Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Computación

Desarrollo de una base de conocimientos con retroalimentación facial - emocional

tesis profesional para obtener el título de:

maestro en ciencias de la computación

María Cristina Aguilar Castellanos

Asesor:

Dr. David Eduardo Pinto Avendaño

Co-asesor:

Dra. Darnes Vilariño Ayala

Resumen

En este trabajo de tesis se desarrolló una base de conocimientos con la intención de que en un futuro un ser humano interactúe con un robot humanoide utilizando aspectos de empatía emocional. En particular el robot debe capaz de reconocer emociones humanas tales como: alegría, ira, repulsión, miedo, tristeza y sorpresa; como aspecto de retroalimentación sobre la interacción que este sostenga con un humano y responder con una expresión facial similar.

Así, el primer paso consistió en determinar el dominio de representación de la base de conocimientos para proceder a diseñar los mecanismos de almacenamiento y representación del conocimiento.

Se debe estudiar la manera en que el humanoide debe interactuar con el mundo exterior, para comenzar a implementar la base de conocimientos en el sistema de control de datos del robot humanoide.

Índice general

Índice general I

Índice de figuras III

Índice de tablas V

Lista de figuras V

1. Introducción 1
- 1.1. Planteamiento de la investigación . . . 1
  - 1.1.1. Problema a resolver . . . 2
  - 1.1.2. Objetivos de la investigación . . . 2
  - 1.1.3. Justificación de la investigación . . . 2
  - 1.1.4. Preguntas de investigación . . . 3
- 1.2. Aportaciones de la investigación . . . 3

2. Estado del arte 5
- 2.1. Ontologías de Emociones . . . 5
- 2.2. Interacción humano - robot . . . 7

3. Marco Teórico 15
- 3.1. ¿Qué son las emociones? . . . 15
- 3.2. Teorías sobre emociones . . . 17
  - 3.2.1. William McDougall . . . 17
  - 3.2.2. Magda B. Arnold . . . 18
  - 3.2.3. Robert Plutchik . . . 18
  - 3.2.4. Kurt Gray . . . 18
  - 3.2.5. Paul Ekman & Friesen . . . 20
- 3.3. Base de Conocimientos . . . 22
  - 3.3.1. Taxonomía . . . 23

3.3.2. Ontología 23

4. Metodología de solución **31**
4.1. Taxonomía de Emociones 31
4.2. Corpus Supervisado de expresiones faciales 31
4.2.1. Sistema para creación de corpus supervisado 33
4.2.2. Medición de la expresión facial - Sistema de Codificación de Acción Facial 35
4.3. Ontologías 45

5. Conclusiones y trabajo a futuro **67**
5.0.1. Aportaciones 68
5.0.2. Trabajo a futuro 68

Bibliografía **69**

Índice de figuras

2.1. Expresiones faciales básicas del robot mesero. 10
2.2. Imágenes tomadas durante el experimento. 11
2.3. Robot Kismet. 12
2.4. Robot KASPAR en un juego de imitación. 13

3.1. Rueda de las Emociones, Robert Plutchik 19
3.2. Cuadrante de emociones morales 21
3.3. Emociones básicas, Paul Ekman. Ira, miedo, repulsión, sorpresa, alegría y tristeza. 22
3.4. Ejemplo de Taxonomía. 23

4.1. Taxonomía de Emociones Faciales desarrollada. 32
4.2. Sistema para creación del corpus supervisado. 34
4.3. Diagrama de recolección de imágenes faciales. 36
4.4. Sujeto de estudio, expresiones faciales. 37
4.5. Músculos de la cara. 54
4.6. Unidades de Acción del Sistema de Codificación de Acción Facial. 55
4.7. Unidades de Acción con sus músculos correspondientes. (AU por sus siglas en inglés Action Units) 59
4.8. Ontología Emociones Faciales 60
4.9. Ontología Músculos de la cara 61
4.10. Ontología Acciones Faciales 62
4.11. Ontología Emociones Faciales en Protegé. 63
4.12. Ontología Músculos de la cara en Protegé. 64
4.13. Ontología Acciones Faciales en Protegé. 65
4.14. Sistema de Ontologías. 66

Índice de tablas

3.1. Tabla de emociones básicas y opuestas. 20

4.1. Unidades de Acción Facial 39
4.2. Tabla Reglas de puntuación. 43
4.3. Tabla de emociones y su acción facial correspondiente. 45

Capítulo 1

Introducción

El grupo de Investigación en Ingeniería del lenguaje y del Conocimiento acaba de adquirir un robot humanoide que posee la capacidad de expresión facial. El proyecto que se pretende desarrollar permitirá que dicho robot pueda interactuar con los seres humanos y expresar el sentimiento en función de la forma en que se esté interactuando con él.

Cada vez más, los robots son utilizados para interactuar con humanos, estos ya no son sólo máquinas utilizadas en la industria para realizar trabajos más precisos o más rápidos, o en el espacio para reparar estaciones espaciales entre otras. Hoy en día éstos son usados, por ejemplo en actividades terapeúticas para niños con autismo o en asistencia social. Por lo tanto ya no es suficiente que un robot entienda instrucciones, si no que también debería ser capaz de reconocer emociones y poder expresarlas, debido a la comunicación no verbal que las expresiones faciales transmiten.

Teniendo en cuenta que ahora las emociones se convierten en un componente importante en la interacción diaria entre humanos y robots, se vuelve necesario tener mecanismos que permitan al robot humanoide la identificación de emociones humanas y de expresión facial - emocional. Por lo que este trabajo de investigación propone desarrollar una base de conocimientos que permita dicha interacción entre seres humanos y robots.

1.1. Planteamiento de la investigación

En esta sección se describe el problema a resolver, se definen los objetivos del proyecto y las preguntas de investigación.

1.1.1. Problema a resolver

Desarrollar una base de conocimientos basada en un sistema de ontologías para el reconocimiento de expresiones faciales.

1.1.2. Objetivos de la investigación

A continuación se presentan los objetivos generales y específicos relacionados a este trabajo de investigación.

- **Objetivo general**
  - Desarrollar una base de conocimientos basada en un sistema de ontologías para el reconocimiento de expresiones faciales.
- **Objetivos específicos**
  - Diseñar una taxonomía de emociones faciales básicas para describir las emociones faciales emitidas por humanos.
  - Diseñar e implementar una herramienta para conformar un corpus de emociones basadas en la taxonomía desarrollada.
  - Desarrollar el corpus de imágenes clasificadas según la taxonomía, para usarlas en el sistema de reconocimiento de emociones faciales.
  - Desarrolar las ontologías que conformarán el sistema de ontologías de expresiones faciales.

1.1.3. Justificación de la investigación

Al momento, el robot humanoide puede expresar emociones faciales porque se le da una instrucción mediante un comando específico, lo que se desea es que de manera automática sea capaz de reconocer expresiones faciales expresadas por un humano y responder de manera similar, esto es debido a que las expresiones faciales son un componente importante de la comunicación no verbal entre las personas y el reconocer expresiones faciales es esencial en áreas como la computación afectiva y la interacción hombre-máquina. Sin embargo, los especialistas en sistemas computacionales han ignorado en gran medida la emoción y creado una experiencia a menudo frustrante para las personas, en parte porque el afecto ha sido mal entendido y difícil de medir

[1].

Los robots inteligentes se han desarrollado rápidamente durante los últimos años, con la aparición de estos, la capacidad del robot para interactuar con un humano se vuelve más y más importante. En esta interacción, la habilidad de reconocimiento mutuo y de comprensión es necesaria. Los gestos, la conversación, la mirada, la dirección de la cara, etc, pueden ser considerados como información para llevar a cabo esta habilidad [2].

Para crear una máquina social y por lo tanto verdaderamente inteligente, necesitamos dotarla de sentidos: la vista mediante cámaras de video, el tacto mediante sensores de presión, el gusto mediante reacciones químicas y los movimientos de manos son perfectos brazos mecánicos.

Parecería entonces que todo está hecho, pero no es así, la parte más difícil es simular las emociones. Pero ¿Por qué son tan importantes?. Las emociones son importantes no sólo por el progreso que recientemente se ha hecho en el conocimiento de los mecanismos cerebrales de los diferentes procesos emocionales. El impacto social que ha tenido la llamada inteligencia emocional nos permite afirmar que los sentimientos no son un lujo, ni un capricho de la naturaleza y que constituyen un elemento sustancial de la inteligencia y de nuestra capacidad para tener éxito en las relaciones e interrelaciones sociales [3].

1.1.4. Preguntas de investigación

A continuación se presentan algunas preguntas que surgen.

- ¿Es posible emular en el robot humanoide expresiones emocionales a partir de rostros humanos?
- ¿Es posible construir una base de conocimientos para emociones humanas con retroalimentación facial - emocional?

1.2. Aportaciones de la investigación

La aportación más importante de esta investigación es una base de conocimientos en el dominio de expresiones faciales.

Capítulo 2

Estado del arte

> Computers are magnificent tools for the realization of our dreams, but no machine can replace the human spark of spirit, compassion, love, and understanding.
>
> Louis Gerstner

En esta sección se presenta un panorama global del estado del arte en las áreas de ontologías de emociones y en el área de interacción humano - robot.

2.1. Ontologías de Emociones

Marco Grassi [4] en el año 2009 en su artículo "Developing HEO Human Emotions Ontology" propone usar los instrumentos y la visión de la Web Semántica mediante el desarrollo de una ontología para manipular emociones humanas que pueda ser usada en la anotación de emociones en datos multimedia en la codificación de los metadatos.

No sólo para codificar la información en un idioma procesable por una máquina, sino también para asociar la semántica a la misma, un significado bien definido y sin ambigüedades que podría hacer que la información fuera inequívocamente interpretada incluso entre diferentes usuarios. Para este propósito usaron RDF(Resources Description Framework, el cual es un lenguaje que permite describir recursos usando su propio vocabulario), que provee un fundamento para representar y procesar metadatos.

Para asegurar un intercambio efectivo de la información codificada es necesario proporcionar una comprensión compartida de un dominio, para

superar las diferencias en la terminología. Para este fin, es necesario la introducción de ontologías, que por lo tanto juegan un papel fundamental en la Web Semántica.

Las Ontologías hacen posible compartir entendimiento común acerca de la estructura de la información entre personas o agentes de software. Una vez agregada a través de una ontología, esta información se puede utilizar para responder a consultas de los usuarios o como entrada de datos a otras aplicaciones. La ontología HEO fue desarrollada en el lenguaje OWL(Ontology Web Language [5])con un triple propósito.

Proporcionar una estandarización del conocimiento de la emoción, lo cual puede ser útil en particular para las personas con poca experiencia en el campo de la emoción. Que se permite la definición de un vocabulario común que se puede utilizar en la descripción de la emoción con una máquina totalmente accesible semánticamente. Y porque es posible ser utilizada en la creación de menús para una aplicación de software con anotación multimedia. De hecho la organización taxonómica de clases y propiedades define una jerarquía clara de los descriptores, y las restricciones introducidas por las propiedades y los tipos de datos permitidos limitan el conjunto de posibles instancias, permitiendo de esta manera la estructuración de los menús y submenús de anotación.

En el trabajo de A. García- Rojas et al. en 2006 [6] se desarrolló una ontología con el fin de apoyar el modelado de animación facial emocional en humanos virtuales (VH - Virtual Humans). Dentro de esta ontología presentan conceptos de animación facial MPEG-4 y su relación con la emoción a través de los perfiles de expresión que utilizan los modelos psicológicos de las emociones.

Ellos nos dicen que la síntesis de animación facial comprende muchos campos del conocimiento: psicología, control de animación, normas, etc., y el uso de una ontología es una buena solución para una especificación formal de un conocimiento compartido. En este artículo ellos proponen presentar este conocimiento mediante ontologías para un entendimiento común.

Las emociones deben tomarse en cuenta cuando se implementan sistemas de información pare hacer una computación más social y humanista es lo que dicen Juan Miguel López et al. en su investigación desarrollada en el 2008 [7] donde proponen una ontología, para describir emociones, que sirva como

camino para desarrollar un modelo formal que pueda ser fácilmente computarizado.

Para expresar las emociones ellos usan los 3 sistemas propuestos por Lang: *Información subjetiva o verbal*, *conductual* (expresiones faciales y posturales, parámetros paralingüísticos del habla) y *respuestas físicofisiológicas* como la frecuencia cardíaca o respuestas electroencefalográficas. Considerando que los sentidos son usados por los humanos y los sensores por computadoras con el fin de recibir información afectiva. Ellos presentan un modelo emocional en el que en general se pueden identificar dos partes principales la del mundo físico y la del mundo mental. En la primera parte los sensores reciben como entrada una situación constituída por estímulos, los cuales tienen como salida una sensación en el mundo mental, interviniendo procesos de percepción para dar significado a las sensaciones.

Para formalizar el modelo emocional presentado utilizaron OWL(Ontology Web Language) y para enriquecer su ontología utilizaron DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering [8]) con el fin de construir un modelo conceptual.

2.2. Interacción humano - robot

En esta sección se presentan algunos trabajos realizados con robots en el área de interacción con humanos.

Para comenzar se habla del trabajo de Alexander Bannat et al. [9] quienes presentan un robot que toma el rol de un mesero. En general cuando una persona llega al lugar el robot se acerca a esta, y primero verifica si la persona ya es conocida para poder dirigirse a esta por su nombre, si no se dirije de una manera más formal (puede ser con frases en inglés o en alemán). El pedido se realiza a través del habla y puede ser confirmado por el usuario, ya sea por el discurso o por gestos de la cabeza (asintiendo o negando agitando la cabeza). Con base en la retroalimentación del diálogo positivo o negativo, las emociones de la cabeza robótica se configuran correspondientemente. Por ejemplo, si en el diálogo el módulo de reconocimiento no reconoce el nombre de una bebida, el robot informa al usuario de este fracaso, de forma verbal con salida de voz y de forma no verbal por la expresión facial de la tristeza.

Las diferentes expresiones del robot se pueden ver en la Figura 2.1

Además, para señalar la entrada de voz, las orejas hacen ciertos movimientos que muestran un comportamiento de escucha. Tan pronto como el proceso de pedido se logra, el robot solicita la bebida a un cantinero y devuelve la bebida al cliente.

En este trabajo aplicaron modelos ocultos de Markov (HMM) para el reconocimiento de gestos de la cabeza, así como para la identificación de la persona. Los HMMs representan una secuencia de vectores de características utilizando procesos estadísticos [9].

John-John Cabibihan et al. [10] presentan un enfoque para simplificar la parte superior del cuerpo de un robot, que puede realizar gestos que son reconocibles para los seres humanos. Un modelo de robot reducido de 10 grados de libertad (DOF: Degrees of Freedom [11]) se investiga y los gestos humanos son mapeados directamente al robot. Solamente participan la cabeza y los brazos para realizar los gestos. Estas partes del cuerpo son controlados principalmente por un software desarrollado mediante Microsoft Robótics Developer Studio y Microsoft Visual Studio.

Grabaron a 20 personas realizando algunos gestos antes solicitados. Los videos fueron presentados al robot y este fue realizando los gestos según el análisis hecho a los videos. En la Figura 2.2 se pueden ver imágenes tomadas tanto a una persona como al robot durante la realización del experimento.

Lijin Aryananda [12] aborda la cuestión de cómo poner en práctica en un robot humanoide (Kismet Figura 2.3) la capacidad de aprender a reconocer y recordar cosas sobre la gente que interactúa con él. En la mayoría de los sistemas de reconocimiento facial existentes, las imágenes de entrenamiento se recogen y se etiquetan de forma manual. En este trabajo implementaron un sistema de reconocimiento facial en línea y sin supervisión, haciendo que el robot recoja datos de entrenamiento para aprender diversas características acerca de las personas, a través de la interacción social encarnada percibir directamente la riqueza del medio ambiente.
Kismet es una criatura robótica expresiva con las modalidades perceptivas y motoras a la medida de los canales de comunicación humanos naturales. El robot está equipado con entradas sensoriales visuales, auditivas, y propioceptivas. Las salidas de motor incluyen vocalizaciones, expresiones faciales, y capacidades de motor para ajustar la dirección de la mirada de los ojos y la orientación de la cabeza [12].

