

CIS1510IN02

RoboAct: Control de acciones para un actor robótico

LUZ EVELYN FERNANDEZ LOBOGUERRERO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
2015

CIS1510IN02

RoboAct: Control de acciones para un actor robótico

Autor(es):

Luz Evelyn Fernandez Loboguerrero

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE
LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

Director

Ingeniero Andrés Armando de la Peña MSc.

Jurados del Trabajo de Grado

Ingeniero Leonardo Flórez Valencia MSc.

Ingeniero Carlos Alberto Parra Rodríguez MSc.

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1510IN02>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.

Mayo, 2015

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez Piedrahita, S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos lo que me ayudaron a lograr mis objetivos.

CONTENIDO

CONTENIDO	VI
I - INTRODUCCIÓN	7
II - DESCRIPCION GENERAL	10
1. OPORTUNIDAD, PROBLEMÁTICA, ANTECEDENTES.....	10
1.1. <i>Formulación del problema que se resolvió</i>	<i>10</i>
1.2. <i>Justificación del problema.....</i>	<i>10</i>
1.3. <i>Impacto Esperado.....</i>	<i>11</i>
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
2.1. <i>Objetivo general</i>	<i>11</i>
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	<i>11</i>
3. METODOLOGÍA.....	11
III - CONTRIBUCIONES	13
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	13
2. ESTADO DEL ARTE	20
3. JUSTIFICACIÓN	24
4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN	24
4.1. <i>Contextualización.....</i>	<i>26</i>
4.2. <i>Diseño.....</i>	<i>28</i>
4.3. <i>Desarrollo</i>	<i>36</i>
4.4. <i>Integración</i>	<i>47</i>
5. VALIDACIÓN	48
6. VALIDACIÓN Y RESULTADOS	51
7. ANÁLISIS DE IMPACTO	58
8. CONCLUSIONES	59
IV- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	62
IV - ANEXOS.....	4
ANEXO 1. GLOSARIO	4

ABSTRACT

The uncanny valley it's a hypothesis in the robotic field which holds that when are highly human-like anthropomorphic robots, they cause a negative reaction in the people and sensation of discomfort, nonetheless when there is some anthropomorphic similarity, the robot it-s treated like a machine, causing the opposite effect. With this work we want to solve the human-humanoid-robot interaction using a psychological approach and applying this results using robot kinematics algorithms, thus, making the robot gestures, more human-like.

RESUMEN

El uncanny valley (o Valle Inquietante) es una hipótesis de la robótica que nos dice que cuando hay robots antropomórficos parecidos en exceso a una persona, causan una sensación de rechazo e inconformidad, sin embargo si el robot es parcialmente parecido, se le manipula como una máquina, generando la reacción inversa y desmejorando la interacción con éste. Con éste trabajo, se busca solucionar el problema de interacción humano-robot con los robots humanoides, realizando un acercamiento desde la psicología humana y aplicando estos resultados a través de algoritmos de cinemática robótica, haciendo que los gestos del robot sean más humanos.

I - INTRODUCCIÓN

Los robots humanoides son un concepto que lleva varios años en desarrollo en las áreas de cibernética. Inicialmente, la robótica tenía su aplicación en áreas Industriales y de Automatización, sin embargo, ésta área fue evolucionando y generó una nueva rama en la cual, se usan los robots humanoides y androides como herramientas para mejorar el entendimiento del ser humano en su totalidad. Un ejemplo de éste trabajo, es la creación de los androides *Feminoid* y *Geminoid* del Dr. Hiroshi Ishiguro, de la Universidad de Osaka, Japón, con el propósito de imitar la apariencia, emociones y movimiento de un humano [1], [2].

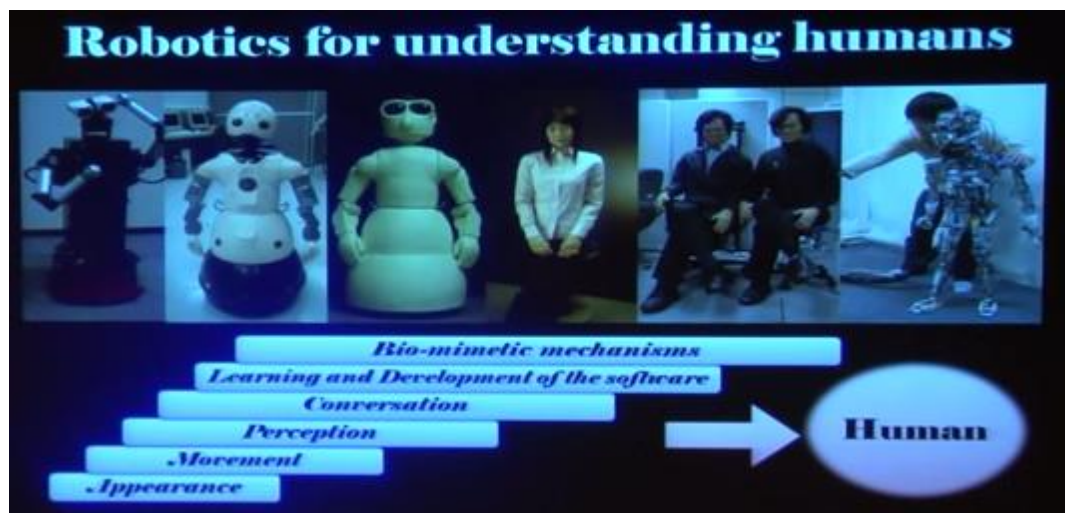


Ilustración 1. Robots para entender a los humanos [1]

Adicionalmente, ésta área de robots humanoides, se ha enfocado en el desarrollo de nuevos prototipos para la ejecución de actividades realizadas únicamente por humanos, tales como asistencia a enfermos y personas mayores, y en áreas de educación, para aumentar el interés de aprendizaje desde los colegios, en áreas de robótica y sistemas inteligentes. Sin embargo, el desarrollo y uso de estos robots humanoides genera cierto rechazo en los humanos debido a su parecido antropomórfico, ya que “*Esto puede ser interpretado como los robot siendo una amenaza a la existencia humana*” [3], análisis y estudios indican que mientras más parecido humano tenga el robot, mayor repulsión y reacciones negativas generará en las personas, mientras que un robot que menor parecido humano tenga, generará menor repulsión en las personas y tendrá mayor familiaridad con estas [4]. Un ejemplo, es el robot RIBA de Japón, al cual se le reemplazó la cabeza

humana por una cabeza con forma de oso de peluche para disminuir el rechazo de los pacientes que atiende.



