement of user experience in interactive entertainment. 2009.
- [35] Tarja Susi, Mikael Johannesson, and Per Backlund. Serious games: An overview. 2007.

- [36] Mohammad A Fraiwan, Natheer Khasawneh, Ahmed Malkawi, Muhammed Al-Jarrah, R Alsa'di, and S Al-Momani. Therapy central: On the development of computer games for physiotherapy. In *Innovations in Information Technology (IIT), 2013 9th International Conference on*, pages 24–29. IEEE, 2013.
- [37] T Pamela et al. A prototype head-motion monitoring system for in-home vestibular rehabilitation therapy. *Journal of Bioengineering and Biomedical Science*, 2012.
- [38] Yao-Jen Chang, Shu-Fang Chen, and Jun-Da Huang. A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in developmental disabilities*, 32(6):2566–2570, 2011.
- [39] Zhengyou Zhang. Microsoft kinect sensor and its effect. *MultiMedia, IEEE*, 19(2):4–10, 2012.
- [40] Dave Cliff. Biologically-inspired computing approaches to cognitive systems: a partial tour of the literature. *Hewlett-Packard Company*, 2003.
- [41] Stewart W Wilson. State of xcs classifier system research. In *Learning Classifier Systems*, pages 63–81. Springer, 2000.
- [42] Yuichiro Anzai. *Pattern Recognition & Machine Learning*. Elsevier, 2012.
- [43] Panos J Antsaklis. Neural networks for control systems. *Neural Networks, IEEE Transactions on*, 1(2):242–244, 1990.
- [44] Ankit Maheshwari, Richa Garg, and Er Naveen Sharma. A review paper on brief introduction of genetic algorithm. 2016.
- [45] Rothlauf Franz. Representations for genetic and evolutionary algorithms, 2006.
- [46] Jochem B Evers. Simulating crop growth and development using functional-structural plant modeling. In *Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications*, pages 219–236. Springer, 2016.
- [47] Daniel Goleman. *Inteligencia emocional*. Editorial Kairós, 2012.

- [48] Pat Langley, John E Laird, and Seth Rogers. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2):141–160, 2009.
- [49] David E Kieras and David E Meyer. An overview of the epic architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Human-computer interaction*, 12(4):391–438, 1997.
- [50] Giorgio Metta, Giulio Sandini, David Vernon, Lorenzo Natale, and Francesco Nori. The icub humanoid robot: an open platform for research in embodied cognition. In *Proceedings of the 8th workshop on performance metrics for intelligent systems*, pages 50–56. ACM, 2008.
- [51] Jochen Hirth, Norbert Schmitz, and Karsten Berns. Emotional architecture for the humanoid robot head roman. In *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, pages 2150–2155. IEEE, 2007.
- [52] Allen Newell. *Unified theories of cognition*. Harvard University Press, 1994.
- [53] Francisco M Rivas, José M Canas, and Juan González. Aprendizaje automático de modos de caminar para un robot humanoide. *Proceedings of Robot*, pages 120–127, 2011.
- [54] David Vernon, Giorgio Metta, and Giulio Sandini. The icub cognitive architecture: Interactive development in a humanoid robot. In *Development and Learning, 2007. ICDL 2007. IEEE 6th International Conference on*, pages 122–127. Ieee, 2007.
- [55] Tibor Bosse, Matthijs Pontier, and Jan Treur. A computational model based on gross emotion regulation theory. *Cognitive systems research*, 11(3):211–230, 2010.
- [56] Felipe Rodríguez, Francisco Galvan, Félix Ramos, Erick Castellanos, Gregorio García, and Pablo Covarrubias. A cognitive architecture based on neuroscience for the control of virtual 3d human creatures. In *International Conference on Brain Informatics*, pages 328–335. Springer, 2010.