Ben Robins y Kerstin Dautenhahn [13] presentan la primera fase de un trabajo que forma parte de un Proyecto llamado ROBOSKIN. Un juego basado en piel para niños con autismo (algunos niños con autismo podrían padecer hipotactilidad o hipertactilidad y sin querer podrían lastimar a otras personas, romper objetos, abrumar o tener un ataque de pánico), este juego es asistido por un robot humanoide (KASPAR Figura 2.4). Se desarrollaron escenarios de juego humano-robot apropiados a este grupo de usuarios en específico. El juego se basa en la toma de turnos y juegos de imitación, junto con los objetivos educativos y terapéuticos relevantes relacionados para los niños con autismo.

KASPAR es un robot humanoide de tamaño infantil que se desarrolló en la Universidad de Hertfordshire, actúa como una plataforma para estudios de interacción humano-robot.

Tiene 9 comportamientos, movimientos/posturas:

- Mover cada brazo individualmente hacia arriba o hacia abajo;
- Mover cada brazo hacia un lado.
- Trasladar la cabeza a cada uno de los lados individualmente.
- Mover la cabeza en repetidas ocasiones de lado a lado (como diciendo 'no')
- Sacudir la cabeza hacia arriba y hacia abajo (como diciendo 'sí')
- Postura 'Feliz' - los brazos abiertos a los lados - cabeza y los ojos hacia adelante, la boca abierta con una sonrisa.

Una expresión facial diferente se asocia a cada movimiento (por ejemplo, los ojos abiertos o cerrados o los ojos siguiendo la dirección de la que apunta, la cabeza se podría inclinar a cualquier dirección, la boca podría proveer expresiones diversas ('feliz'/sonreír o 'triste'), con los ojos podría parpadear [13].

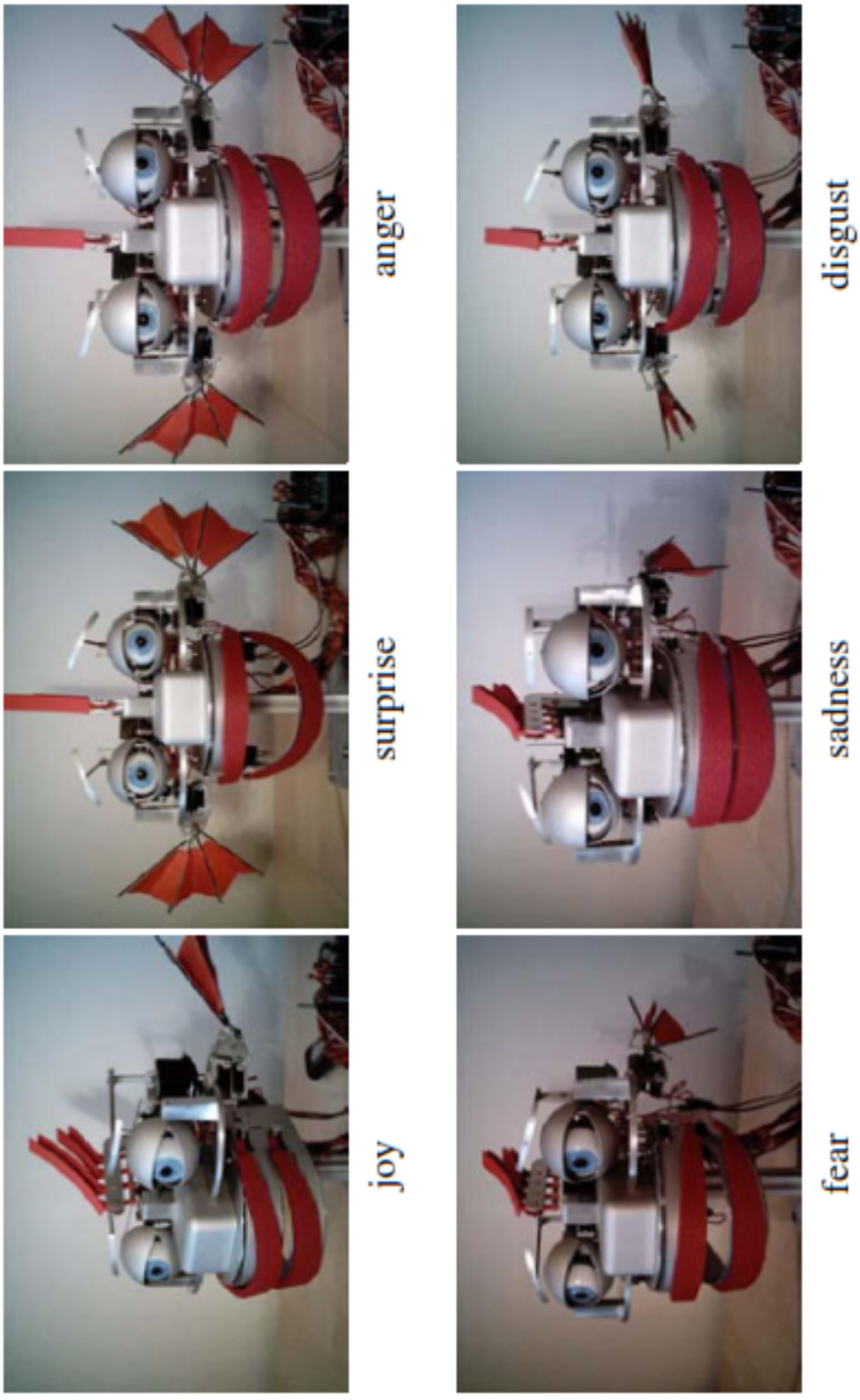


Figura 2.1: Expresiones faciales básicas del robot mesero.

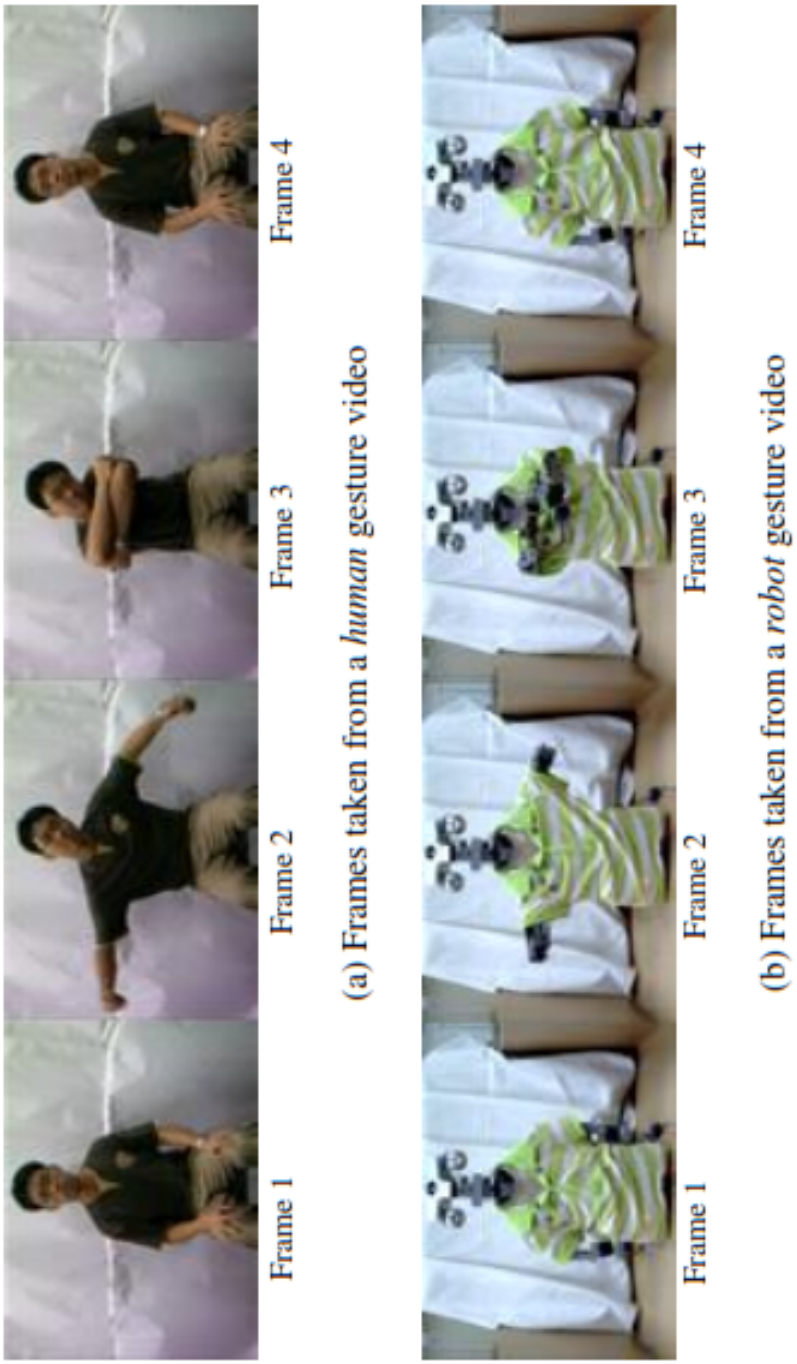


Figura 2.2: Imágenes tomadas durante el experimento.

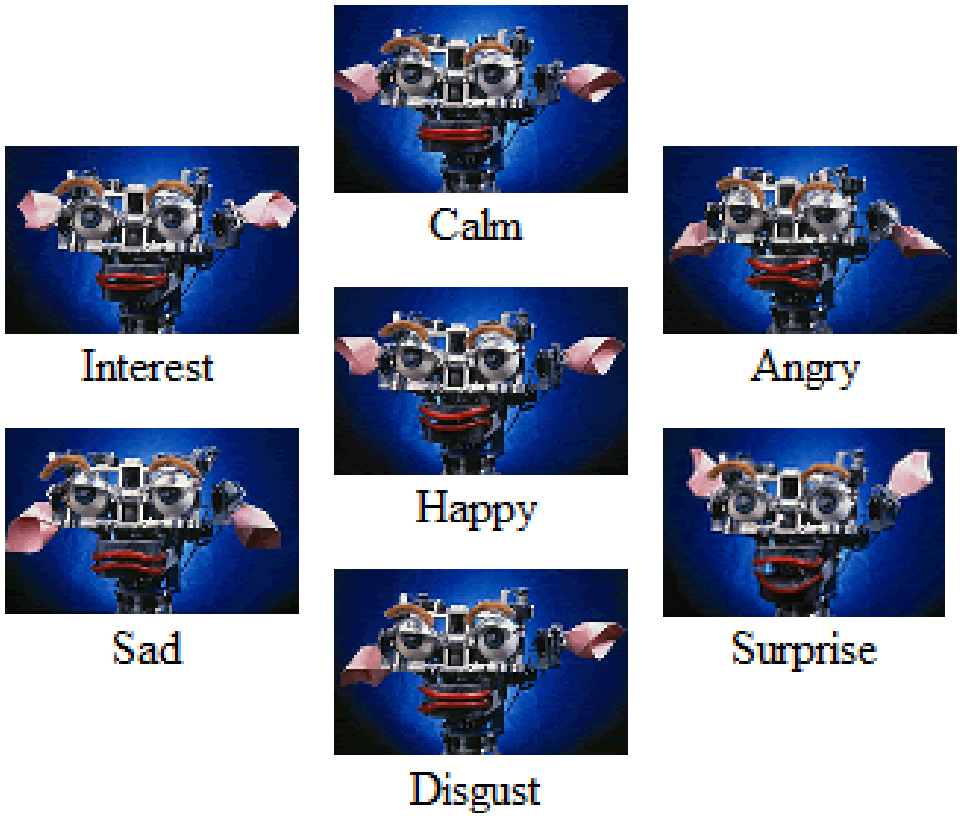


Figura 2.3: Robot Kismet.

Figura 2.4: Robot KASPAR en un juego de imitación.

Capítulo 3

Marco Teórico

> Casi todo el mundo piensa que sabe qué es una emoción, hasta que intenta definirla. En ese momento prácticamente nadie afirma poder entenderla
>
> Wenger, Jones y Jones

En este capítulo de describen conceptos y términos que son utlizados en el desarrollo de esta tesis. En particular los relacionados con las emociones, las teorías sobre emociones más relevantes a lo largo del tiempo y conceptos de bases de conocimientos.

3.1. ¿Qué son las emociones?

Las emociones están presentes en la vida de todas las personas, prácticamente en todo lo que se hace. Estamos con un amigo porque nos sentimos a gusto con él, visitamos a nuestros abuelos porque los queremos. Nos enfadamos cuando no nos salen bien las cosas y nos alegramos y estamos satisfechos cuando tenemos éxito en lo que nos hemos propuesto. Estas y otras situaciones de la vida cotidiana ponen de manifiesto la influencia que las emociones ejercen en nuestras vidas. Se puede afirmar que las emociones son inherentes a la propia condición humana y que, en gran medida, determinan su existencia. [14]

Por lo tanto, se puede definir a las emociones como procesos que se activan cada vez que nuestro aparato psíquico detecta algún cambio significativo para nosotros. Este hecho las convierte en un proceso adaptativo.

Éstas tienen una alta plasticidad y capacidad para evolucionar, desarrollarse y madurar. Por ello se plantea que las emociones no son procesos

estáticos sino que van cambiando en función de las demandas del entorno.

Concepto de emoción

Emoción es el concepto que utiliza la Psicología para describir y explicar los efectos producidos por un proceso multidimensional encargado de[15]:

- Análisis de situaciones significativas.
- Interpretación subjetiva de las mismas.
- La expresión emocional o comunicación de todo el proceso.
- La preparación para la acción o movilización del comportamiento.
- Los cambios en la actividad fisiológica.

Expresión de la emoción

Habitualmente se deducen las emociones de las personas interpretando sus expresiones corporales, su tono de voz y su rostro.

Los psicólogos estudian la comunicación no-verbal y su implicación emocional, los avances tecnológicos permiten una mayor precisión al vincular las emociones a las expresiones faciales registradas.
Algunos de los gestos están determinados por factores culturales y otros son comunes a todo el mundo.

Las expresiones faciales no sirven tan sólo para comunicar las emociones, también aumentan la emoción sentida y mandan señales al cuerpo para que emita una respuesta consecuente[16].

Sentimientos

Existe una confusión entre la emoción y el sentimiento cuando éste último es sólo un componente de la emoción. Dicho esto, los sentimientos son la expresión mental de las emociones; es decir, se habla de sentimientos cuando la emoción es codificada en el cerebro y la persona es capaz de identificar la emoción específica que experimenta: alegría, pena, rabia, soledad, tristeza, vergüenza, etc.[17]

3.2. Teorías sobre emociones

Las emociones siempre han sido objeto de análisis a lo largo de los años, desde platón (428-347 a.C.), pasando por Charles Darwin, quien fuera uno de los pioneros en estudiar las emociones humanas (The Expression of the Emotions in Man and Animals) [18], hasta nuestros días que existen diferentes teorías en la clasificación de emociones básicas.

En esta sección se explican brevemente algunas teorías en la clasificación de emociones. En particular las teorías de autores como: William McDougall [19], Magda B. Arnold [20], Robert Plutchik [21], Kurt Gray [22] y Paul Ekman & Friesen [23].

3.2.1. William McDougall

McDougall en 1926 plantea que el núcleo biológico del sistema humano de emociones consiste en un pequeño conjunto de "módulos de emociones" heredados, a los cuales llamó instintos y que la función biológica central de estos módulos es motivacional, por ejemplo, evitar daño corporal en el caso del miedo, o la protección contra el envenenamiento en el caso de la repulsión [19].

McDougall propuso siete instintos principales con sus emociones asociadas:

- El instinto de huir y la emoción de miedo.
- El instinto de repulsión y la emoción de repulsión.
- El instinto de curiosidad y la emoción de sorpresa.
- El instinto de pugnacidad y la emoción de ira.
- El instinto de autohumillación y la emoción de sujeción.
- El instinto de autoafirmación y la emoción de elación.
- El instinto paterno y la emoción de ternura.

3.2.2. Magda B. Arnold

Magda B. Arnold [20] es reconocida como la pionera en la teoría de emociones de la psicología moderna. La idea principal de su teoría es que las emociones son generadas por un proceso de valoración.

En su teoría, entendía que la valoración de los estímulos sirve de complemento a la percepción de los mismos, a la vez que desencadena una tendencia de acción, de manera que cuando esta tendencia de acción era suficientemente intensa se producía el fenómeno emocional. Así pues, las valoraciones positivas o negativas de los estímulos percibidos, que también podían ser imaginaciones o pensamientos, derivarían en respuestas emocionales. Su teoría desarrolla también el concepto de sentimiento como resultado de considerar beneficiosa o perjudicial la valoración llevada a cabo.