Ilustración 2. Robot RIBA [5]

Sin embargo, la mayoría de humanoides desarrollados para ayudar en tareas humanas no están en la capacidad de representar, imitar o percibir ninguna emoción humana, por lo que las personas los perciben como *socialmente ineptos y de poca confianza* [3]. Esta percepción de *ineptitud social* en los robots, se debe a que el ser humano depende de las emociones y del lenguaje corporal para comunicarse e interactuar con sus pares, de hecho, muchos psicólogos mencionan la imposibilidad de dejar de lado las emociones al momento de realizar alguna acción [3]. Una solución para mejorar la interacción robot-humano es a través del Lenguaje Corporal [3], entre los cuales, tenemos el Robot Aibo, que tiene una estructura similar a la de un perro y usa una grilla de LEDs en su *cabeza* junto con otros actuadores, para demostrar sus estados emocionales; y el otro, es el robot iCat, que utiliza una serie de motores para mover partes del rostro del robot imitando expresiones faciales humanas [3].



Ilustración 3. Robot Aibo y Robot ICat [3]

En un enfoque más avanzado del uso del Lenguaje Corporal para mejorar la interacción humano-robot, fue el uso de los robots humanoides Feminoid F y Wakamaru, del Instituto Tecnológico de Osaka, Japón, que usó éstos robots como actores de una obra de teatro junto con actores de carne y hueso, como un escenario controlado para probar que tan expresivos y que tanta empatía generaban en la audiencia. Es de ésta prueba que se genera el término **Teatro Robótico** [6], ya que al igual que en una obra de teatro, los actores (en nuestro caso robots) deben ser capaces de demostrar sus emociones y la audiencia debe poder percibir las creando un vínculo emocional hacia el actor.

En este trabajo exploraremos como el teatro robótico se puede usar como un marco de validación para el desarrollo de un *controlador* que permita expresar con naturalidad las emociones del robot a través de su lenguaje corporal, en un escenario específico de la obra y, evaluar si un espectador humano responde acorde a la emoción expresada por el robot, permitiendo en un futuro, evaluar la posibilidad de la aplicación de robots o androides en áreas de entretenimiento o en la asistencia de tareas de la vida diaria.

II - DESCRIPCION GENERAL

1. Oportunidad, Problemática, Antecedentes

El teatro es una rama del arte escénico relacionada con actuación, donde los actores representan historias frente a la audiencia, buscando que estos perciban las emociones dadas en cada momento de la obra, mediante el uso de expresiones corporales, el tono de la voz, expresiones faciales y otros elementos que permiten recrear estos momentos emocionales.

Aunque el robot no es capaz de expresar estas emociones al público por sí sólo, la investigación y avance tecnológico ha creado androides y humanoides que poseen características físicas similares a la de una persona, permitiendo la programación de acciones en el robot, que imitan las expresiones corporales de un humano y, en algunos casos, inclusive han logrado imitar su expresión facial.

Por lo tanto, debe ser posible crear y dar naturalidad a las acciones y expresiones del robot para que se asemejen e imiten las expresiones de un actor humano, de esta manera el robot podrá participar de una obra de teatro y el público podrá percibir y entender las emociones del robot en cada momento de la historia.

1.1. Formulación del problema que se resolvió

¿Cómo efectuar con naturalidad acciones y movimientos para que un robot humanoide pueda reflejar su estado emocional actual y este estado sea percibido por el público, en una obra de teatro robótico?

1.2. Justificación del problema

Como se planteó en la introducción del trabajo, el uso de robots que nos ayuden en tareas de la vida cotidiana ha ido en aumento, sin embargo, los resultados de investigación de la interacción humano-robot, han demostrado que existe cierta fricción hacia los robots que son demasiado humanos o que son completamente deshumanizados. Ésta investigación busca reducir ésta fricción generando una parametrización de movimientos y posturas en el robot por medio de un estudio acotado del

lenguaje corporal humano, que podrían ser usados como un marco de referencia para otros estudios sobre la expresión corporal en robots, así como su uso en el Teatro Robótico.

1.3. Impacto Esperado

En caso de que el proyecto sea exitoso se espera:

- La divulgación en papers del trabajo realizado durante su desarrollo y los resultados obtenidos.
- La participación en simposios, conferencias, ponencias, etc, sobre robótica.
- Poner a Pontificia Universidad Javeriana como una de las pioneras en Latinoamérica en el tema de investigación teatro robótico.
- Obtener el interés de empresas extranjeras en los proyectos que se realizan en las universidades sobre robótica.

2. Descripción del Proyecto

2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar el control de acciones para un robot humanoide, que permita representar sus emociones y éstas sean percibidas por el público en el contexto de una obra de teatro robótico.

2.2. Objetivos específicos

- Modelar acciones del lenguaje corporal humano, que el robot humanoide esté en capacidad de ejecutar, permitiéndole representar su estado emocional actual.
- Diseñar y desarrollar el control de acciones para un robot humanoide, en el contexto de una obra de teatro robótico.
- Integrar el control de acciones a la arquitectura **EmotiBot** [7], [8].
- Validar a través de casos de estudio, la coherencia entre la percepción de las acciones y el estado emocional actual del robot.

3. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se propusieron las siguientes fases

1. **Contextualización:** Se realizó la búsqueda de trabajos que se encontraran relacionados con las siguientes temáticas
 - a. Emociones y lenguaje corporal humano.
 - b. Robots con emociones y que pudieran imitar emociones a través del lenguaje corporal.
 - c. Teatro robótico.

2. **Diseño:** a partir de la información obtenida en la fase de contextualización, se puede identificar como un humano representa sus emociones a través del lenguaje corporal y además se determinan las partes del cuerpo implicadas en los movimientos y posturas (cabeza, brazos, piernas, manos, pies y torso), que se utilizan para representar una emoción, esta información nos permitirá ver de qué forma se implementaría este lenguaje corporal humano dentro del controlador de acciones y movimientos de un robot humanoide.

Para la segunda parte de esta fase, se definen las posibles metodologías de diseño a utilizar para el desarrollo del controlador, para esto se tienen en cuenta el tipo de variables de entrada recibidas desde otros componentes de la arquitectura **Emotibot** [7], [8] y las variables de salida esperadas de ésta misma arquitectura.

3. **Desarrollo:** para la implementación del *controlador* se evaluarán diferentes tipos de algoritmos que permitan generar de forma natural movimientos en un robot humanoide, para nuestro caso específico, se deberán tener cuenta las especificaciones físicas del robot NAO de Aldebaran, que es el humanoide con el cual se desarrollará la obra de **Teatro Robótico**.
4. **Integración:** se integrará el controlador con los componentes de la arquitectura **EmotiBot** [7], [8], en este caso, se utilizará un módulo *dummy* para simular las entradas esperadas de la arquitectura **EmotiBot** [7], [8].
5. **Validación y Pruebas:** se validará si el humanoide **NAO** es capaz de representar sus estados anímicos a través de su lenguaje corporal por medio de la puesta en escena del robot, frente a uno o varios espectadores humanos. Si los espectadores se sienten familiarizados y hay una conexión de empatía y confianza con el robot, se puede decir que el robot expresó exitosamente sus emociones.