- [57] Richard J Davidson, Katherine M Putnam, and Christine L Larson. Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation—a possible prelude to violence. *science*, 289(5479):591–594, 2000.
- [58] Ahmad R Hariri, Venkata S Mattay, Alessandro Tessitore, Francesco Fera, and Daniel R Weinberger. Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli. *Biological psychiatry*, 53(6):494–501, 2003.
- [59] K Luan Phan, Daniel A Fitzgerald, Pradeep J Nathan, Gregory J Moore, Thomas W Uhde, and Manuel E Tancer. Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: a functional magnetic resonance imaging study. *Biological psychiatry*, 57(3):210–219, 2005.
- [60] Paul Ekman. Lie catching and microexpressions. *The philosophy of deception*, pages 118–133, 2009.
- [61] Paul Ekman and Wallace V Friesen. Nonverbal leakage and clues to deception. *Psychiatry*, 32(1):88–106, 1969.
- [62] Paul Ekman. *Telling Lies: Clues to Deceit in the Marketplace, Politics, and Marriage (Revised Edition)*. WW Norton & Company, 2009.
- [63] Dragos Dacu and Léon JM Rothkrantz. Automatic recognition of facial expressions using bayesian belief networks. In *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*, volume 3, pages 2209–2214. IEEE, 2004.
- [64] Gisela Labouvie-Vief. Emotions and cognition: From myth and philosophy to modern psychology and neuroscience. In *Integrating Emotions and Cognition Throughout the Lifespan*, pages 1–16. Springer, 2015.
- [65] Michael J Bernstein, Steven G Young, Christina M Brown, Donald F Sacco, and Heather M Claypool. Adaptive responses to social exclusion social rejection improves detection of real and fake smiles. *Psychological Science*, 19(10):981–983, 2008.
- [66] Arjan Egges, V Kshirsagar, and Nadia Magnenat-Thalmann. Imparting individuality to virtual humans. 2008.
- [67] Stacy Marsella and Jonathan Gratch. A step toward irrationality: using emotion to change belief. In *Proceedings of the first international joint*

- conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, pages 334–341. ACM, 2002.
- [68] Joseph Weizenbaum. Eliza— a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 26(1):23–28, 1983.
- [69] Judea Pearl. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [70] Arjan Egges, Sumedha Kshirsagar, and Nadia Magnenat-Thalmann. A model for personality and emotion simulation. In *Knowledge-based intelligent information and engineering systems*, pages 453–461. Springer, 2003.
- [71] FEGGY Ostrosky and Alicia Vélez. Neurobiología de las emociones. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 13(1), 2013.
- [72] Cynthia Avila-Contreras, Ory Medina, Karina Jaime, and Félix Ramos. An agent cognitive model for visual attention and response to novelty. In *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*, pages 27–36. Springer, 2014.
- [73] Paul Ekman and Maureen O’Sullivan. Who can catch a liar? *American psychologist*, 46(9):913, 1991.
- [74] Vinita Rangarajan and Josef Parvizi. Functional asymmetry between the left and right human fusiform gyrus explored through electrical brain stimulation. *Neuropsychologia*, 83:29–36, 2016.
- [75] John W McConnell, Brandon T Mock, and Zhaoyi Yin. Blender, November 1 2016. US Patent D770,226.
- [76] MakeHuma Team. Makehuman, 2016.
- [77] Unity Community. Unity 3d, 2016.
- [78] Robert Plutchik. Emotions, evolution, and adaptive processes. In *Feelings and emotions: the Loyola Symposium*, pages 3–24. Academic Press, New York, 1970.

- [79] Johann Wolfgang Von Goethe. *Theory of colours*, volume 3. Mit Press, 1840.
- [80] Emotiv Epoc. testbench specifications, emotiv, 2014. *Emotiv Software Development Kit User Manual for Release, Ed, 1(0.5)*.
- [81] Raúl Parada-Castellano. Study of balance of images using visual weight. *Color Research & Application*, 41(2):175–187, 2016.
- [82] Rudolf Arnheim. *Art and visual perception*. Stockholms Universitet, Institutionen för Konstvetenskap, 2001.
- [83] Nilgün Olguntürk. Psychological color effects. 2015.
- [84] Thomas M Spalek and Sherief Hammad. The left-to-right bias in inhibition of return is due to the direction of reading. *Psychological Science*, 16(1):15–18, 2005.
- [85] Robin Williams. *The non-designer’s design book: design and typographic principles for the visual novice*. Pearson Education, 2015.
- [86] James Lock, Amy Garrett, Judy Beenhakker, and Allan L Reiss. Aberrant brain activation during a response inhibition task in adolescent eating disorder subtypes. *American Journal of Psychiatry*, 2011.
- [87] Nathalie Picard and Peter L Strick. Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. *Cerebral cortex*, 6(3):342–353, 1996.