3.2.3. Robert Plutchik

Robert Plutchik en 1980, habla de la rueda de las emociones Figura 3.1, donde éstas se pueden conceptualizar de manera análoga a una rueda de color, emociones similares juntas y opuestas a 180 grados, las emociones básicas se encuentran en la rueda más grande y son: alegría, confianza, miedo, sorpresa, tristeza, aversión, enojo y anticipación; otras emociones son mezclas de las emociones básicas, y son llamadas emociones avanzadas, de la misma manera que algunos colores son primarios y otros son la mezcla de colores primarios[21].

Esta rueda considera 8 emociones básicas con sus opuestas y 8 avanzadas, estás últimas compuestas de 2 emociones básicas, las emociones básicas y sus opuestas, propuestas por Plutchik se pueden ver en la Tabla 3.1.

3.2.4. Kurt Gray

Kurt Gray en 2011 habla sobre emociones morales, es decir, las emociones que son provocadas por situaciones morales como hacer un acto de caridad, o dañar a otra persona, por ejemplo la Madre Teresa puede provocar elevación y admiración, o ayudar a otras personas puede provocar inspiración, y una

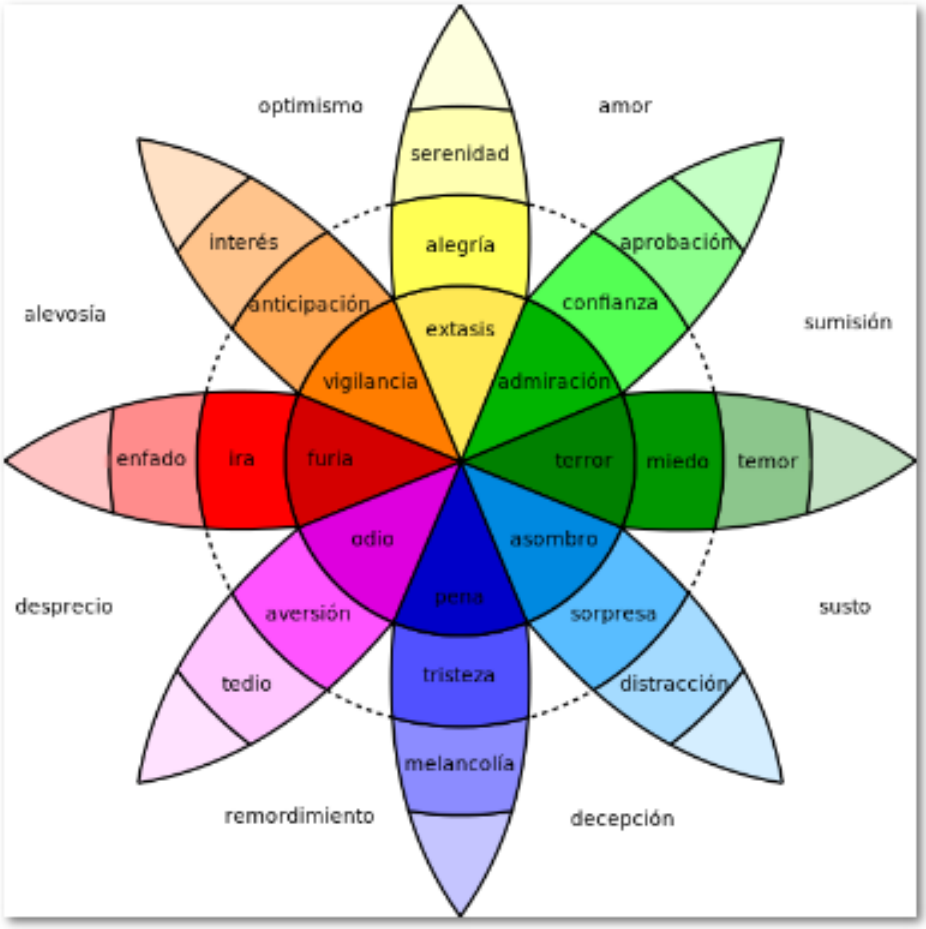


Figura 3.1: Rueda de las Emociones, Robert Plutchik

Emoción Básica	Emoción Opuesta
Alegría	Tristeza
Confianza	Aversión
Miedo	Ira
Sorpresa	Anticipación
Tristeza	Alegría
Aversión	Confianza
Ira	Miedo
Anticipación	Sorpresa

Tabla 3.1: Tabla de emociones básicas y opuestas.

persona que recibe ayuda de otros puede sentirse aliviado y feliz; y por el otro lado Hittler puede provocar ira y disgusto o una persona que es victimada por otra persona que puede sentir tristeza.

Gray propone un cuadrante de emociones morales mapeado por valencias (ayuda/daño) y tipos morales (agente/paciente) Figura 3.2. Las emociones en cada cuadrante son provocadas por su respectivo ejemplar, las que están en el mismo cuadrante se refuerzan unas a otras, las que están en diferentes cuadrantes son opuestas, y las emociones de agente y paciente se complementan unas a otras [22].

3.2.5. Paul Ekman & Friesen

Paul Ekman y Wallace Friesen enfocan sus estudios en las emociones faciales y en la universalidad de éstas, es decir, si las emociones faciales son las mismas en las diferentes culturas que existen en el mundo; proponen 6 emociones básicas: alegría, ira, repulsión, miedo, tristeza y sorpresa Figura 3.3. Su enfoque se basa en proponer 9 características, las cuales sirven para dos propósitos: distinguir entre diferentes emociones básicas y reconocer diferentes contribuciones biológicas que cada emoción básica manifiesta [23].

Estas 9 características [24] son:

1. Señal universal distintiva (expresiones faciales).

Figura 3.2: Cuadrante de emociones morales

2. Expresiones comparables en otros animales (expresiones faciales similares entre primates).

3. Fisiología específica de la emoción (sistema nervioso).

4. Eventos antecedentes universales.

5. Coherencia de los sistemas de respuesta (correlación entre expresiones faciales y el sistema nervioso).

6. Inicio rápido.

7. Duración breve.

8. Mecanismo de evaluación automática.

9. Ocurrencia espontánea.

También proponen un sistema de codificación de acciones faciales (FACS: Facial Action Coding System) para medir la conducta facial visible como resultado de acciones musculares [25].

Figura 3.3: Emociones básicas, Paul Ekman. Ira, miedo, repulsión, sorpresa, alegría y tristeza.

3.3. Base de Conocimientos

Cualquier sistema basado en el conocimiento (KBS por sus siglas en inglés) logra su poder de razonamiento a través de la representación explícita y el uso de diferentes tipos de conocimiento sobre un cierto dominio de la aplicación [26].

Dado que el objetivo de esta tesis es desarrollar una base de conocimientos en esta sección se explica qué es una base de conocimientos, así como algunos conceptos relacionacionados con ella; como lo son taxonomía y ontolgía debido a que estas dos definiciones son la estrutura básica para definir la base de conocimientos.

3.3.1. Taxonomía

La clasificación o el impulso taxonómico es un ingrediente fundamental de la forma como los humanos visualizan y comprenden el mundo. Una taxonomía es una estructura de dominio jerárquico, o bien, un conjunto de términos organizados de forma jerárquica.

Una taxonomía es una forma de estructurar datos, entidades de información, y darles una semántica simple. Se puede apreciar un ejemplo de una taxonomía en la Figura 3.4

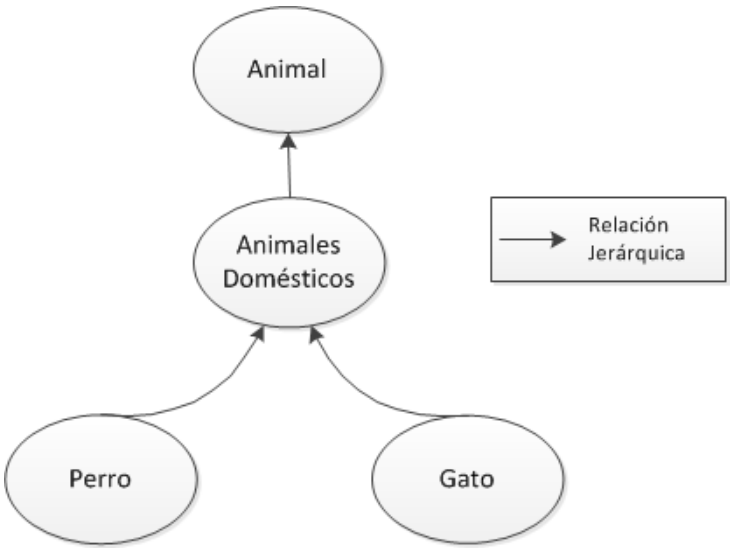


Figura 3.4: Ejemplo de Taxonomía.

La principal ventaja del enfoque de la taxonomía es que proporciona un ordenamiento sistemático sobre un campo del conocimiento que, a su vez, permite resumir el conocimiento de una manera consistente [27].

3.3.2. Ontología

La falta de entendimiento compartido ocasiona comunicación muy pobre dentro de las organizaciones y entre las personas así como dificultades para identificar los requerimientos y por lo tanto la definición de una especificación de un sistema.

Las diferencias en los métodos de modelado, los paradigmas de programación, los lenguajes y las herramientas de software, limitan severamente:

- La inter-operabilidad
- La reutilización
- Compartir recursos

Tampoco las computadoras son capaces de entender el significado de muchas expresiones como por ejemplo: "Mi mouse está roto. Necesito uno nuevo."

¿Y cómo se puede resolver esto?. El primer paso es reducir o eliminar las confusiones conceptuales mediante un "ENTENDIMIENTO COMÚN".

Tal entendimiento puede funcionar como un marco de referencia unificado para los diferentes puntos de vista y servir de base para:

- Comunicación entre las personas
- Inter-operabilidad entre los sistemas
- Beneficios de la ingeniería de sistemas
  - Reutilización
  - Confiabilidad
  - Especificación

Definiciones de ontología

La noción de ontología ha recibido múltiples definiciones a lo largo de la historia. La palabra Ontología proviene del griego, y significa "estudio del ser". Se puede decir que los filósofos comenzaron a comprender las implicaciones de este concepto cuando comenzaron a utilizar esta palabra. A continuación, se presenta una evolución histórica de la noción de ontología, basada en varias historias de la ontología existentes [28].

Tales de Mileto fue el primer filósofo del mundo. Él buscaba la respuesta a la pregunta ¿de qué está compuesto todo? Tales concluyó que un elemento debe ser más básico que los otros, y se preguntó cuáles de los seis elementos eran capaces de tomar el mayor número posible de formas. Finalmente concluyó que el agua era el elemento más básico. Anaxímenes de Mileto criticó a Tales, y dijo que ninguno de los seis elementos era fundamental. Para él existía un elemento sin forma ni nombre detrás de todas las cosas, al que llamó "indeterminante" o "ilimitado". Creía que la realidad era como una moneda. Por un lado tenemos el mundo conocido y por el otro tenemos al "ilimitado".

Posterioremente, Aristóteles asignó un nombre al estudio de la naturaleza y a los principios fundamentales del ens qua ens: "filosofía fundamental". Sin embargo existía bastante incertidumbre con respecto a los conceptos "metafísica" y "filosofía fundamental". Aristóteles trata de responder a las preguntas [29]:

- ¿Qué caracteriza al ser?
- Eventualmente... ¿qué es el ser?

Diversos historiadores mencionan a Johann Clauberg como el primer filósofo que acuñó el término "ontología", aunque esto es discutible, puesto que la primera ocurrencia fue de Rudolf Gocleniu [30]. El concepto de ontología apareció para designar a la ciencia teórica cuando ésta no había sido dividida en ramas. Leibniz usó "Ontología" en su "Introductio ad Encyclopaediam arcanam" [31] de forma similar a Clauberg.

Alexander Baumgarten [32] definió ontología (también conocida como ontosofía, metafísica, metafísica universal, o filosofía fundamental) como la ciencia de los predicados más generales y abstractos de todo, de forma que a ella pertenecen los principios cognitivos fundamentales del pensamiento humano.

"Una ontología define los términos básicos y las relaciones que comprenden el vocabulario de una área o tópico, así como las reglas para combinar los términos y las relaciones que definen las extensiones al vocabulario" [33].

Desde comienzos de los noventa las ontologías se han convertido en un tema de investigación importante en diferentes comunidades de Ingeniería Artificial, donde podemos incluir Ingeniería del Conocimiento, Procesamiento del Lenguaje Natural, o Representación del Conocimiento. Más recientemente, la noción de ontología se ha popularizado en campos como integración inteligente de información, sistemas cooperativos de información, recuperación de información, comercio electrónico, y gestión de conocimiento. La razón por la cual las ontologías han llegado a ser tan populares es, en gran medida, debido a lo que prometen: una comprensión compartida y común de algún dominio que puede ser comunicado entre individuos y aplicaciones. Debido a que las ontologías pretenden ser conocimiento consensuado del dominio, su desarrollo es frecuentemente un proceso cooperativo que implica a diferentes individuos, posiblemente en diferentes situaciones geográficas. Los individuos

que aceptan una ontología en particular se dice que están comprometidos con dicha ontología.

En la actualidad, la definición más común de ontología en ciencias de la computación es de Gruber [34] la ontología es una *"especificación explícita de una conceptualización"*.

Esta definición está basada en la idea de conceptualización: una visión simplificada del mundo que se quiere representar. Conceptualización es el proceso por el cual la mente humana forma su idea sobre la parte de la realidad. Esta idea es una representación mental libre de las propiedades accidentales y en base a las características esenciales de los elementos. Por lo tanto, el concepto de ontología está unido a un dominio o mini-mundo y la especificación representada en la ontología se ocupa de ese dominio. En otras palabras, si el dominio (o parte de él) cambia, la conceptualización también debe cambiar y por lo tanto la ontología que representa este mini-mundo cambia también [35].

Otra definición de ontología es la presentada por Borst [36], que redefine la definición de Gruber:

"Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida".

En este contexto, "formal" se refiere a la necesidad de disponer de ontologías comprensibles por las máquinas. Esta definición enfatiza la necesidad de consenso en la conceptualización. Finalmente, "compartida" se refiere al tipo de conocimiento contenido en las ontologías, esto es, conocimiento consensuado y no privado.

Posteriormente, las definiciones de Gruber y Borst [37] fueron explicadas de la siguiente forma:

"Conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno en el mundo a través de la identificación de los conceptos relevantes de dicho fenómeno. Explícita significa que el tipo de conceptos y restricciones usados se definen explícitamente. Formal representa el hecho de que la ontología debería ser entendible por las máquinas. Compartida refleja la noción de que una ontología captura conocimiento consensual, esto es, que no es de un individuo, sino que es aceptado por un grupo".

Elementos de las ontologías

Las ontologías proporcionan un vocabulario común de un área y definen, a diferentes niveles de formalismo, el significado de los términos y relaciones entre ellos. El conocimiento en ontologías se formaliza principalmente usando cinco tipos de componentes: clases, relaciones taxonómicas y entre conceptos, reglas de axiomas y restricciones e instancias [34].

Las clases representan conceptos, que se toman en un sentido amplio. Por ejemplo, en el dominio de viajar, los conceptos son: lugares (ciudades, pueblos, etc.), alojamientos (hoteles,camping, etc.) y medios de transporte (aviones, trenes, coches, motos, ferrys y barcos).Las clases en la ontología se suelen organizar en taxonomías. Algunas veces, la noción de ontología se diluye en el sentido que las taxonomías se consideran ontologías completas [37]. Se suele usar tanto el término clases como conceptos. Un concepto puede ser algo sobre lo que se dice algo y, por lo tanto, también podría ser la descripción de una tarea, función, acción, estrategia, proceso de razonamiento, etc.

Desde un punto de vista ontológico, una taxonomía es una organización ontológica basada en una relación de orden parcial llamada IS-A, a través de la cual se agrupan las entidades y son subsumidas por clases de más ato nivel. A continuación se presentan las propiedades satisfechas por las *relaciones taxonómicas*.

Se dice que un individuo x perteneciente a una clase θ, IS-A individuo de la clase φ si for all x, $\varphi(x) \Rightarrow \theta(x)$. Esto es, existe cierta dependencia entre las clases φ y θ, por lo tanto, cada predicado satisfecho por los individuos de la clase φ también es satisfecho por los individuos de la clase θ. Estas son las propiedades generales taxonómicas:

Asimetría: Esta propiedad significa que la inclusión de una clase de individuos, X, en una clase Y implica la no inclusión de Y en X. Formalmente, esta propiedad garantiza que: (X IS-A Y) if and only if not(Y IS-A X).