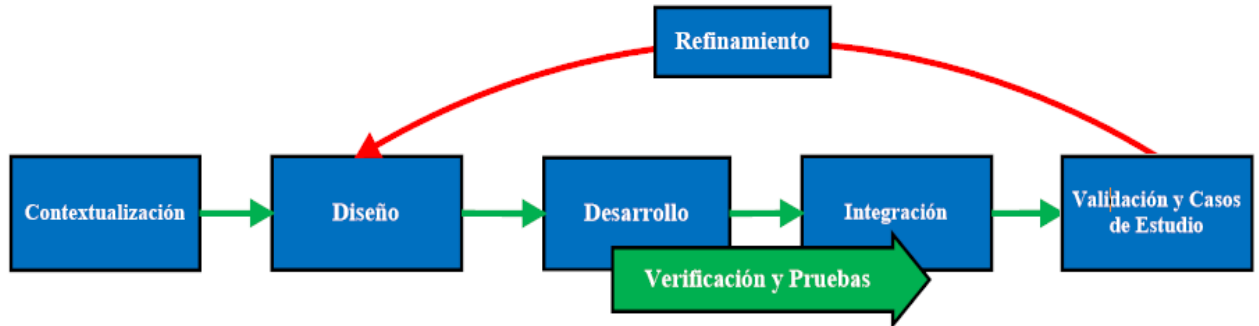


Ilustración 4. Fases de la Metodología

III - CONTRIBUCIONES

1. Conceptos Fundamentales

- **LENGUAJE VERBAL:** este tipo de comunicación puede realizarse de dos formas: oral o escrito, en el caso de la comunicación oral se utilizan signos y palabras habladas de forma gestual, que permiten transmitir los mensajes del emisor al receptor teniendo estos un código común, como por ejemplo el mismo idioma; la comunicación escrita se hace a través de la representación gráfica de estos signo [9], [10].
- **LENGUAJE NO VERBAL:** es el tipo de comunicación que todo ser vivo utiliza para interactuar con otros se forma inconsciente, sin necesidad de la expresión de palabras. La información que es enviada desde el emisor hasta el receptor se hace por medio del lenguaje corporal, gestos o posturas, transmitiendo continuamente el estado emocional de la persona durante todo el proceso de comunicación [11], [12].
- **LENGUAJE CORPORAL:** según el psicólogo Juan F. Rodríguez, “el Lenguaje Corporal exige pues un aspecto relacional y es un vehículo casi imprescindible para percibir los rasgos de las personas que nos rodean, **sus estados emocionales** y sus actitudes hacia nosotros y hacia el mundo en general. Aunque cada gesto es individual y distinto, las similitudes anatómicas entre todos los seres humanos imponen también similitudes en la expresión. El Lenguaje corporal se adquiere por cierta programación genética, pero pronto se condicionará socialmente dependiendo en gran medida de las relaciones de la persona con el entorno a través de la **interpretación y de la ejecución motora**. Acertar en nuestra

percepción e interpretar los mensajes corporales que transmiten información de los otros, principalmente de carácter emocional y social y emplear de manera consciente estos signos es una manera de mejorar nuestras relaciones con los demás y el conocimiento de nosotros mismos, en definitiva, es una manera esencial de desarrollar nuestra adaptación al mundo, es decir nuestra Inteligencia Emocional” [13].

- **TEATRO:** el teatro es una rama del arte escénico relacionada con actuación, donde los actores representan historias frente a la audiencia, buscando que estos perciban las emociones dadas en cada momento de la obra, mediante el uso de expresiones corporales, el tono de la voz, expresiones faciales y otros elementos que permiten recrear estos momentos emocionales.
- **TEATRO ROBÓTICO:** el termino teatro robótico hace referencia al inclusión de robots dentro de una obra de teatro, en la cual también actúan personas.
- **APRENDIZAJE SUPERVISADO:** es un algoritmo de aprendizaje de maquina en el cual se conocen los datos de entrada que recibirá el sistema y se sabe cuál va a ser la respuesta a dichas entradas, el objetivo de este tipo de algoritmos es generar una función que permita establecer la correspondencia entre las entradas y las salidas. A través de un conjunto de datos de entrenamiento, se enseña al sistema a identificar la entrada dada y reproducir su salida correspondiente. La mayoría de problemas resueltos a través de este tipo de aprendizaje son los problemas de clasificación, un ejemplo muy común es el de reconocimiento de dígitos manuscritos.
- **PROBLEMAS DE CLASIFICACIÓN:** son aquellos en los cuales se tiene un conjunto de entradas y se debe decidir la clase a la cual pertenece cada entrada, un aspecto importante de los problemas de clasificación es que son discretos, es decir, que cada entrada pertenece solamente a una clase y el conjunto de clases cubre todas las posibles salidas existentes [14].

Los siguientes dos conceptos son algoritmos de aprendizaje supervisado y se utilizan en su mayoría para resolver problemas de clasificación, estos dos tipos de algoritmos dependen de la información de entrenamiento dada para poder resolver el problema, una red neuronal en un problema de clasificación se utiliza para determinar el error de la red y luego ajustarla

minimizando el error al máximo, en el caso de los árboles de decisión se usan para determinar que atributos proveen la mayor información para resolver el problema [15].

- **ARBOL DE DECISIÓN:** el árbol binario es una poderosa estructura de datos utilizada en ciencias de la computación, que usa como base el paradigma de dividir y conquistar, la popularidad de este tipo de estructura es debido a que el costo computacional de crear un árbol es muy bajo y el costo de uso es aún menor $O(\log N)$, donde N es el número de datos. Los bajos costos computacionales de este tipo de estructura lo hacen atractivo para el aprendizaje de máquina, ya que el algoritmo de aprendizaje es realmente rápido y los resultados se obtienen de forma inmediata. Un ejemplo claro del uso de árboles de decisión, es en las áreas de servicio al cliente por teléfono, donde el usuario es guiado hacia el operador a través de las respuesta a sus preguntas [14].

La idea básica de los árboles de decisión es que, teniendo una entrada que contenga todos sus atributos bien definidos, se evalúan sus atributos para poder clasificarla en cada nivel del árbol, según las respuestas que correspondan a los atributos de la entrada, es decir, cada nodo del árbol contiene la pregunta con la cual se toma la decisión de porque rama seguir, así se recorre el árbol hasta llegar a las hojas y encontrar la posible respuesta [14], [15].

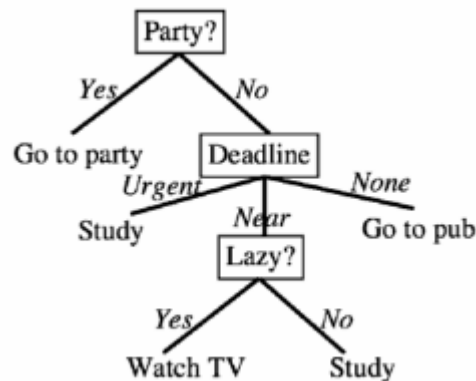


Ilustración 5. Ejemplo árboles de decisión

Cuando se piensa en el algoritmo de aprendizaje para el árbol de decisión se deben evaluar los siguientes aspectos, la forma en la que el árbol puede tomar una buena decisión, que preguntas se debe hacer en cada nodo del árbol y tener en cuenta que las preguntas correspondan con los atributos de cualquier posible entrada.