Transitividad: Sea X incluido en una clase Y, que a su vez está incluido en una clase Z, ambas inclusiones a través de relaciones IS-A, entonces, existe una relación IS-A entre las clases X y Z. Formalmente, (X IS-A Y) and (Y IS-A Z) $\Rightarrow$ (X IS-A Z).

Irreflexividad: Admitir la reflexividad en relaciones taxonómicas solo tendría sentido para modelar tautologías. Una tautología es la expresión de un mismo hecho de distintas maneras. La relación taxonómica se considera no reflexiva. Formalmente, not(X IS-A X).

Las relaciones entre conceptos representan un tipo de interacción entre conceptos del dominio. Estas son formalmente definidas como cualquier subconjunto de un producto de n conjuntos, esto es:

$$R \subset C1\ x\ C2\ x\ ...\ x\ Cn$$

Las ontologías por lo general contienen relaciones binarias. El primer argumento es conocido como el dominio de la relación, y el segundo argumento es el rango. Como ejemplos de relaciones binarios incluimos: "subclase de" y "conectado a".

Las *reglas de axiomas y restricciones* son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología. Por ejemplo: "Si A y B son de la clase C, entonces A no es subclase de B", "Para todo A que cumpla la condición B1, A es C", etc.

Los *axiomas* son expresiones que son siempre ciertas. Se utilizan normalmente para representar el conocimiento que no puede ser formalmente definido por los otros componentes. Además, los axiomas se utilizan para verificar la consistencia de la propia ontología o la consistencia del conocimiento almacenado en una base de conocimientos. Los axiomas son muy útiles para inferir conocimiento nuevo.

Las instancias se utilizan para representar elementos o individuos en una ontología [38].

Por lo tanto una ontología junto con un conjunto de instancias individuales de clases constituye una base de conocimientos.

Una base de conocimientos es una forma avanzada de base de datos que no solo pretende almacenar, recuperar y modificar grandes cantidades de información, sino también, plasmar elementos de conocimiento (generalmente en forma de hechos y reglas de inferencia), así como la forma en que éste ha de ser utilizado.

La base de conocimiento utiliza al *esquema de representación* como notación precisa para representar el conocimiento que contiene. El tipo de *esque-*

ma de representación de mayor difusión son las redes semánticas que estructuran sus datos en nodos que simbolizan a los conceptos unidos por arcos, que representan las relaciones conceptuales. La red semántica también utiliza la herencia como método de inferencia, donde los nodos inferiores heredan las características de los nodos superiores permitiendo así una economía de codificación.

Los tres tipos tradicionales de redes semánticas son: las redes IS-A, los grafos conceptuales y las redes de marcos (frames). El esquema basado en marcos (frames) es el más explorado y utilizado por los investigadores dada su mayor flexibilidad, y en mayor o menor medida, generan las ontologías de conceptos.

En Lingüística, siguiendo a Feliu et al. [39], Moreno Ortiz [40], Cabré et al. [41], la base de conocimiento se concibe como un recurso modular que integra recursos tales como bases textuales, bases bibliográficas, bases terminológicas y ontologías [42].

Capítulo 4

Metodología de solución

La metodología propuesta para resolver el problema planteado para que el robot humanoide sea capaz de reconocer las 6 emociones faciales expresadas por un humano es la siguiente:

1. Creación de una taxonomía de emociones humanas (Restricción: facial).
2. Creación de un corpus supervisado de expresiones faciales con emoción.
3. Diseño e implementación de una base de conocimientos que integra la taxonomía de emociones humanas y las características asociadas a una cierta emoción expresada en un rostro humano.
4. Implementación de la base de conocimientos.

4.1. Taxonomía de Emociones

Para describir las emociones faciales emitidas por los humanos, se desarrolló una Taxonomía de Emociones Faciales. Esta taxonomía está basada en la propuesta de Paul Ekman sobre emociones faciales, las 6 emociones propuestas por Paul Ekman están clasificadas como positivas y negativas. La taxonomía se puede ver en la Figura 4.1. Esta taxonomía sirve para determinar las emociones que conforman un corpus de imágenes de expresiones faciales, y tener datos de entrenamiento para un sistema de reconocimiento facial.

4.2. Corpus Supervisado de expresiones faciales

Se desarrolló una herramienta para la recuperación de un corpus supervisado de imágenes de expresiones faciales. Para construir el corpus supervi-

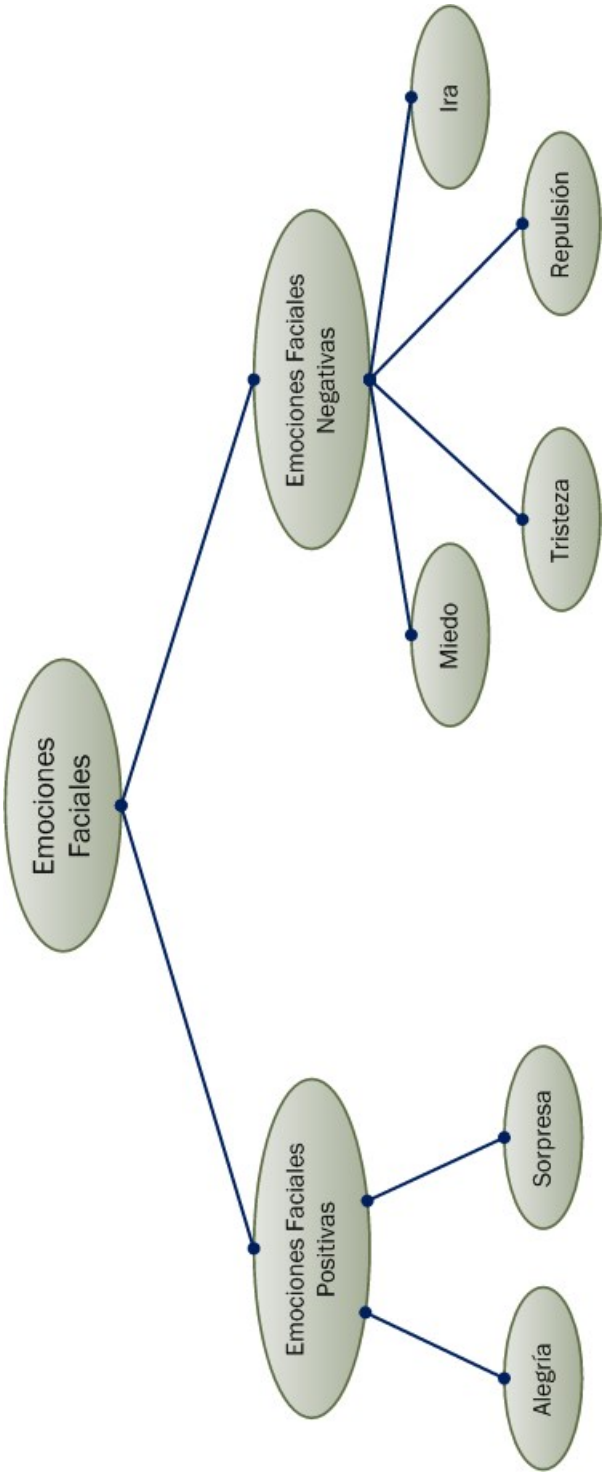


Figura 4.1: Taxonomía de Emociones Faciales desarrollada.

sado nos basamos en las emociones básicas propuestas por Paul Ekman [43], debido a que tienen una expresión facial asociada y que pueden provocarse mediante estímulos visuales a los sujetos de estudio.

El objetivo principal del desarrollo de esta herramienta es la construcción de un corpus supervisado, de imágenes de expresiones faciales. Estas imágenes sirven para conformar los datos de entrenamiento para posteriormente crear un sistema computacional para la identificación automática de emociones humanas a partir de los rostros.

4.2.1. Sistema para creación de corpus supervisado

La implementación de este sistema se realizó en lenguaje de programación Python, con la biblioteca de OpenCV para el manejo imágenes. Para la reproducción de los videos que provocan las emociones en los sujetos de prueba se usaron scripts en htmlt's.

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama del sistema para la creación del corpus supervisado.

El sistema consta de 2 funciones principales:

- Ejecución del video: Desde youtube o desde la computadora local
- Captura de imágenes mediante la cámara web

Lo primero que hace el programa al ser ejecutado es que deja corriendo en memoria un proceso, el cual hará una petición a la cámara web de la computadora para que se quede en espera de recibir una señal, esta señal será envíada una vez que se ejecuten los videos, y le dará la pauta para poder empezar a tomar las fotografías del sujeto de estudio.

Como siguiente paso, el sistema solicita se le indique si los videos se reproducirán de manera local o desde youtube. Y una vez seleccionados los videos se da clic en el botón "reprodudir". Los videos comienzan a reproducirse uno tras otro, y al mismo tiempo se manda al proceso de captura de imágenes, el ID del video que se está reproduciendo. El proceso de captura de imágenes recibirá el ID del video, y en base a este, buscará las etiquetas correspondientes a ese video. Cabe mencionar que los videos fueron previamente etiquetados para tener el momento exacto donde se desata la emoción.

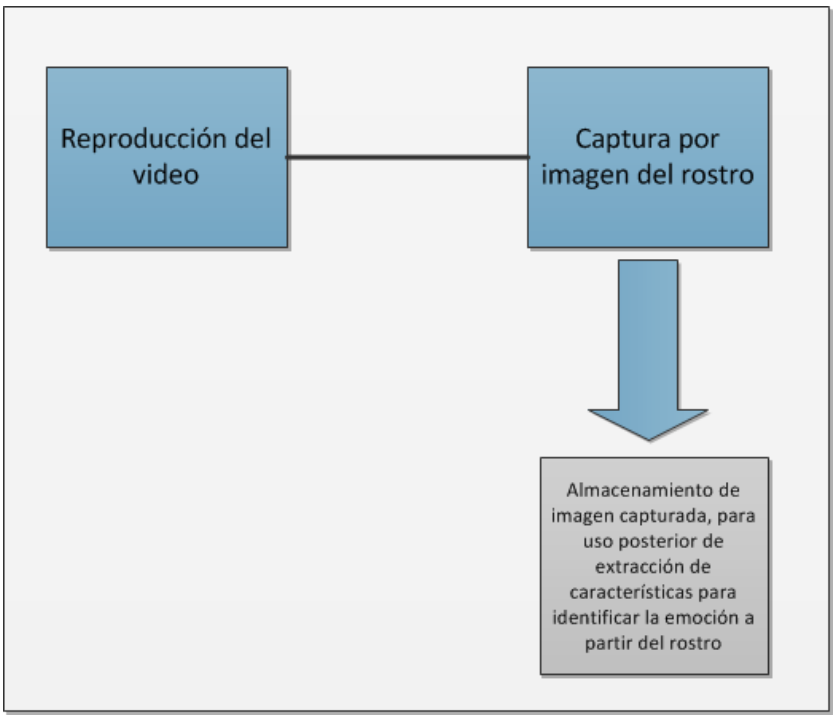


Figura 4.2: Sistema para creación del corpus supervisado.

Las imágenes tomadas se nombran con la emoción que se detona y el segundo en el que se detonó la emoción; éstas se almacenan en archivos independientes JPEG. Al finalizar la reproducción de los 6 videos, el sistema vuelve a la pantalla principal indicando si se quiere volver a reproducir o finalizar.

Experimento de recolección de datos

Para obtener las imágenes asociadas con una emoción específica es necesario hacer que el sujeto de estudio sienta esa emoción, para conseguir este objetivo el sujeto de estudio visualiza videos con las 6 emociones que se desea recrear.

Es necesario no contar con distracciones ni interrupciones al momento de realizar las pruebas, debido a que la aparición de otras personas afectará la captura de rostros humanos. En algunas ocasiones el experimento puede hacerse con la simple presencia de una persona en el laboratorio de posgrado, pero en el ambiente natural del mismo laboratorio hay muchas personas

interactuando con otras y esta distracción fue considerada, por lo que las pruebas se realizan de manera individual y se aisla al sujeto de estudio mediante un panel blanco. La recolección de las imágenes se hace mediante la camara web con la que cuenta una laptop convencional.

Para obtener las imágenes de las expresiones faciales, el experimentador debe instruir al sujeto de estudio y así poder recolectar las 6 expresiones faciales de interés. El procedimiento de los experimentos es el siguiente:

1. Se le indica al sujeto de estudio que se siente frente a la computadora portátil, a una distancia aproximada de medio metro entre la cámara web y su rostro.

2. La cámara web es ajustada según la altura del sujeto de estudio, para poder capturar el rostro completo.

3. Se menciona al sujeto de estudio que verá una serie de 6 videos para detonar en él las 6 emociones básicas.

4. Se informa al sujeto de estudio que se colocará un panel para aislarlo de distractores.

5. Finalmente se le dice al sujeto de estudio que una a vez que esté listo de clic en el botón "reprodudir" y que cuando finalicen los videos lo indique al experimentador.

En la figura 4.3 se muestra un diagrama de cómo se hacen los experimentos.

Nota: Antes de comenzar las pruebas se le pide al sujeto de estudio firme un consentimiento de uso del material recolectado en los experimentos.

En la Figura 4.4 se muestra algunas imágenes de expresiones faciales de un sujeto de estudio.

4.2.2. Medición de la expresión facial - Sistema de Codificación de Acción Facial

Las expresiones faciales han sido un foco de investigación en el tema de las emociones durante más de cien años (Darwin, 1872/1998 [44]). La expresión facial ocupa un lugar destacado en la investigación sobre casi todos los

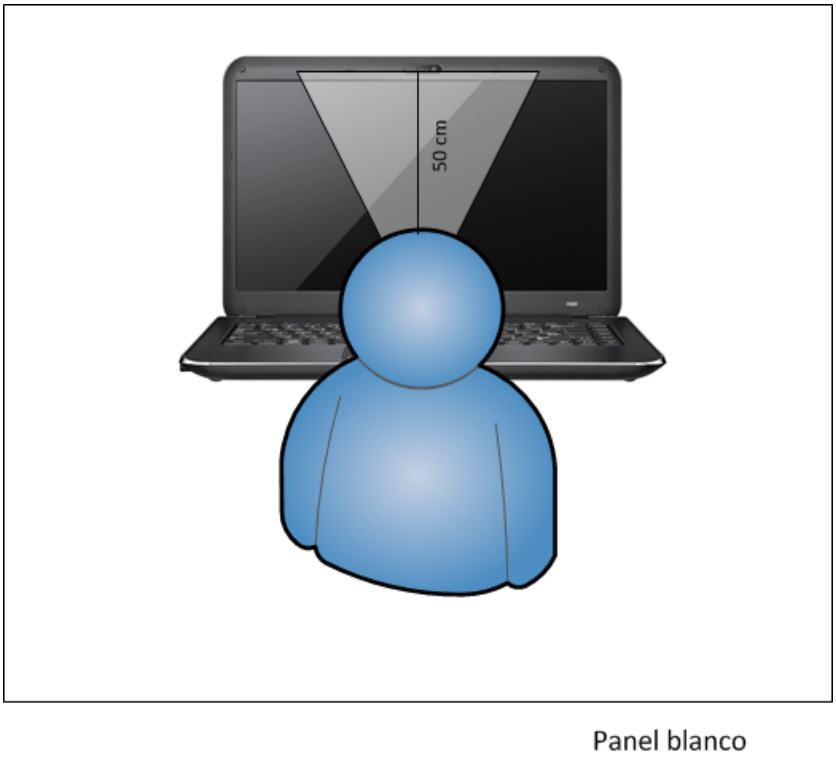


Figura 4.3: Diagrama de recolección de imágenes faciales.

aspectos de la emoción, incluyendo la psicofisiología, las bases neurales, el desarrollo, la percepción, los procesos sociales y el trastorno de la emoción, por mecionar algunos.

Debido a la importancia del estudio de las emociones, un número de sistemas de medición de expresiones faciales basados en observadores se han desarrollado (Ekman y Friesen [45], Ekman, Friesen, y Tomkins [46]; Izard [47] y [48]; Izard y Dougherty [49]; Kring y Sloan [50]; Tronick, Als, y Brazelton [51]). De estos diversos sistemas para describir las expresiones faciales, el sistema más popular de medición de la expresión facial es el "Sistema de Codificación de la Acciónes Faciales (FACS)", desarrollado por Ekman y Friesen en 1978 [45]. El FACS fue ideado como un sistema de carácter general para medir toda conducta facial visible en cualquier contexto, sin limitarse a las acciones relacionadas con la emoción, especifica las unidades mínimas no sólo según las posibles acciones anatómicas sino también según los movimientos

Figura 4.4: Sujeto de estudio, expresiones faciales.

que pueden distinguirse con facilidad.

El FACS es un sistema descriptivo basado en la anatomía de los músculos faciales, que permite registrar los cambios faciales debidos a la acción de músculos individuales. El FACS puede ser considerado como un catálogo de todas las acciones que la cara es capaz de producir, acompañadas de su fundamento muscular. Él permite descomponer cada expresión completa en una serie de "Unidades de Acción" (UA), unidades mínimas de movimiento. En el FACS las unidades de acción corresponden con cambios en la apariencia, que son producidos por la acción de un solo músculo facial, pero algunas unidades se corresponden con la acción de parte de un músculo o con la combinación de músculos que son difíciles de distinguir separadamente. Otras unidades representan cambios en la posición de la cabeza y de los ojos, la boca u otros cambios menores. Hay que señalar que, aunque el FACS está basado en funciones anatómicas, no hay una relación única entre cada grupo de músculos y las Unidades de Acción (UA) observables. Esto es debido al hecho de que un músculo dado puede actuar de maneras diferentes, o puede afectar a zonas faciales distintas, para producir acciones faciales visiblemente diferentes. Por ejemplo, en el músculo frontal, la porción medial de dicho músculo eleva la parte interior de las cejas (UA-1), mientras que la porción lateral eleva la parte exterior de las mismas (UA-2). Con este instrumento pueden registrarse toda la gama de expresiones faciales posibles.

En la Tabla 4.1 se describen únicamente las Unidades de Acción Facial (UA) básicas y los músculos implicados en la expresión facial de las emociones. Algunas unidades de acción participan en la expresión de diferentes emociones.

Marco conceptual Ekman y Friesen

Ekman y Friesen (Ekman, 1964 [52], 1965 [53]; Ekman y Friesen, 1969 [54]) distinguen dos enfoques conceptuales para el estudio de la conducta facial, es decir, la medición de los juicios sobre uno u otro mensaje y la medición del vehículo de los signos que transmiten el mensaje. En el juicio del mensaje, la tarea del observador es hacer inferencias acerca de algo fundamental en la conducta facial - la emoción, el humor, los rasgos, las actitudes, la personalidad, y similares; por esta razón los observadores normalmente se conocen como "jueces" o "evaluadores". Al medir el vehículo de los signos, los observadores describen la superficie del comportamiento; ellos cuentan cuántas veces la cara se mueve de una manera determinada, o cuánto tiempo dura un movimiento, o si se trata de un movimiento del músculo *frontalis* o el músculo *corrugador*. A modo de ejemplo, al ver una cara sonriente, un observador con un enfoque basado en el juicio la juzgaría como "feliz", mientras que un observador con un enfoque basado en la señal codificaría la cara por tener un movimiento hacia arriba y un movimiento oblicuo de las esquinas de los labios. Los observadores con un enfoque basado en la señal se supone que deben funcionar como máquinas y por lo general son referidos como "codificadores".

Aunque los enfoques basados en mensaje y en señal a veces pueden responder a las mismas preguntas, también pueden responder a diferentes preguntas, ya que se centran en diferentes fenómenos. La investigación en juzgar el mensaje no se centra generalmente en la cara. La cara no es más que una entrada. La atención se centra en la persona que observa la cara y / o en el mensaje obtenido. Las preguntas tienen que ver con si la diferencia es detectable o exacta, si existen diferencias individuales entre los evaluadores, lo que refleja la habilidad, el género, o la personalidad, y si los mensajes obtenidos se representan mejor como dimensiones o categorías.

Los vehículos de signos faciales se miden cuando la atención se centra en desenterrar algo bastante específico sobre la misma conducta facial, no se

Unidades básicas en la respuesta de las emociones		
UA	**Músculo implicado**	**Acción facial**
UA -1	Porción medial del frontal	Eleva parte interior de las cejas
UA -2	Porción lateral del frontal	Eleva parte exterior de las cejas
UA -4	Superciliar, piramidal y depresor superciliar	Descenso de las cejas formando un triángulo. Desciende y junta cejas
UA -5	Elevador del párpado superior	Eleva párpado superior
UA -6	Porción orbitaria del orbicular de los párpados	Eleva mejillas y reduce abertura palpebral
UA -7	Porción palpebral del orbicular de los párpados	Eleva párpado inferior y reduce abertura palpebral
UA -9	Elevador común del ala de la nariz y del labio superior	Frunce la nariz
UA -12	Cigomático mayor	Desplaza comisura de los labios hacia atrás y arriba
UA -15	Triangular de los labios	Desciende comisura de los labios
UA -16	Depresor labial inferior	Depresión del labio frontal
UA -17	Borla de la barba	Eleva barbilla
UA -20	Risorio	Alarga la comisura de los labios
UA -23	Orbicular de los labios	Tensa los labios
UA -24	Orbicular de los labios	Junta y aprieta los labios
UA -25	Cuadrado de la barba, borla de la barba, orbicular de los labios	Separa los labios
UA -26	Masetero, temporal relajado, pterigoideo interno	Caída de la mandíbula
UA -27	Pterigoideo y digástrico	Desciende mandíbula y abre boca
UA -38	Dilatador propio del ala de la nariz	Dilata fosas nasales
UA -44	Porción palpebral del orbicular de los párpados	Reducción acentuada de la apertura de los párpados

Tabla 4.1: Unidades de Acción Facial

trata de la percepción de la cara. Es el único método que se puede utilizar para responder a preguntas tales como:

1. ¿En qué grado es mostrada la actividad facial en recién nacidos y lactantes: sistemática, no al azar, y que acciones particulares primero muestran ya como una organización sistemática?. Para responder a esta pregunta, el comportamiento facial mostrado durante las muestras tomadas en diferentes puntos del desarrollo o en diferentes contextos situacionales, puede ser medido. Entonces las probabilidades de co-ocurrencias particulares y los patrones secuenciales de acciones faciales pueden ser evaluados (Cohn & Tronick, 1983; Oster y Ekman, 1978).

2. ¿Qué acciones faciales particulares se emplean para indicar énfasis en la conversación?. Las acciones faciales que co-ocurren con énfasis verbal o vocal deben medirse para determinar si existe alguna acción que acompaña consecuentemente a toda énfasis (Ekman, 1980).

3. ¿Hay alguna diferencia en la sonrisa durante el gozo, en comparación con una sonrisa de malestar?. Las acciones faciales particulares evidentes en los movimientos de la sonrisa deben ser medidas cuando las personas son conocidas, por medios distintos a la cara, al estar experimentando afecto positivo y negativo (Ekman, Friesen, y Ancoli, 1980; Frank, Ekman, y Friesen, 1993).

4. ¿Hay diferencias en la frecuencia cardíaca que acompañan el arrugado de la nariz y el labio superior levantando, contra la apertura de los ojos y levantando las cejas?. El comportamiento facial debe medirse para identificar los momentos en que estas configuraciones faciales particulares ocurren con el fin de examinar la actividad de la frecuencia cardíaca coincidente (Levenson et al., 1990).

Los ejemplos anteriores no pretenden transmitir toda la gama de problemas que sólo pueden resolverse mediante la medición de los vehículos de signos faciales. Sin embargo, deberían servir para ilustrar la variedad de preguntas que requiere este enfoque. Se podría esperar que la medición de enfoque de vehículos del signo haya sido seguida a menudo, ya que se requiere para el estudio de muchos problemas diferentes. Sin embargo, sólo ha habido unos pocos estudios de este tipo en comparación con los muchos que han medido los mensajes juzgados cuando se ve la cara. Es mucho más fácil de realizar el último tipo de estudio. El investigador no tiene que manipular el rostro mismo, que no sea por recoger algunas muestras para enseñar. Los datos se obtienen rápidamente: se puede medir juicios de los observadores mucho más

rápidamente de lo que se puede describir de forma fiable el flujo y la variedad de movimiento facial.

Hasta el advenimiento de las FACS, un obstáculo importante para la investigación de la medición de los vehículos de los signos ha sido la falta de cualquier estándar listo para usar la técnica para medir el movimiento facial. Los investigadores que han medido el movimiento facial han inventado sus técnicas en gran parte desde cero, rara vez haciendo uso de la obra de sus predecesores.

Algunos parecían no estar informados por la literatura anterior. Incluso el más académico ha encontrado dificultades para construir sobre los métodos informados previamente, debido a que la descripción de la actividad facial a menudo es menos clara que la que aparece en la primera lectura.

FACS aborda la necesidad de un sistema integral que se puede aprender con facilidad, que es psicométricamente sano, y que tiene gran utilidad para diversas aplicaciones de investigación.

Base para derivar las Unidades de Acción

La base anatómica de la acción facial (43 músculos de la cara Figura 4.5) proporciona las bases para derivar las unidades de comportamiento. Con pocas excepciones, todas las personas tienen los mismos músculos faciales (Schmidt & Cohn [55]). Las unidades de acción FACS se basan en lo que los músculos de la cara permiten hacer. Para determinar los cambios de apariencia asociados con cada músculo, Ekman y Friesen comenzaron por la estimulación eléctrica individual de los músculos y aprendiendo a controlarlos voluntariamente. El resultado es que cada unidad de acción se asocia con uno o más músculos faciales.

En la selección de las acciones faciales, Ekman y Friesen [45] utilizaron el criterio de que los observadores fueron capaces de distinguir de forma fiable todos los cambios de apariencia que resultan de los diferentes músculos. Si dos cambios de apariencia no se podían distinguir de forma fiable, entonces estos fueron combinados, incluso si estaban implicados diferentes músculos. Por el contrario, algunas acciones resultaron ser demasiado sutiles para la medición fiable.

Unidades de acción faciales

Las FACS especifican 9 unidades de acción en la cara superior y 18 en la cara inferior. Además, hay 14 posiciones y movimientos de la cabeza, 9 posiciones y movimientos oculares, 5 unidades de acción diversos, 9 descriptores de acción, 9 comportamientos brutos, y 5 códigos de visibilidad. Los descriptores de acción son movimientos para los que la base anatómica no está especificada. Las unidades de acción del lado superior e inferior de la cara y posiciones de la cabeza y de los ojos se muestran en la Figura 4.6. Cada uno tiene tanto una etiqueta numérica y verbal y una base anatómica especificada en uno o más músculos faciales. Con algunas excepciones, las unidades de acción se organizan por regiones de la cara en la que se producen. Las unidades de acción de las cejas, por ejemplo, tienen las etiquetas 1, 2 y 4. No existe una unidad de acción 3 en FACS, aunque se utiliza para referirse a una acción específica de las cejas en una versión especializada de FACS destinado para su uso con los niños. Las unidades de acción de la región de los ojos tienen las etiquetas 5, 6, y 7 y del 41 hasta el 46.

Unidades de Acción Individual o Eventos

Un evento es un conjunto de unidades de acción que se superponen en el tiempo (es decir, pueden co-ocurrir), aparecen para definir una unidad perceptualmente significativa de la acción facial. UA 1 + 2 + 5 es un ejemplo de unidades de acción que ocurren frecuentemente. Sin importar si una UA comienza o termina antes que otras, parecieran constituir una sola. En lugar de codificar cada unidad de acción de forma independiente, un investigador puede desear codificarlas o definirlas como un evento. (Una variante de este enfoque se encuentra en Oster, 2001 [56], y Oster et al., 1996 [57]). Los supuestos rectores son:

1. El comportamiento facial no se produce de forma continua, sino más bien como episodios (eventos) que por lo general se manifiestan como eventos discretos.

2. Las unidades de acción que ocurren juntas están relacionados de alguna manera y forman un evento.

La codificación de eventos puede ser más eficiente que la codificación de las unidades de acción simple. Debido a que las unidades de acción están precodificadas en patrones definidos, y facilita la reducción de datos. También aborda el problema de que algunas unidades de acción pueden persistir y

fundirse en el fondo. Los eventos se pueden codificar independiente de estas acciones de mayor duración (por ejemplo, una baja intensidad de la UA 12, que puede persistir durante algún tiempo). Para los investigadores que desean utilizar la codificación de eventos, FACS incluye numerosas sugerencias para delinear eventos (Ekman et al., [58]).

Reglas de puntuación

FACS utiliza cinco niveles de intensidad que se codifican para todas las UA (a excepción de la posición del cabezal UA, en el que el nivel "A" de la intensidad fue tratado como "Unscorable"). La mayoría de los criterios de intensidad se refieren al grado de un cambio de aspecto o al número de cambios de apariencia. La puntuación de intensidad para algunos UA implica un criterio en cuanto a la duración del tiempo o alguna otra referencia.

Las intensidades de FACS se anotan añadiendo las letras A-E (para la intensidad mínima-máxima) y números para la unidad de acción (por ejemplo, UA 1A es la traza más débil de UA 1 y UA 1E es la máxima intensidad posible para el gesto facial) Tabla 4.2.

Letra	Intensidad
A	Rastro
B	Leve
C	Pronunciado
D	Severo o extremo
E	Máximo

Tabla 4.2: Tabla Reglas de puntuación.

Unidades de Acción de las 6 emociones básicas

EMFACS es un acrónimo de "Emotional FACS"(Emotional Facial Action Coding System) y se basa en la utilización del FACS para detectar las emociones a través de la expresión de la cara. En este sistema sólo se consideran aquellas unidades de acción que se asocian a las emociones básicas (alegría, tristeza, sorpresa, miedo, ira, repulsión).

Ekman y Friesen separaron el EMFACS del FACS para centrarse sólo en la emoción y así disminuir los tiempos de análisis de las expresiones faciales. Al estar basado en el FACS, la utilización del sistema EMFACS requiere el conocimiento y la habilidad para identificar:

1. Las unidades de acción involucradas en cada movimiento facial.
2. La intensidad de las unidades de acción, puntuadas en grado A,B,C,D o E.
3. El grado de asimetría.

Todo ello, en su conjunto, proporciona el tipo de emoción que está sintiendo la persona así como su grado de intensidad. Las codificaciones de las unidades de acción (UA)y las acciones faciales implicadas en estas emociones se pueden ver la tabla 4.3.

Y finalmente en la Figura 4.7 podemos ver las unidades de acción para las 6 emociones con sus músculos correspondientes.

Emoción	Unidades de Acción	Acciones Faciales
Alegría	6 + 12	Eleva mejillas y reduce abertura palpebral, + Desplaza comisura, de los labios hacia atrás y arriba
Tristeza	1 + 4 + 15	Pronuncia y eleva parte interior de las cejas, + Descenso de las cejas formando un triángulo. Desciende y junta cejas + Desciende comisura de los labios
Sorpresa	1 + 2 +5 B +26	Eleva parte interior de las cejas + Eleva parte exterior de las cejas + Eleva párpado superior + Caída de la mandíbula
Miedo	1 + 2 + 4 + 5 + 7 + 20 + 26	Eleva parte interior de las cejas + Eleva parte exterior de las cejas + Descenso de las cejas formando un triángulo. Desciende y junta cejas + Eleva párpado superior + Eleva párpado inferior y reduce abertura palpebral,(Apretar parpado(s)) + Apretar los labios + Caída de la mandíbula
Ira	4 + 5 + 7 + 23	Descenso de las cejas formando un triángulo. Desciende y junta cejas, + Levantamiento del párpado superior + Apretar parpado(s) + Morder labios (Tensa los labios)
Repulsión	9 + 15 + 16	Arrugar la nariz (fruncir) + Depresión labial esquinal (Desciende comisura de los labios) + Depresión labial frontal

Tabla 4.3: Tabla de emociones y su acción facial correspondiente.

4.3. Ontologías

Una vez que hemos definido las emociones faciales básicas: alegría, ira, repulsión, miedo, tristeza y sorpresa; y tomando en cuenta el trabajo realizado por Ekman y Frisen con respecto a Unidades de Acción Faciales y músculos del rostro implicados que nos permiten poder expresar las emociones, se

desarrollaron 3 ontologías:

- Ontología Emociones Faciales
- Ontología Músculos de la cara
- Ontología Acciones Faciales

A continuación se presentan los diagramas correspondientes a cada una de las ontologías desarrolladas, en la Figura 4.8 se puede observar el diagrama de la Ontología de Emociones Faciales; en la Figura 4.9 el diagrama resumido de la Ontología de Músculos de la cara, esto debido a que el diagrama se extiende al tratar de mostrar los 43 músculos. Y finalmente la Figura 4.10 se muestra el diagrama de la Ontología Acciones Faciales.