- **RED NEURONAL:** este tipo de aprendizaje se encuentra basado en la forma en la cual funciona el cerebro de los animales, básicamente el sistema es una interconexión de neuronas que se comunican y trabajan entre sí para generar un estímulo de salida [15]. Cada red neuronal está compuesta por los siguientes componentes [14]:
 - **Neurona**, unidad básica que forman la red neuronal.
 - **Capas**, una capa representa un nivel en la red neuronal. Una red neuronal trivial, es aquella que solo tiene la capa de entrada, donde se encuentran las variables de entrada, y la capa de salida, que son las respuestas deseadas, a este tipo de red se le llama monocapa. Otro tipo de redes poseen una tercera capa, que se denomina la capa oculta donde se definen los demás niveles de la red, esta capa se ubica en medio de la capa de entrada y de salida, una red puede contener tantas capas ocultas como se necesiten.
 - **Señal o impulso**, él envió de datos e información a través de los enlaces de conexión entre las neuronas.
 - **Función de propagación**, se encarga de transmitir el resultado dado por un nodo, esta función es la sumatoria de las entradas, multiplicada por el peso de la conexión.
 - **Función de activación**, el resultado de la función de propagación hacia otro nodo.
 - **Función de aprendizaje**, es la que le permite a la red aprender a través de los datos de entrenamiento.

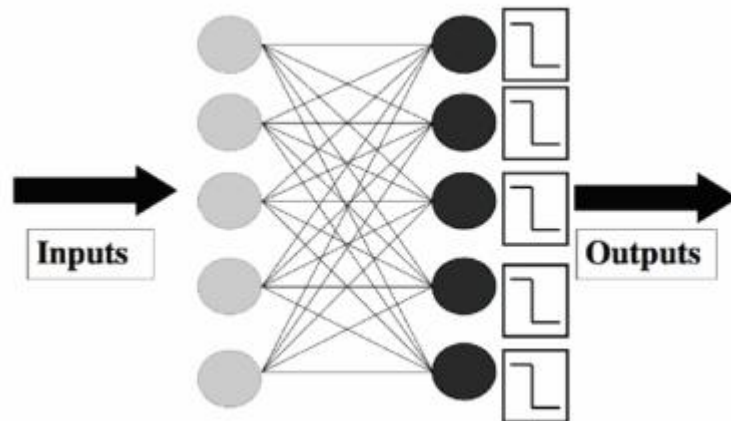


Ilustración 6. Ejemplo red neuronal

Las redes neuronales se encuentran clasificadas por el tipo de arquitectura, dividiéndolas en 4 grandes grupos, según las entradas y las salidas, según la conectividad entre las capas, según la conexión entre las capas y según la sincronía.

- **PERCEPTRON MULTICAPA:** este tipo de arquitectura permite resolver problemas que no sean linealmente separables, el perceptron multicapa también es conocido como red de retropropagación, ya que en el entrenamiento utilizado para la red neuronal, se usan algoritmos de propagación hacia atrás de errores [14], [15], el algoritmo funciona de la siguiente forma:
 - Una vez dada la entrada a la red como un estímulo, se propaga desde la primera capa hasta la última, generando una salida.
 - La señal de salida se compara con la salida deseada y se calcula el error de cada una de las salidas.
 - Estos resultados de error se propagan hacia atrás, iniciando en la capa de salida hacia todas las neuronas de la capa oculta, devolviendo el valor del error a cada neurona en cada capa anterior, así hasta llegar a la primera capa.

Este proceso permite a las capas intermedias de la red aprender a reconocer atributos del espacio total de la entrada, es decir, que cuando la red reciba una entrada diferente a las de entrenamiento, estará en capacidad de identificar atributos y características similares a otros datos de entrada que ya conozca, generando una respuesta aproximada para esa nueva entrada.

Estas son redes neuronales que se encuentran compuestas por una capa de entrada, una capa de salida y más de una capa oculta, donde cada capa contiene un conjunto de neuronas que se encuentran conectadas con las neuronas de la capa anterior y las neuronas de la siguiente capa [14].

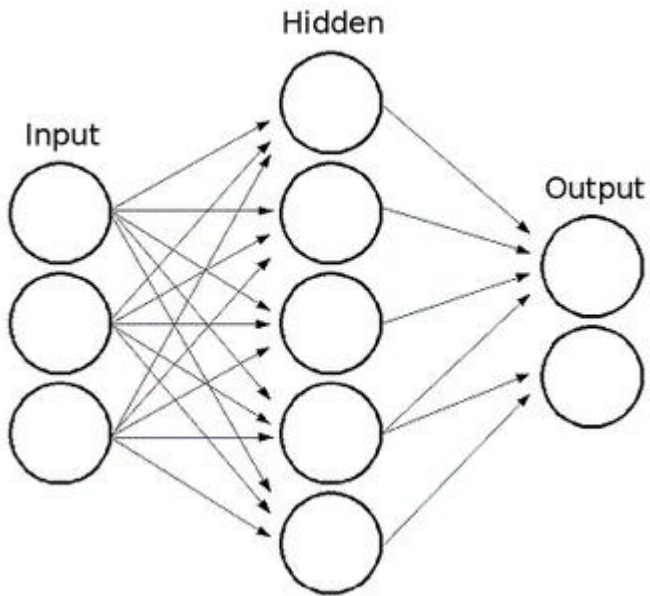


Ilustración 7. Ejemplo perceptron multicapa

Cada neurona posee múltiples conexiones de entrada, que contienen los valores de salida de las neuronas de la capa anterior, y posee múltiples conexiones de salida, pasando sus resultados obtenidos a otras neuronas en la siguiente capa. Los valores recibidos de las capas anteriores les son asignados unos pesos, que luego son usados en la sumatoria de la función de activación [16], [17].

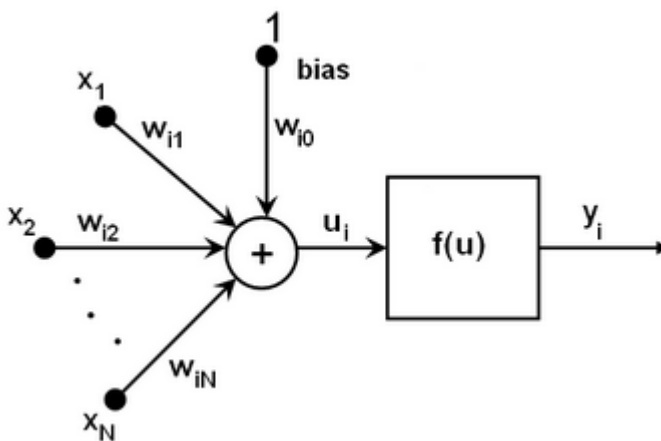


Ilustración 8. Recepción de entradas a la neurona y ejecución de la función de activación.