Para la Ontología de Emociones Faciales se definieron las siguientes clases: emocion, emocionFacialNegativa y emocionFacialPositiva. Donde emocionFacialNegativa y emocionFacialPositiva son clases disjuntas, esto significa que una emoción no puede ser positiva y negativa al mismo tiempo.

Las clases definidas para la Ontología Músculos de la cara son: musculoDeLaCabeza, musculoFacial, musculoDeLaBoca, musculoDeLaNariz y musculoDeLosParpadosYCejas.

Y finalmente las clases para la Ontología Acciones Faciales se definieron: movimientoDeLaCara, accionFacial, movimientoDeCejas, movimientoDeLaBoca, movimientoDeNariz y movimientoDeParpadosYOjos.

Preguntas de competencia

Una de las formas de determinar el alcance de la ontología es bosquejando una lista de preguntas que la base de conocimientos basada en la ontología debería ser capaz de responder, las preguntas de competencia. Esas preguntas servirán después como prueba de control de calidad: ¿La ontología contiene suficiente información para responder estos tipos de preguntas? ¿Las respuestas requieren un nivel particular de detalle o representación de un área particular?. Las preguntas de competencia planteadas son las siguientes:

1. ¿Cuántas emociones faciales existen?

2. ¿Qué emociones faciales son positivas?
3. ¿Qué emociones faciales son negativas?
4. ¿La alegría es una emoción?
5. ¿La sorpresa es una emoción?
6. ¿La tristeza es una emoción?
7. ¿La repulsión es una emoción?
8. ¿La ira es una emoción?
9. ¿El miedo es una emoción?
10. ¿La alegría usa el músculo cigomático mayor?
11. ¿El músculo cigomático mayor desplaza comisura de los labios hacia atrás y arriba?
12. ¿La alegría usa el músculo porción orbitaria del orbicular de los párpados?
13. ¿El músculo porción orbitaria del orbicular de los párpados eleva mejillas?
14. ¿La tristeza usa el músculo porción medial del frontal?
15. ¿El músculo porción medial del frontal eleva parte interior de las cejas?
16. ¿La tristeza usa el músculo superciliar?
17. ¿La tristeza usa el músculo piramidal?
18. ¿La tristeza usa el músculo depresor superciliar?
19. ¿La tristeza usa el músculo triangular de los labios?
20. ¿El músculo triangular de los labios desciende comisura de los labios?
21. ¿La sorpresa usa el músculo porción medial del frontal?
22. ¿La sorpresa usa el músculo porción lateral del frontal?

23. ¿La sorpresa usa el músculo elevador del párpado superior?
24. ¿El músculo porción medial del frontal eleva parte interior de las cejas?
25. ¿El músculo porción lateral del frontal eleva parte exterior de las cejas?
26. ¿La sorpresa usa el músculo masetero?
27. ¿La sorpresa usa el músculo temporal relajado?
28. ¿El músculo elevador del párpado superior eleva párpado superior?
29. ¿La sorpresa usa el músculo pterigoideo?
30. ¿El miedo usa el músculo porción palpebral del orbicular de los párpados?
31. ¿El músculo porción palpebral del orbicular de los párpados eleva mejillas y reduce abertura palpebral?
32. ¿El miedo usa el músculo risorio?
33. ¿El músculo risorio alarga la comisura de los labios?
34. ¿La ira usa el músculo superciliar?
35. ¿La ira usa el músculo piramidal?
36. ¿La ira usa el músculo depresor superciliar?
37. ¿La ira usa el músculo elevador del parpado superior?
38. ¿La ira usa el músculo depresor superciliar?
39. ¿La ira usa el músculo porción palpebral del orbicular de los párpados?
40. ¿La ira usa el músculo orbicular de los labios?
41. ¿El músculo orbicular de los labios tensa los labios?
42. ¿La repulsión usa el músculo elevador común del ala de la nariz y del labio superior?
43. ¿La repulsión usa el músculo triangular de los labios?

44. ¿La repulsión usa el músculo depresor del labio interior?
45. ¿El músculo elevador común del ala de la nariz y del labio superior frunce la nariz?
46. ¿El músculo depresor del labio interior hace depresión labial frontal?

Apoyándonos en la teoría anterior y para responder a las preguntas de competencia, se plantearon los siguientes hechos:

- Las acciones faciales permiten expresar emociones
- Los músculos de la cara permiten acciones faciales
- La alegría es una emoción
- La alegría es una emoción facial positiva
- La sorpresa es una emoción
- La sorpresa es una emoción facial positiva
- La tristeza es una emoción
- La tristeza es una emoción facial negativa
- La repulsión es una emoción
- La repulsión es una emoción facial negativa
- La ira es una emoción
- La ira es una emoción facial negativa
- El miedo es una emoción
- El miedo es una emoción facial negativa
- La alegría usa el músculo cigomático mayor
- El músculo cigomático mayor desplaza comisura de los labios hacia atrás y arriba
- La alegría usa el músculo porción orbitaria del orbicular de los párpados

Una vez planteadas las preguntas de competencia y los hechos, se pudieron identificar los elementos de cada una de las ontologías. Estas 3 fueron creadas en Protegé, que es una plataforma gratuita de código abierto que proporciona un conjunto de herramientas para construir modelos de dominio y aplicaciones basadas en el conocimiento con ontologías. El formato de almacenamiento de las ontologías es OWL(Ontology Web Language)sintaxis RDF/XML.

A continuación se presentan las capturas de pantalla de las 3 ontologías en Protegé.

Una vez desarrolladas las 3 ontologías el siguiente paso fue crear un sistema con las 3 ontologías desarrolladas, el cual podemos ver en la Figura 4.14.

Este sistema también fue creado en Protegé. Para cada clase se consideraron las data type properties, las cuales son: nombreEmocion, nombreMusculo y nombreAccion. Y las object properties definidas entre las clases: activa, permiteExpresar y permiteLaAccion.

Evaluación del Sistema de Ontologías

Una manera de evaluar una ontología es verificar el cumplimiento de las preguntas de competencia. Para realizar dicha evaluación se utilizó DL Query. El cual es una pestaña de Protegé que permite a los usuarios probar rápidamente definiciones de clases para ver que subsumen las subclases apropiadas. El lenguaje de consulta (expresión de clase) se basa en la sintaxis de OWL de Manchester, una sintaxis fácil de usar para OWL DL que se basa fundamentalmente en recopilar toda la información sobre una clase, propiedad o individuo.

Las consultas realizadas para responder a la preguntas de competencia son:

1. nombreEmocion some string
2. emocionFacialPositiva
3. emocionFacialNegativa
4. emocion and nombreEmocion value “alegria”
5. emocion and nombreEmocion value “sorpresa”
6. emocion and nombreEmocion value “tristeza”

7. emocion and nombreEmocion value “repulsion”
8. emocion and nombreEmocion value “ira”
9. emocion and nombreEmocion value “miedo”
10. nombreMusculo value “cigomatico mayor” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value alegria))
11. nombreMusculo value “cigomatico mayor” and permiteLaAccion value desplazarComisuraDeLabiosHaciaAtrasYArriba
12. nombreMusculo value “porcion orbitaria del orbicular de los parpados” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value alegria))
13. nombreMusculo value “porcion orbitaria del orbicular de los parpados” and permiteLaAccion value elevarMejillas
14. nombreMusculo value “porcion medial del frontal” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value tristeza))
15. nombreMusculo value “porcion medial del frontal” and permiteLaAccion value elevarParteInteriorCejas
16. nombreMusculo value “superciliar” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value tristeza))
17. nombreMusculo value “piramidal” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value tristeza))
18. nombreMusculo value “depresor superciliar” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value tristeza))
19. nombreMusculo value “triangular de los labios” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value tristeza))
20. nombreMusculo value “triangular de los labios” and permiteLaAccion value descenderComisuraDeLabios
21. nombreMusculo value “porcion medial del frontal” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

22. nombreMusculo value “porcion lateral del frontal” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

23. nombreMusculo value “elevador del parpado superior” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

24. nombreMusculo value “porcion medial del frontal” and permiteLaAccion value elevarParteInteriorCejas

25. nombreMusculo value “porcion lateral del frontal” and permiteLaAccion value elevarParteExteriorCejas

26. nombreMusculo value “masetero” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

27. nombreMusculo value “temporal relajado” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

28. nombreMusculo value “elevador del parpado superior” and permiteLaAccion value elevarParpadoSuperior

29. nombreMusculo value “pterigoideo interno” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value sorpresa))

30. nombreMusculo value “porcion palpebral del orbicular de los parpados” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value miedo))

31. nombreMusculo value “porcion palpebral del orbicular de los parpados” and permiteLaAccion value reducirAberturaPalpebral and permiteLaAccion value reducirAberturaPalpebral

32. nombreMusculo value “risorio” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value miedo))

33. nombreMusculo value “risorio” and permiteLaAccion value alargarComisuraDeLabios

34. nombreMusculo value “superciliar” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

35. nombreMusculo value “superciliar” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

36. nombreMusculo value “piramidal” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

37. nombreMusculo value “depresor superciliar” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

38. nombreMusculo value “elevador del parpado superior” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

39. nombreMusculo value “porcion palpebral del orbicular de los parpados” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

40. nombreMusculo value “orbicular de los labios” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value ira))

41. nombreMusculo value “elevador comun del ala de la nariz y del labio superior” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value repulsion))

42. nombreMusculo value “triangular de los labios” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value repulsion))

43. nombreMusculo value “depresor del labio inferior” and permiteLaAccion some (accionFacial and (permiteExpresar value repulsion))

44. nombreMusculo value “elevador comun del ala de la nariz y del labio superior” and permiteLaAccion value fruncirNariz

45. nombreMusculo value “depresor del labio inferior” and permiteLaAccion value depresionLabialFrontal

La numeración de cada consulta corresponde con el número de la pregunta de competencia correspondiente.

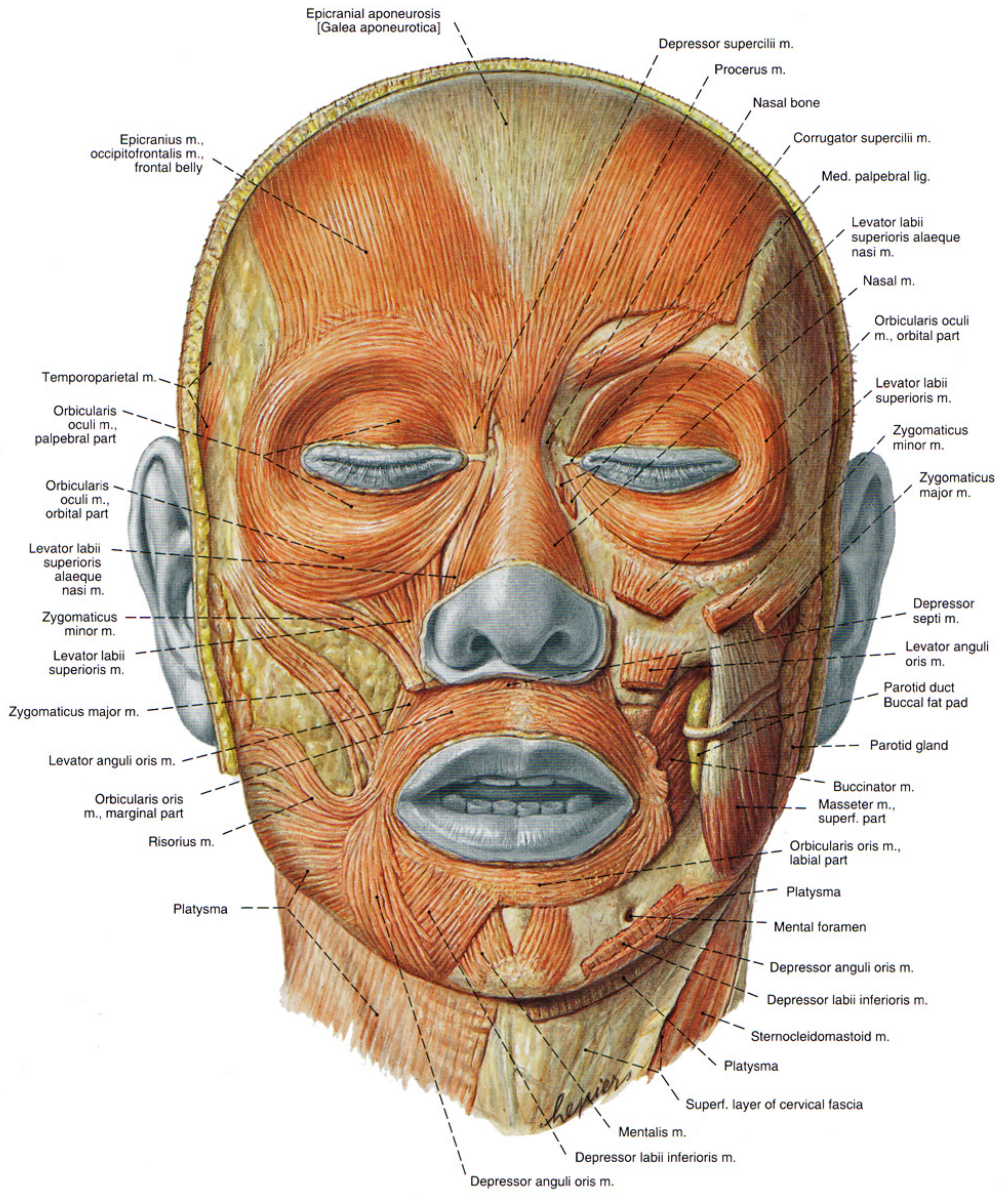


Figura 4.5: Músculos de la cara.

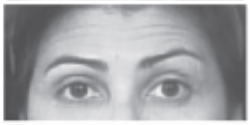
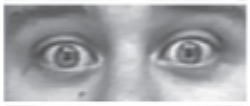
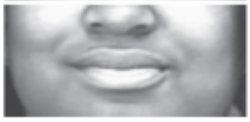
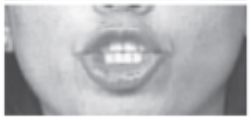
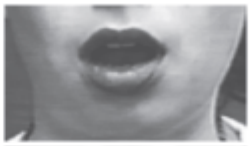
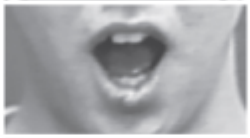
AU	Description	Facial muscle	Example image	Interrater agreement (Kappa coefficient) (tolerance window in seconds)			
				1/30th	1/6th	1/3rd	1/2
1	Inner Brow Raiser	*Frontalis, pars medialis*		.73	.79	.81	.83
2	Outer Brow Raiser	*Frontalis, pars lateralis*		.66	.71	.74	.76
4	Brow Lowerer	*Corrugator supercilii, Depressor supercil'ii*		.58	.64	.67	.70
5	Upper Lid Raiser	*Levator palpebrae superioris*		.68	.76	.79	.82
6	Cheek Raiser	*Orbicularis oculi, pars orbitalis*		.72	.78	.82	.85
7	Lid Tightener	*Orbicularis oculi, pars palpebralis*		.44	.49	.53	.56
9	Nose Wrinkler	*Levator labii superioris alaquae nasi*		.67	.76	.81	.83
10	Upper Lip Raiser	*Levator labii superioris*		.69	.76	.79	.81
11	Nasolabial Deepener	*Zygomaticus minor*		-	-	-	.97
12	Lip Corner Puller	*Zygomaticus major*		.67	.71	.74	.76

Figura 4.6: Unidades de Acción del Sistema de Codificación de Acción Facial.