Dadas las salidas X_j de la capa N , la salida Y_i de la capa $N+1$ se calcula como:

$$u_i = \sum_j (w_{i,j}^{n+1} * X_j) + w_{i,bias}^{n+1}$$

$$Y_i = f(u_i)$$

Para la función de activación existen tres tipos de funciones que son estándar

- Función de Identidad, $f(x) = x$
- Función simétrica sigmoide, $f(x) = \beta * (1 - e^{-\alpha x}) / (1 + e^{-\alpha x})$, función por defecto del perceptron multicapa.

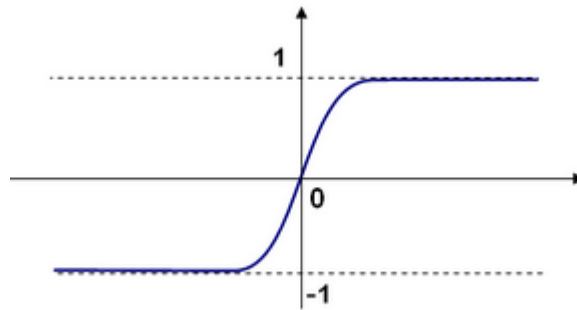


Ilustración 9. Función simétrica sigmoide

- Función Gaussiana, $f(x) = \beta e^{-\alpha x^2}$
- **CINEMATICA DE UN ROBOT:** Una cadena cinemática robótica es un manipulador articulado que interactúa con el entorno y se describe comúnmente como un conjunto de enlaces robóticos conectados por articulaciones. Las articulaciones pueden rotar y controlar una posición relativa angular [18]. Las posiciones que pueden tomar las articulaciones se encuentran limitadas por la posible colisión con otras articulaciones, así que solo algunas posiciones en las cadenas son válidas. La cinemática del robot permite generar la planeación y ejecución de los movimientos de cada articulación, teniendo en cuenta las fuerzas que actúan y las fuerzas de torque.
- **FAMILIARIDAD:** sencillez y naturalidad en el trato con otra persona, este término es propio de la amistad o el parentesco [4]. En el área de robótica se refiere a la impresión positiva o negativa, emocional e intuitiva, que refleja aceptación hacia los robots [4].
- **EMPATÍA:** se entiende como la conciencia de los sentimientos, necesidades y preocupaciones ajenas [19].

- **NATURALIDAD:** en el contexto de proyecto, el término se refiere a la forma en la cual un robot debe ejecutar acciones y movimientos de un modo menos mecánico y más humano.

2. Estado del Arte

En esta sección se presentará una breve descripción de los trabajos que se encuentran relacionados con la importancia de las emociones en los robots, la generación de emociones y la modulación de las expresiones corporales de los robots a través de diferentes enfoques.

- **Emotions and Robot Artist: State-of-the-Art and Research Challenges [3]**

Este trabajo provee un marco general sobre el importante rol que tienen las emociones cuando nos comunicamos e interactuamos con personas o animales y por qué la implementación de emociones en los robots es necesaria para mejorar la interacción humano-robot.

Este paper muestra, el punto de vista que tiene la psicología acerca de las emociones humanas e introduce algunas teorías sobre los modelos emocionales existentes, en los cuales se caracterizan y clasifican las emociones, según el pensamiento y comportamiento de las personas. Después de introducir un poco de teoría sobre las emociones, se cuestiona por qué se desea crear robots emocionales, este tema muestra la importancia de generar una interacción más natural entre un humano y un robot, haciendo uso de la expresión y reconocimiento de emociones, a través del lenguaje corporal.

Adicionalmente hacen una clasificación de los tipos de robots emocionales que existen y como es que expresan emociones, en el trabajo se definen 3 categorías, los robots que expresan emociones a través del lenguaje corporal, los robots que expresan emociones a través del arte y los robots que están de forma virtual, en cada categoría muestran ejemplos de los robots, las descripciones de los mismos y como están siendo utilizados dentro de nuestra sociedad.

- **Robotic Emotional Expression Generation Based on Mood Transition and Personality Model [20]**

El desarrollo e implementación de robots domésticos y de servicio ha venido incrementándose, así como el desarrollo que investigaciones que buscan mejorar la interacción humano-robot. Estos elementos fueron los que motivaron el desarrollo de este trabajo, en el cual se investiga desde un punto de vista psicológico, los estados emocionales de un humano y los tipos de personalidad, permitiéndoles generar un sistema autónomo de interacción emocional, con el cual el robot puede imitar emociones a través de expresiones faciales e identificar las emociones de una persona y responder a estas.

Parte de este trabajo identifiqué la importancia y necesidad de la implementación de emociones en los robots, permitiéndoles tener una interacción más amigable con un ser humano y proporcionándoles un comportamiento más humano. Dentro del trabajo definieron que, las interacciones emocionales se ven afectada por, los estados emocionales, el temperamento, la personalidad, la disposición y la motivación, adicionalmente se proponen ecuaciones que permiten determinar cada aspecto mencionado y luego utilizar los resultados como entradas a la red de agrupamiento difuso de Kohonen, este método propuesto determina el comportamiento emocional que deberá tener el robot según las entradas dadas.

- **Robot Emotions and Performance Regulation Based on Hidden Markov Models [21]**

En este trabajo se evalúa el proceso y transición de los estados emocionales definidos por la psicología a través de la construcción de un modelo de expresión robótico que fue basado en los modelos ocultos de Markov, es un proceso estocástico que consta de un proceso de Markov no observado y un proceso observado [22].

Teniendo en cuenta que la representación de emociones a través de la expresión es de suma importancia para la comunicación y que se ha identificado cuales son los puntos críticos de la interacción en tiempo real entre un humano y un robot, el desarrollo de este paper se divide en tres partes, primero, definen un esquema en el espacio de los estados emocionales y su intensidad, segundo, se propone el diseño de un modelo de expresión emocional basado en los modelos ocultos de Markov y tercero, se hace la evaluación de los modelos a

través de una plataforma robótica con 15 grados de libertad, que expresa sus emociones a través del lenguaje facial.

- **Mobile Robot Navigation Modulated by Artificial Emotions [23]**

Este trabajo habla de la importancia de incluir aspectos del comportamiento biológico humano y aspectos del proceso afectivo, como las emociones, en este tipo de trabajos de investigación, la mayoría se enfocan en la creación de robots y agentes autónomos que puedan simular emociones humanas y otros se enfocan en el dominio social, por parte de este proyecto de investigación propone el desarrollo de una arquitectura híbrida (reactiva/deliberativa) que pueda simular de forma artificial emociones que afecten las tareas de navegación de un robot móvil. El desarrollo de este proyecto le permite al robot interactuar con el mapa a través de la expresión de emociones, lo cual hace que la ruta planeada para recorrer el mundo varíe según el estado mental simulado.

Las emociones aplicadas a este proyecto pueden afectar cualquier nivel de la arquitectura, ya que pueden ser reactivas o deliberativas y se pueden ver afectada diferentes componentes como, la modulación las decisiones y acciones del robot, el sistema de control del robot para responder de forma reactiva ante un estímulo inesperado y la capacidad de aprender la asociación entre la planeación de la ruta y las emociones, en respuesta a los objetos y eventos del mundo.

- **Increasing the Expressivity of Humanoid Robots with Variable Gestural Expressions [24]**

La comunicación humano-robot ha propuesto ser un reto para los proyectos de investigación, buscando siempre generar el mejor modelo que permita la expresión de emociones a través de los gestos y la voz en los robots, en este trabajo se hizo uso de un robots humanoides lo que permite hacer un mejor uso del lenguaje corporal humano.

En este trabajo, se estudió el uso de los gestos más comunes en la comunicación humana y el contexto en el cual se generaban, teniendo como base más de 50 gestos para imitar, esto les permitió identificar los posibles parámetros asociados a cada gesto, en que categoría debían ser clasificados y como poder aplicarlos a un robot humanoide. De esta forma

definieron un esquema en el cual un sistema puede elegir el gesto que deberá utilizar según el contexto en el cual se encuentre

- **Intelligent Robot Motion using Fuzzy logic-Bases CTP and Artificial Neural Networks [25]**

Este trabajo introduce un analizador basado en lógica difusa, que interpreta la lingüística de las emociones, el uso de la lógica difusa permite operar basados en la información percibida, dando como resultado la posibilidad de estandarizar su módulo lingüístico para un robot humanoide, el cual deberá poder categorizar los datos necesarios para generar una trayectoria para uno de sus brazos y ejecutar el movimiento con emoción.

En este acercamiento las emociones son vistas como proposiciones que el analizador aproxima, descomponiéndolas en el tipo de emoción y la intensidad, esto implica que la proposición contendrá adentro información que será utilizada por una red neuronal artificial, para la generación de las velocidades y las aceleraciones de cada articulación del brazo del humanoide.

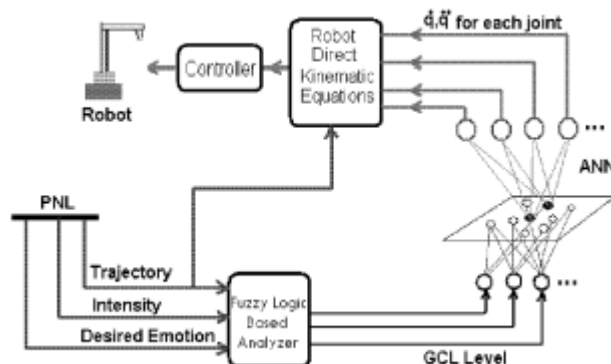


Ilustración 10. Sistema inteligente de movimiento[25]

Todas las investigaciones concuerdan con la importancia de mejorar la interacción humano-robot, a través de la incorporación de emociones y lenguaje corporal en los robots, lo que ha generado diferentes tipos de soluciones y acercamientos. Parte del objetivo de este trabajo de grado, es lograr generar un acercamiento hacia la mejora de esa interacción entre un humano y un robot, pero desde otro enfoque diferente a los vistos en los trabajos de investigación mencionados, en este trabajo se evalúa la incorporación de emociones y lenguaje corporal en un

robot humanoide, buscando la correcta imitación del comportamiento humano y validando su ejecución en el contexto de una obra de teatro, parte de esta validación es ver la percepción que tienen las personas sobre el posible uso de robots en nuestra vida diaria.

3. Justificación

Las reacciones adversas con los robots exageradamente antropomórficos es una teoría planteada por el profesor de Robótica Masahiro Mori, profesor del Instituto de Tecnología de Tokio, el cuál escribió un ensayo acerca de las reacciones de las personas frente a diferentes tipos de robots. Ésta teoría la llamo The Uncanny valley, o valle inquietante es español, el cual hace referencia a un valle que se crea en la gráfica de reacción positiva (o afinidad con el robot) vs parecido del robot, en la que la reacción positiva baja estrepitosamente luego de tener un crecimiento positivo. Con éste ensayo, el doctor Mori describió ciertos elementos que hacen que un robot tenga rechazo o afinidad con las personas.

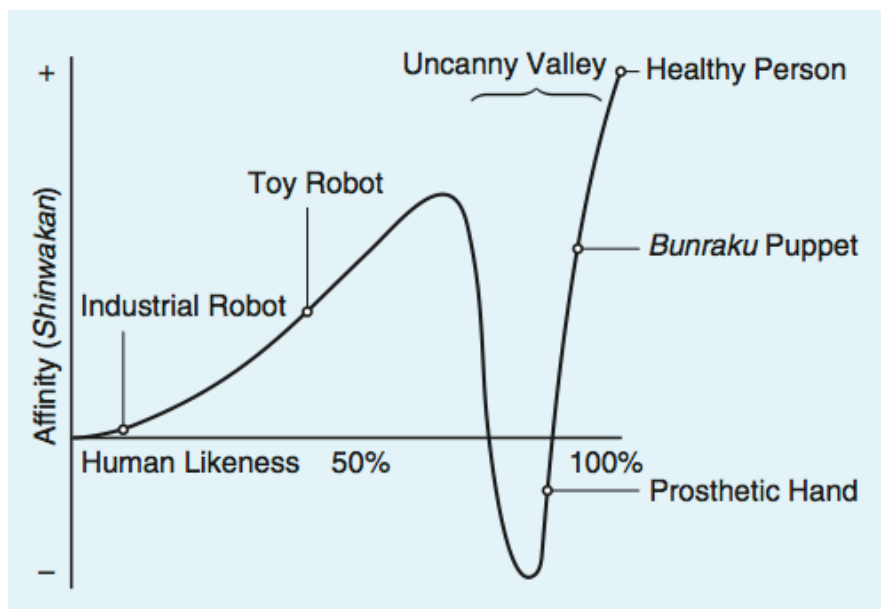


Ilustración 11. Uncanny valley. [26]

Con este estudio, y con el estado actual de la robótica humanoide, surge la oportunidad de mejorar la afinidad de los robots más allá de su clasificación de *robot* de juguete pero sin caer por el *uncanny valley* como es el caso de los Androides del Doctor Dr. Hiroshi Ishiguro, que son demasiado parecidos a una persona. Robots como el *BIOLOD* y *DARwIn-OP*, que son robots

humanoides y con características antropomórficas, son un perfecto ejemplo de robots que se ven como máquinas y juguetes con los cuáles jugar, pero que no generan afinidad alguna ni empatía, a pesar de parecerse físicamente a un humano. En el caso de éstos robots, se podría intentar mejorarlos físicamente para que tengan más similares a las de una persona (como fue el caso del Aibo, que se diseñó para parecerse lo más posible a un perro) o aumentar el número de motores y articulaciones para aumentar sus grados de movimiento y mejorar su expresión facial, en caso de no tener ninguna.