AU	Description	Facial muscle	Example image	Interrater agreement (Kappa coefficient) (tolerance window in seconds)			
13	Cheek Puffer	*Levator anguli oris (*a.k.a. *Caninus)*		-	-	-	-
14	Dimpler	*Buccinator*		.59	.67	.72	.75
15	Lip Corner Depressor	*Depressor anguli oris (*a.k.a. *Triangularis)*		.54	.65	.69	.72
16	Lower Lip Depressor	*Depressor labii inferioris*		-	-	-	-
17	Chin Raiser	*Mentalis*		.55	.63	.66	.68
18	Lip Puckerer	*Incisivii labii superioris* and *Incisivii labii inferioris*		.65	.71	.74	.75
20	Lip stretcher	*Risorius* with *platysma*		.38	.47	.54	.60
22	Lip Funneler	*Orbicularis oris*		-	-	-	-
23	Lip Tightener	*Orbicularis oris*		.32	.41	.47	.53
24	Lip Pressor	*Orbicularis oris*		.50	.58	.62	.64
25	Lips parted	*Depressor labii inferioris* or relaxation of *Mentalis*, or		.57	.62	.65	.67

AU	Description	Facial muscle	Example image	Interrater agreement (Kappa coefficient) (tolerance window in seconds)			
		Orbicularis oris					
26	Jaw Drop	*Masseter,* relaxed *Temporalis* and *internal Pterygoid*		.65	.72	.76	.79
27	Mouth Stretch	*Pterygoids, Digastric*		-	-	-	.96
28	Lip Suck	*Orbicularis oris*		.61	.70	.76	.79
41	Lid droop	Relaxation of *Levator palpebrae superioris*		-	-	-	-
42	Slit	*Orbicularis oculi*		-	-	-	-
43	Eyes Closed	Relaxation of *Levator palpebrae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*		-	-	-	-
44	Squint	*Orbicularis oculi, pars palpebralis*		-	-	-	.87
45	Blink	Relaxation of *Levator palpebrae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*		-	-	-	.98
46	Wink	Relaxation of *Levator palpebrae superioris; Orbicularis oculi, pars palpebralis*		-	-	-	-
51	Head turn left	---		-	-	-	-

AU	Description	Facial muscle	Example image	Interrater agreement (Kappa coefficient) (tolerance window in seconds)			
52	Head turn right	---		-	-	-	-
53	Head up	---		-	-	-	-
54	Head down	---		-	-	-	-
55	Head tilt left	---		-	-	-	-
56	Head tilt right	---		-	-	-	-
57	Head forward	---		-	-	-	-
58	Head back	---		-	-	-	-
61	Eyes turn left	---		-	-	-	-

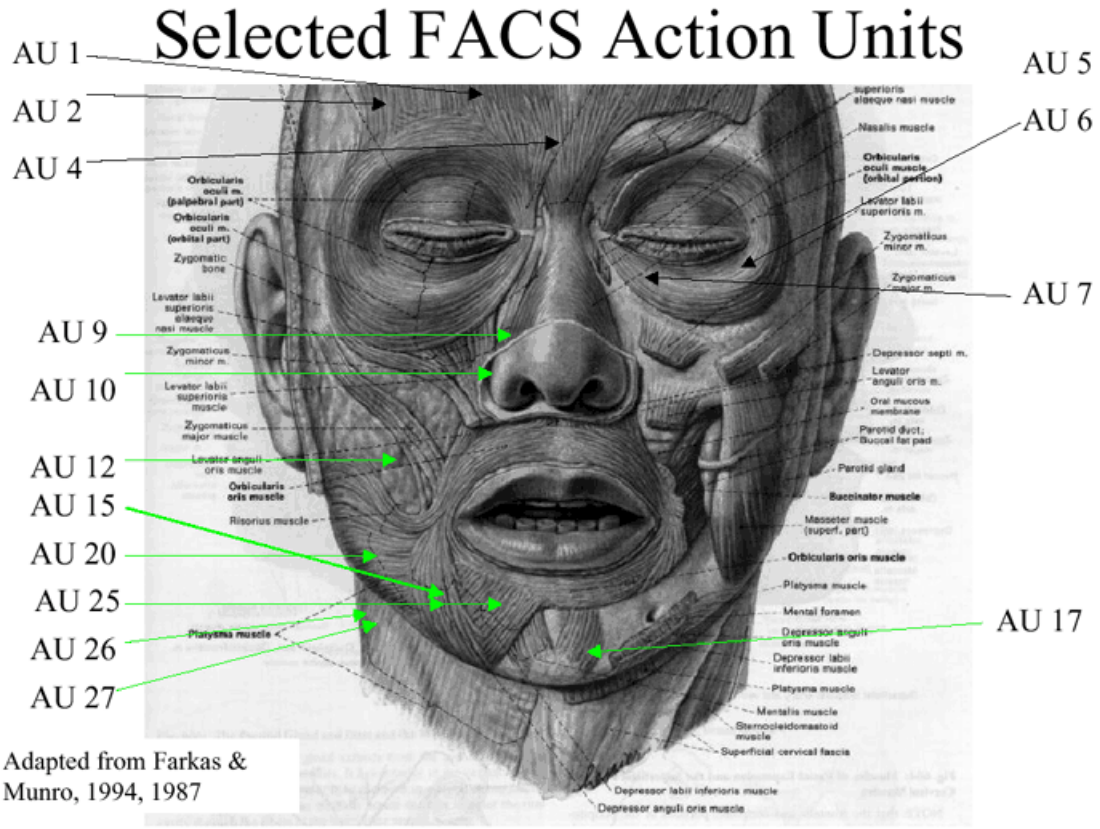


Figura 4.7: Unidades de Acción con sus músculos correspondientes. (AU por sus siglas en inglés Action Units)

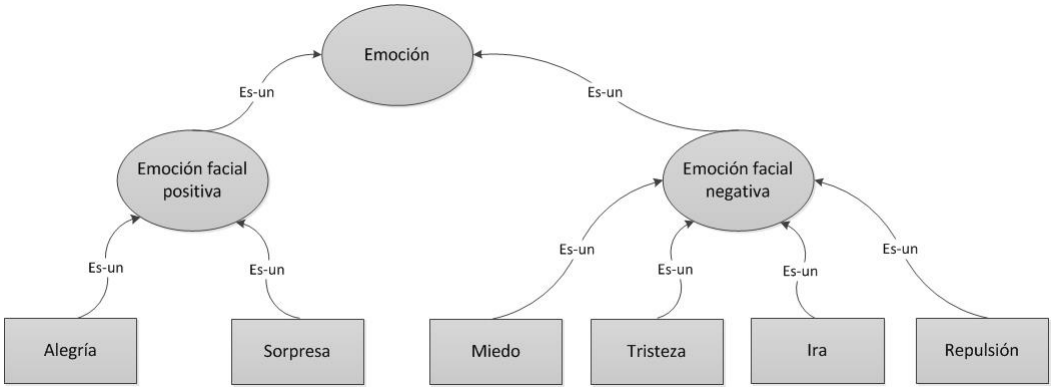


Figura 4.8: Ontología Emociones Faciales

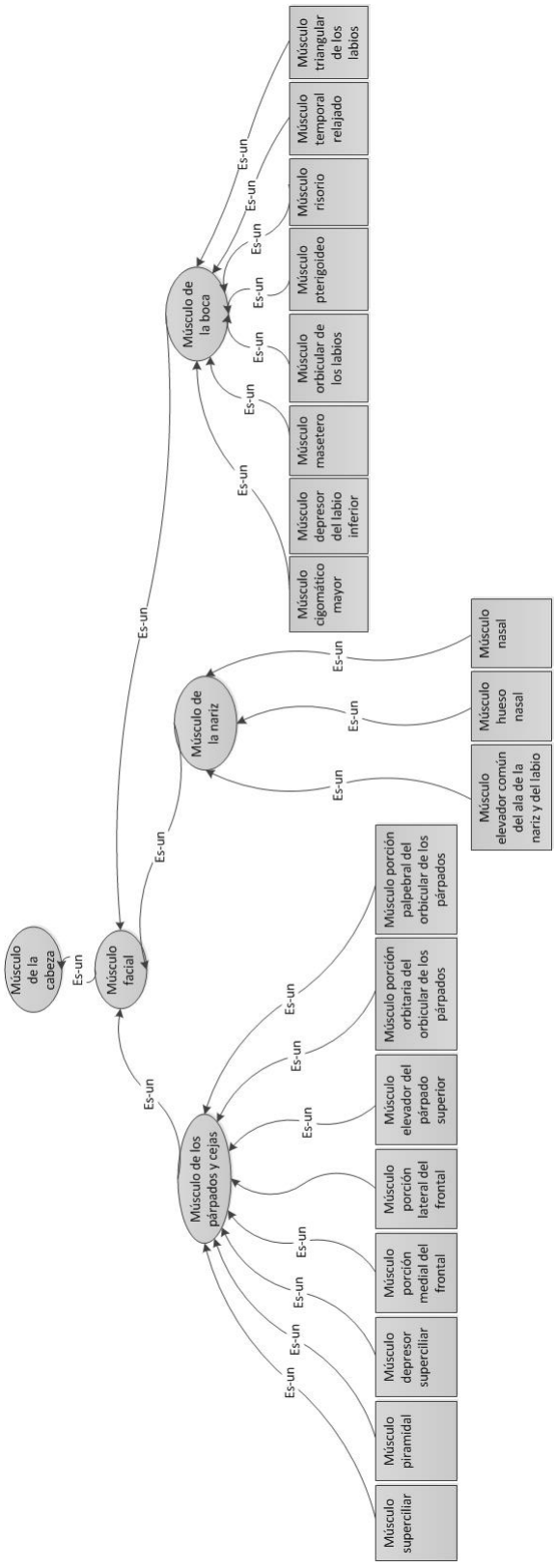


Figura 4.9: Ontología Músculos de la cara

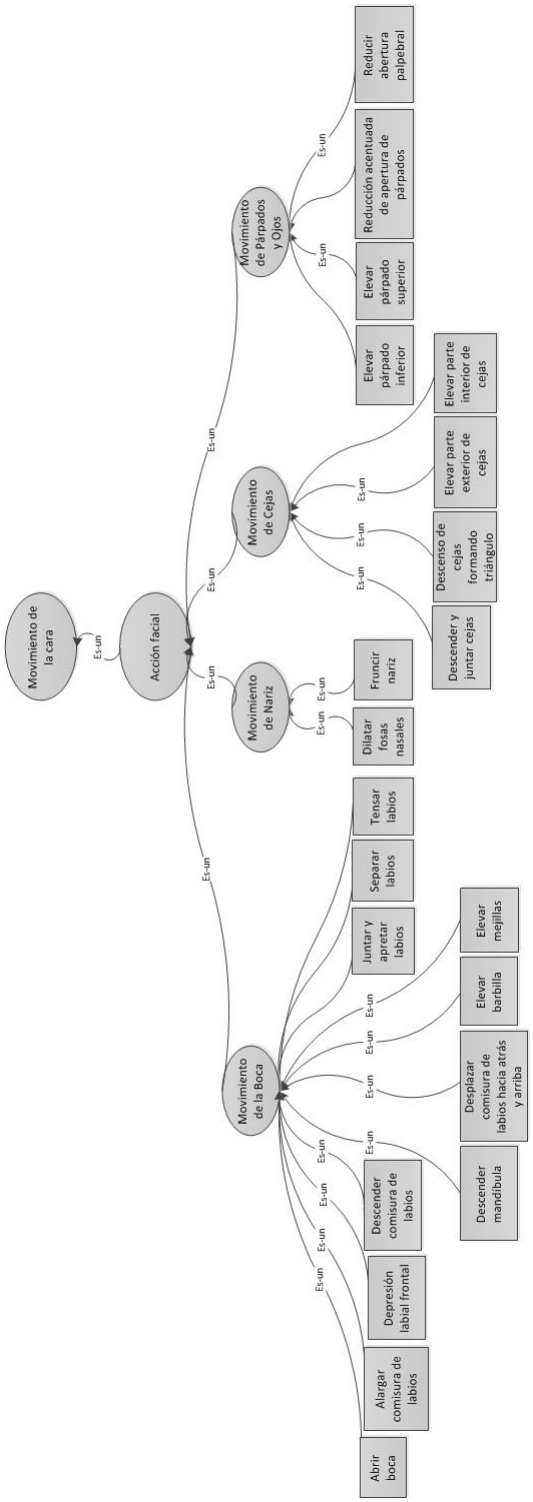


Figura 4.10: Ontología Acciones Faciales

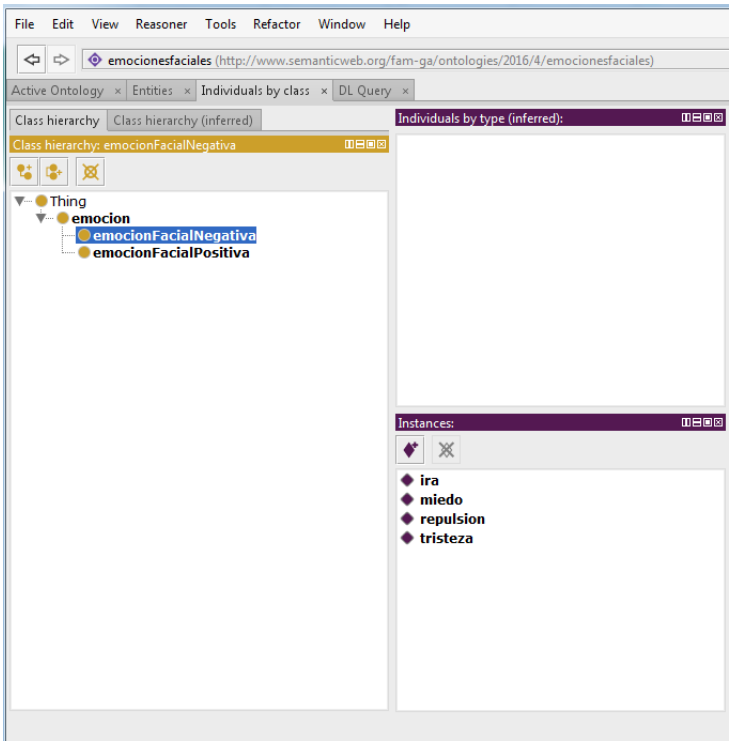


Figura 4.11: Ontología Emociones Faciales en Protegé.

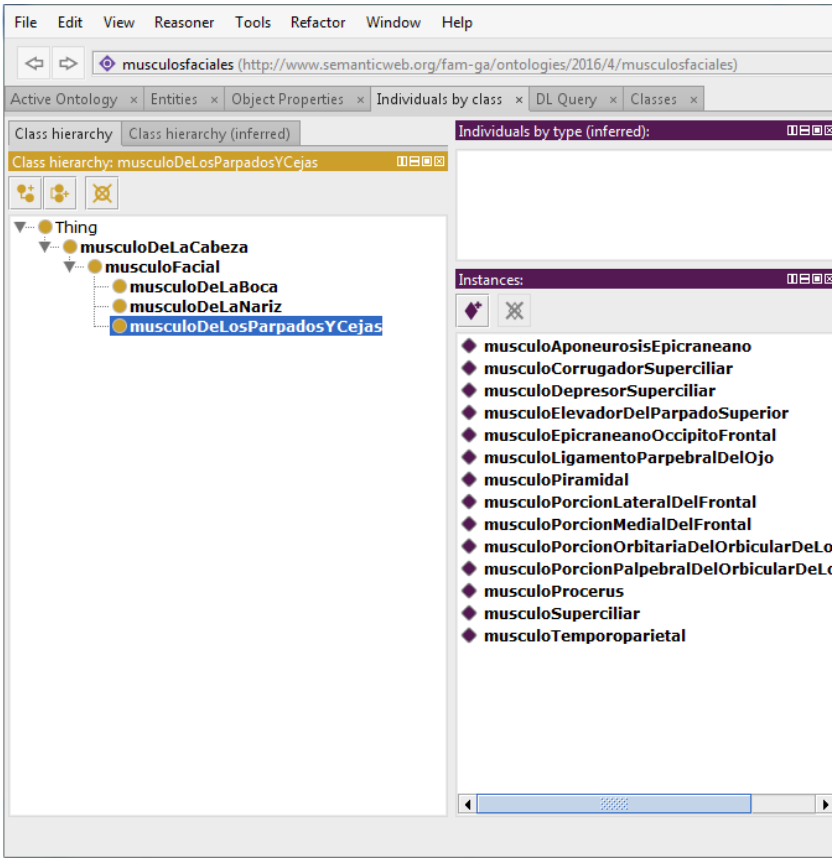


Figura 4.12: Ontología Músculos de la cara en Protegé.