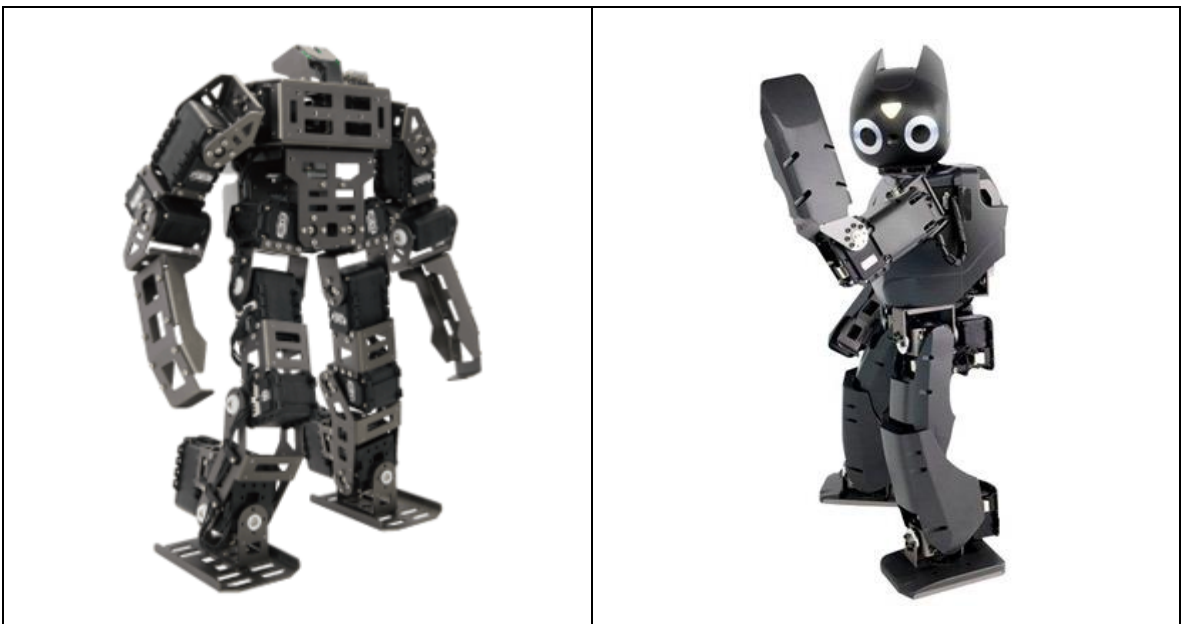


Ilustración 12. BIOLOD y DARwIn-OP

La desventaja con estas aproximaciones, es que se basan en el paradigma de que el robot debe mejorar físicamente para aumentar su similitud con las personas y, en base a esa aumentación física, generar empatía y afinidad en las personas. En lugar de centrarse en qué es lo que el robot puede mover para parecerse a una persona, nos podemos centrar en cómo se mueve el robot, ya que nos permite observar el problema desde otra perspectiva al tratar de dotar al robot de personalidad, es decir, hacerlo más humano desde el punto de vista de su comportamiento, un enfoque desde la psicología humana.

Gracias a la aproximación desde la sicología humana, se puede reducir la fricción que tienen las personas con los robots, ya que se dota de un nueva característica humana que no se ha explorado

anteriormente, y es dotarlo de un comportamiento similar al de una persona usando lenguaje y gestos comunes y relativamente fáciles de reconocer, típicos de una persona de carne y hueso. Con este trabajo se generará un marco de referencia que permita a futuras investigaciones mejorar la implementación del lenguaje corporal sobre cualquier robot humanoide.

4. Descripción de la Solución

4.1. Contextualización

La comunicación no solo se limita a transmitir información a otros a través de palabras, cuando interactuamos con alguien cara a cara, el 93% de la comunicación se hace a través del lenguaje no verbal y el otro 7% es lenguaje verbal, según Albert Mehrabian la comunicación se divide en 3 elementos básicos necesarios para una efectiva y útil comunicación, estos elementos y su porcentaje de uso son: las palabras (7%), el tono de voz (38%) y el lenguaje corporal (55%), estos 3 elementos nos permiten expresar nuestras emociones y actitudes acerca de alguna situación, persona o cosa [11]. Se debe tener en cuenta que para poder enviar el mensaje correcto a nuestro receptor, las palabras que usamos, como las decimos y nuestra expresión corporal mientras hablamos, deben estar en armonía unas con otras, de esta manera el mensaje será percibido correctamente.

El lenguaje no verbal consta de 2 grandes partes que son: las expresiones faciales, aquellos gestos que realizamos con nuestro rostro, y las expresiones corporales, aquellos gestos que realizamos haciendo uso de nuestro cuerpo y postura. Con frecuencia nuestro cuerpo nos delata al tomar posturas o ejecutar movimientos que expresan como nos sentimos realmente frente a cualquier encuentro con otra persona, cosa o animal; este tipo de comunicación permite ver que tanta empatía, familiaridad y confianza tenemos frente a nuestro receptor y como este debe responder frente a los mensajes que le son enviados.

Por medio de estos estudios de psicología sobre la interacción humana a través del cuerpo y los avances en robótica, se busca llevar a un nivel más natural las interacciones de los humanos con los robots, logrando generar en el humano una conexión más emocional hacia el robot y permitiendo que en un futuro que estos hagan parte de nuestra vida diaria, ya sea siendo nuestros asistentes para el desarrollo de tareas que sean complejas o peligrosas para nosotros, o siendo nuestros compañeros de trabajo.

Actualmente muchos humanoides son capaces de hablar y llevar una conversación con una persona, pero la falta de emociones, su incapacidad para expresarlas, no permite que las personas se sientan cómodas o cercanas al robot. La capacidad de poder expresar emociones e interpretar emociones, permite generar un vínculo emocional con las personas, esto es lo que trata de hacer Han, que a través de sus expresiones faciales trata de imitar emociones según el contexto de la conversación y además puede identificar el estado emocional de la persona con la cual está hablando.



Ilustración 13. Robot Han de Hanson Robotics [27]

Al igual que Han, Wakamaru y la androide Geminoid F tratan de imitar emociones haciendo uso de los 3 elementos de la comunicación de Albert Mehrabian [11], pero en este caso lo hacen en el contexto de una obra de teatro, en la cual no solo participan los robots, sino que también hay actores humanos interactuando con los robots [1], [6].

El teatro robótico es una puesta en escena donde cada robot tiene asignado su propio personaje y un diálogo asociado a este, en el cual el robot debe poder imitar la personalidad y expresión corporal de su personaje, buscando que los espectadores reconozcan su rol dentro de la obra y logren identificar las emociones expresadas por el robot durante cada acto. El teatro robótico también busca responder preguntas sobre el significado de la vida humana y su identidad, además de permitir el estudio del ser humano en sí mismo [6].

4.2. Diseño

Esta fase de diseño se dividirá en dos secciones, en la primera sección se hablará del lenguaje corporal básico que permite representar una emoción y en la segunda sección se llevará a cabo el diseño del controlador.