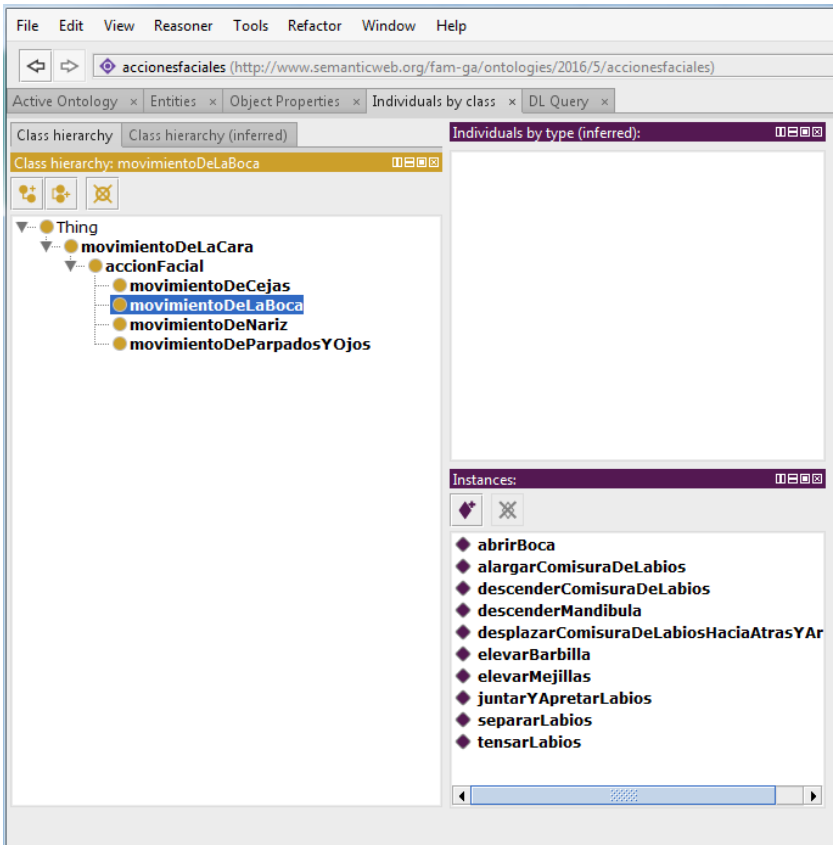


Figura 4.13: Ontología Acciones Faciales en Protegé.

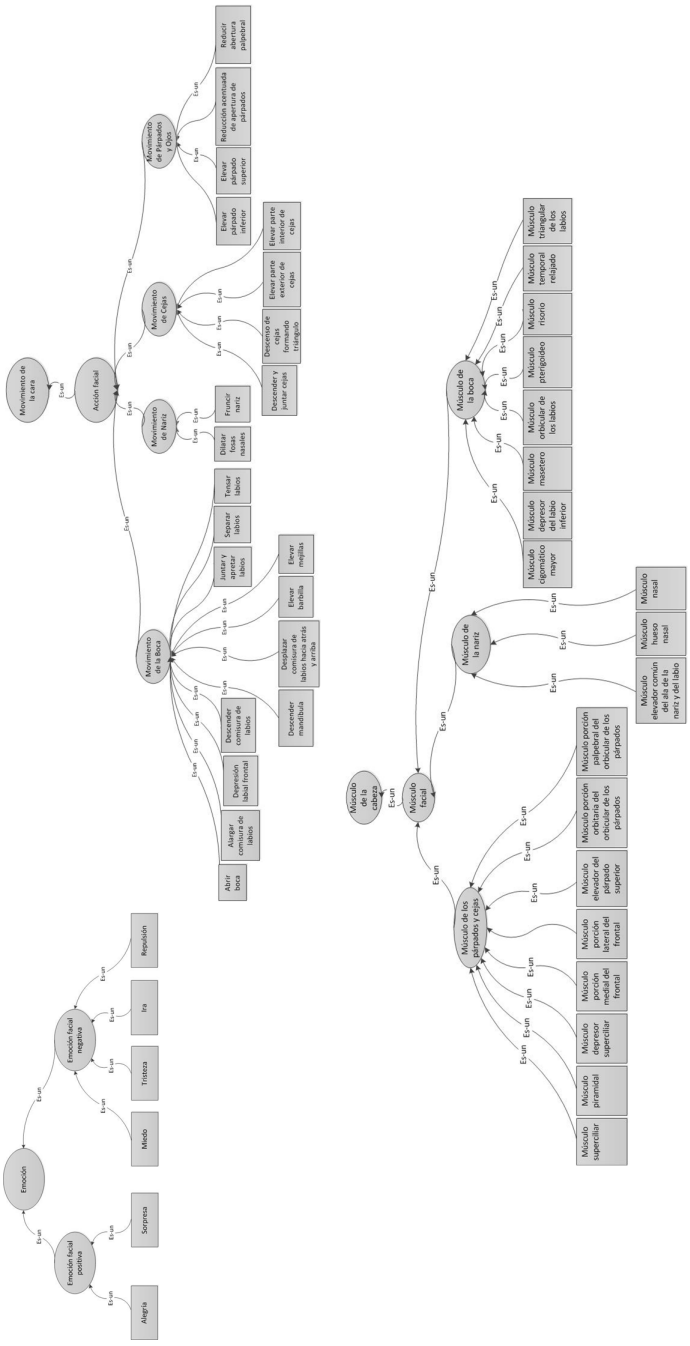


Figura 4.14: Sistema de Ontologías.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo a futuro

En este capítulo se presentan las conclusiones del presente trabajo de tesis. Para iniciar el desarrollo del presente trabajo de tesis, se estudiaron diversas teorías sobre emociones, esto con el fin de decidir con qué emociones era adecuado trabajar y porqué. La teoría que dedecimos usar fue la de Paul Ekman & Wallace Friesen, debido a ellos estudian las emociones faciales y proponen 6 emociones faciales básicas alegría, sorpresa, tristeza, repulsión, ira y miedo.

Además plantearón un sistema descriptivo basado en la anatomía de los músculos faciales (FACS), que permite registrar los cambios faciales debidos a la acción de músculos individuales. Para después proponer el "Emotional FACS"(Emotional Facial Action Coding System) y se basa en la utilización del FACS para detectar las emociones a través de la expresión de la cara.

Una vez decidido con qué emociones se iba a trabajar se desarrolló una taxonomía de emociones. Para seguir cumpliendo con los objetivos de la investigación.

Uno de los objetivos del presente trabajo fue diseñar e implementar una herramienta para conformar un corpus de emociones basadas en la taxonomía que se desarrolló, con este sistema se capturaron alrededor de 10,400 imágenes; después de haberlas analizado concluímos que la alegría y las tristeza fueron las 2 emociones que se lograron desatar en la mayoría de los sujetos de prueba. Y que la repulsión y el miedo fue más fácil desatarlo en algunas mujeres y muy pocos hombres. La sorpresa y el miedo prácticamente no se lograron desatar.

A pesar de que, los videos que se mostraron a los sujetos de estudio, fueron selecionados entre muchos, lo que a unas personas puede causarles repulsión a otros puede causarles alegría. No todas las personas reaccionamos igual ante los estímulos visuales, por lo cual no todas las emociones pudieron desatarse

en todos sujetos de estudio.
Otra cosa que se detectó en las imágenes tomadas, es que hay personas que son muy inexpresivas, por lo cual se volvió muy difícil notar si estaban expresando algún tipo de emoción, porque en todas las imágenes tomadas, su rostro se ve casi igual.

Por otro lado, revisando diversas investigaciones sobre emociones y ontologías de emociones, no existe un sistema de ontologías de emociones que tomen en cuenta los músculos del rostro y los movimientos de estos en la expresión de emociones faciales.

5.0.1. Aportaciones

Las aportaciones de este trabajo de investigación son:

- Una taxonomía de emociones basada en las 6 emociones faciales básicas.
- Un sistema para la creación de un corpus supervisado de imágenes de emociones.
- Un corpus de imágenes de emociones.
- Una Ontología Emociones Faciales.
- Una Ontología Músculos de la cara.
- Una Ontología Acciones Faciales.
- Un Sistema de Ontologías de Expresiones Faciales

5.0.2. Trabajo a futuro

Dada la importancia de dar continuidad a un trabajo de investigación, en esta sección se describe el trabajo a futuro a realizar en el reconocimiento de emociones faciales. Este se resume en los siguientes puntos:

- Clasificar las imágenes del corpus de imágenes de emociones para poder usarlas en un sistema de reconocimientos de expresiones faciales.
- Desarrollar un sistema de reconocimiento de expresiones faciales.
- Utilizar el sistema de ontologías y el sistema de reconocimiento de expresiones faciales en el robot - humanoide.

Bibliografía

[1] of Tecnology, M.I.: Affective computing. http://affect.media.mit.edu/

[2] Ogawa, Y., Kato, K., Yamamoto, K.: Self-learning system of facial expression for intelligent robot through interaction with human. In: Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003. Proceedings. 2003 IEEE International Symposium on. Volume 3., IEEE (2003) 1233–1238

[3] Rodolfo, R.H.: Máquinas que piensan y sienten. Volumen 7 (2006)

[4] Grassi, M.: Developing heo human emotions ontology. In: Biometric ID Management and Multimodal Communication. Springer (2009) 244–251

[5] Group, W.O.W., et al.: {OWL} 2 web ontology language document overview. (2009)

[6] García-Rojas, A., Vexo, F., Thalmann, D., Raouzaiou, A., Karpouzis, K., Kollias, S., Moccozet, L., Magnenat-Thalmann, N.: Emotional face expression profiles supported by virtual human ontology. Computer Animation and Virtual Worlds **17**(3-4) (2006) 259–269

[7] López, J.M., Gil, R., García, R., Cearreta, I., Garay, N.: Towards an ontology for describing emotions. In: Emerging Technologies and Information Systems for the Knowledge Society. Springer (2008) 96–104

[8] Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A., Schneider, L.: Sweetening ontologies with dolce. In: Knowledge engineering and knowledge management: Ontologies and the semantic Web. Springer (2002) 166–181

[9] Bannat, A., et al., J.B.: A multimodal human-robot-dialog applying emotional feedbacks. Springer-Verlag (2010)

[10] Cabibihan, J.J., et al., W.Y.: Minimal set of recognizable gestures for a 10 dof anthropomorphic robot. Springer-Verlag (2010)

[11] Haug, E.J.: Computer aided kinematics and dynamics of mechanical systems. Volume 1. Allyn and Bacon Boston (1989)

[12] Aryananda, L.: Recognizing and remembering individuals:online and unsupervised face recognition for humanoid robot. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (2002)

[13] Robins, B., Dautenhahn, K.: Developing play scenarios for tactile interaction with a humanoid robot: A case study exploration with children with autism. Springer-Verlag (2010)

[14] Sarbach, A.: Las emociones. https://filosert.files.wordpress.com/2012/06/u9-las-emociones.pdf (Junio 2012)

[15] UNED, P.: Psicología de la emoción. http://www.psicocode.com/resumenes/2EMOCION.pdf

[16] de Alicante, U.: La emoción. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4298/26/TEMA(2

[17] Yankovic, B.: Emociones, sentimientos, afecto. el desarrollo emocional. http://www.educativo.utalca.cl (Septiembre 2011)

[18] Ekman, P.: 16 Facial Expressions. In: Handbook of Cognition and Emotion. John Wiley & Sons Ltd. (1999)

[19] McDougall, W.: 3. In: An Introduction to Social Psychology. John W. Luce & Co. (1926) 47–92

[20] Reisenzein, R. In: Arnoldś Theory of Emotion in Historical Perspective. Volume 20. Psychology Press, part of the Taylor & Francis Group (November 2006) 920–951

[21] Plutchik, R.: The nature of emotions. American Scientist **89** (Julio - Agosto 2001)

[22] Gray, K., Wegner, D.M.: Dimensions of moral emotions. Emotion Review **3**(3) (Julio 2011)

[23] GUEVARA, J.B.: Interpretación de emociones basado en el análisis de expresiones faciales como complemento a los métodos de evaluación de usabilidad. http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/ (Noviembre 2012)

[24] Ruiz, David, M.: Effects of positive and negative emotion elicitation on physical activity performances. ProQuest (2008)

[25] Ekman, P.: An argument of basic emotions. Cognition & Emotion (1992)

[26] Díaz-Agudo, B.: 7. In: Ontologies. Springer (2007) 171–213

[27] Alvarez, J.L.: Una metodología para la recuperación de imágenes por contenido utilizando taxonomías dinámicas. Master's thesis

[28] of Tecnology, M.I.: Affective computing. https://www.ontology.co/ (2016)

[29] Fernández Breis, J.T.: Un entorno de integración de ontologías para el desarrollo de sistemas de gestión del conocimiento. (2008)

[30] Goclenius, R.: Lexicon philosophicum, quo tanquam clave philosophiae fores aperiuntur (etc.). Vidua Matthiae Beckeri (1964)

[31] Leibniz, G.: Opuscules et fragments inédits (l. couturat, ed.). Paris: Presses Universitaires de France (1903)

[32] Baumgarten, A.G.: Alexander gottlieb baumgarten. Philosophies of beauty (1931) 81–85

[33] Neches, R., Fikes, R.E., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., Swartout, W.R.: Enabling technology for knowledge sharing. AI magazine **12**(3) (1991) 36

[34] Gruber, T.R.: A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge acquisition **5**(2) (1993) 199–220

[35] Sánchez, D.M.: 1. In: Ontologies. Springer (2007) 3–20

[36] Borst, W.N.: Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse. Universiteit Twente (1997)

[37] Studer, R., Benjamins, V.R., Fensel, D.: Knowledge engineering: principles and methods. Data & knowledge engineering **25**(1) (1998) 161–197

[38] Corcho, O., et al., M.F.L.: Ontological engineering: What are ontologies and how can we build them? Idea Group Inc. (2007)

[39] Feliu, J., Vivaldi, J., Cabré Castellví, M.T.: Ontologies: a review. (2002)

[40] Moreno Ortiz, A.: Diseño e implementación de un lexicón computacional para lexicografía y traducción automática. Estudios de lingüística del español **9** (2000) 000–0

[41] Cabré, M.T., Feliu, J., Vivaldi, J.: Base de connaissances genoma: le rôle de lontologie. EN: Journée détude Terminologie, Ontologie & Representation des Connaissances. Lyon: Université Jean-Moulin Lyon **3** (2004) 19–25

[42] Arano, S.: La ontología: una zona de interacción entre la lingüística y la documentación. retrieved noviembre de 2011, fromhttp (2003)

[43] Ekman, P.: Basic emotions. Handbook of cognition and emotion **98** (1999) 45–60

[44] Darwin, C., Ekman, P., Prodger, P.: The expression of the emotions in man and animals. Oxford University Press, USA (1998)

[45] Ekman, P., .F.W.V.: Facial action coding system. (1978)

[46] Ekman, P., Friesen, W.V., Tomkins, S.S.: Facial affect scoring technique: A first validity study. Semiotica **3**(1) (1971) 37–58

[47] Izard, C.E.: Facial expression scoring manual (FESM. Newark: University of Delaware Press. (1979)

[48] Izard, C.E.: Maximally discriminative facial movement coding system (MAX). Unpublished manuscript. Newark: University of Delaware Press. (1981)

[49] Izard, C.E.: Two complementary systems for measuring facial expressions in infants and children. Cambridge,UK: Cambridge University Press. (1983)

[50] Kring, A.M., Sloan, D.M.: The facial expression coding system (faces): development, validation, and utility. Psychological assessment **19**(2) (2007) 210

[51] Tronick, E., Als, H., Brazelton, T.B.: Monadic phases: A structural descriptive analysis of infant-mother face to face interaction. Merrill-Palmer Quarterly of Behavior and Development **26**(1) (1980) 3–24

[52] Ekman, P.: Body position, facial expression, and verbal behavior during interviews. The Journal of Abnormal and Social Psychology **68**(3) (1964) 295

[53] Ekman, P.: Differential communication of affect by head and body cues. Journal of personality and social psychology **2**(5) (1965) 726

[54] Ekman, P., Friesen, W.V.: The repertoire of nonverbal behavior: Categories, origins, usage, and coding. Semiotica **1**(1) (1969) 49–98

[55] Schmidt, K.L., Cohn, J.F.: Human facial expressions as adaptations: Evolutionary questions in facial expression research. American journal of physical anthropology **116**(S33) (2001) 3–24

[56] Oster, H.: Baby facs: Facial action coding system for infants and young children. (2001)

[57] Oster, H., Camras, L.A., Campos, J., Campos, R., Ujiie, T., Meng, Z.: The patterning of facial expressions in chinese, japanese, and american infants in fear- and anger- eliciting situations. poster presented at the international conference on infant studies, providence, ri. (1996)

[58] Hager, J.C., Ekman, P., Friesen, W.V.: Facial action coding system. Salt Lake City, UT: A Human Face (2002)