Primera fase: Para el diseño del controlador se deberán tomar las emociones definidas en el trabajo realizado por Andrés Armando de la Peña [28], el cual implementa un gestor emocional, el cual permite al robot simular estados mentales emocionales según la situación en la que se encuentre, este gestor emocional hace parte de los componentes de la arquitectura **EmotiBot** [7], [8].

Las emociones que fueron definidas en el desarrollo del gestor emocional son: alegría, tristeza, ira, miedo y sorpresa, adicionalmente se define un estado emocional neutro, en el cual no se identifica ningún tipo de emoción en el actuar del robot, ya que este estado permite aislar las emociones [[Véase: Anexo 1. Glosario](#)].

Para cada emoción se identificaron las siguientes posturas y movimientos corporales, las cuales poseen características que son comunes a todas las personas sin importar su personalidad, sus costumbres o la situación en la que se encuentren, esto permite identificar el estado de ánimo en el que se encuentra una persona, cada emoción posee un lenguaje corporal básico que permite representarlas, como veremos a continuación [29]–[31], [32].

- Alegría:
 - Los pies se encuentran separados uno a lado del otro y/o se encuentran orientados hacia afuera.
 - Estando de pie
 - Tiene un caminar ágil y vivo
 - Las piernas están rectas
 - La cabeza se encuentra erguida
 - Se saca pecho, hace parte de una postura abierta

- Tristeza
 - Hombros caídos
 - Estando de pie
 - Caminar lento y descuidado

- Flexión mínima de piernas
 - La cabeza se encuentra mirando hacia el piso
 - Se juntan las manos y/o permanecen quietas
 - Postura del cuerpo hacia adelante
 - Retorcer las manos
- Ira
 - Hombros hacia atrás
 - Los pies se encuentran separados y uno delante del otro
 - Si se está sentado, las piernas se cruzan
 - Cerrar los puños
 - Brazos cruzados o extendidos
 - Puede ponerse la cara roja
 - Inclinación del cuerpo hacia adelante
- Miedo
 - Hombros Elevados
 - Inmovilidad defensiva
 - Quedarse helado
 - Pasivo pero preparado para responder
 - Acción defensiva
 - Ataque
 - Huida
 - Estando sentado
 - Las piernas se cruzan
 - Agitación de los pies
 - Brazos cruzados y tensionados
 - Inclinación del cuerpo hacia atrás
- Sorpresa
 - Postura del cuerpo relajada
 - Elevación de los hombros
 - Inclinación de cuerpo hacia atrás
 - Flexión de brazos (Manos al nivel de la cara)



Ilustración 14. Ejemplo de emociones expresadas a través del lenguaje corporal

Además de estos movimientos base para la representación de las emociones, debemos tener en cuenta que cada persona tiene una personalidad y unas costumbres, con lo cual la expresión de las emociones podrá variar según estos dos elementos, es decir, dependiendo de la forma de ser de una persona una emoción estará compuesta por, el lenguaje corporal base especificado para esa emoción y el lenguaje corporal definido por la persona durante el desarrollo de su personalidad.

En el caso del teatro y teatro robótico, cada personaje cuenta con una personalidad y una caracterización dependiendo de su rol en historia, esto permite a los actores evaluar el tipo de expresiones corporales que deberán utilizar durante su actuación y la forma en la que deben

representar la emocionalidad de sus personajes. Dentro de cada obra de teatro los personajes deben interactuar con otros personajes y con objetos de la escena, a través de acciones o movimientos que estén especificados en el guion teatral, indicándole a cada personaje los pasos a seguir, junto con la emocionalidad que deberá representar en cada momento.

Este lenguaje corporal básico definido permitirá la correcta aplicación de expresiones corporales sobre el robot humanoide en el cual se implemente el controlador, permitiendo que sus acciones y movimiento sean más naturales.

Segunda fase: Para el desarrollo de la segunda fase se evaluarán las variables de entrada dadas por los diferentes componentes de la arquitectura **EmotiBot** (Véase: [Ilustración 27. Arquitectura Emotibot](#)), y a partir de estas se definirán las variables de salida esperadas, tomando como metodología de desarrollo para el controlador la teoría de la caja negra.

Los componentes de la arquitectura que serán tomados en cuenta para el proyecto, son aquellos que nos proporcionaran las variables de entrada al controlador de acciones y movimientos, para lograr la ejecución de acciones que permitan interpretar una obra y expresar emociones, se debe tener en cuenta que las variables de entrada dadas serán definidas a través del componente simulado y no serán recibidas desde el mundo exterior.

A continuación se describirán de forma general los componentes tomados desde la arquitectura **Emotibot** (Véase: [Ilustración 27. Arquitectura Emotibot](#)), primero se encuentra el modulo descriptor del sub-sistema, es el que se encarga de representar los sucesos que ocurrirán en el mundo exterior y como el robot actor deberá responder a ellos, para el proyecto se simularán los componentes de teatro, descriptor del guion y descriptor de personajes.

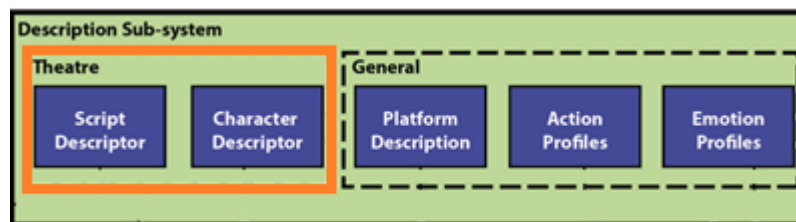


Ilustración 15. Módulo descriptor del sub-sistema

El segundo es el módulo de creencias del sub-sistema, es el que representa el estado interno del robot actor a la hora de tomar decisiones sobre el mundo externo, para el proyecto solo será tomado en cuenta y simulado el componente de gestión emocional del robot, que nos proporciona el estado emocional del robot actor y la intensidad de ese estado.

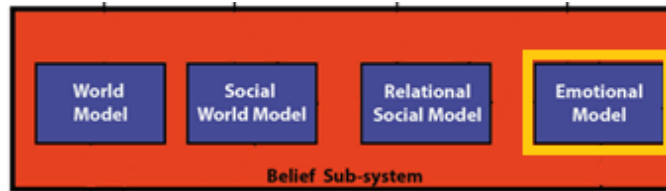


Ilustración 16. Módulo de creencias del sub-sistema

Estos componentes que se encuentran conectados al controlador de acciones y movimientos y nos proporcionan las siguientes variables de entrada:

- Descriptor del guion
 - Dialogo: es un texto, que contienen lo que el robot actor debe decir en cada momento de la obra.
 - Acción: es un texto, con el nombre de la acción a ejecutar.
 - Parámetros propios de la acción: elementos propios de cada acción.
- Descriptor de personajes:
 - Describe la identidad y caracterización del personaje, este componente será simulado dentro del mismo controlador, ya que solo se cuenta con un personaje para la obra, esto dará el punto de partida para mejorar la expresividad a partir de los movimientos base.
- Gestor emocional
 - Emoción: es un texto, con el nombre del estado emocional.
 - Intensidad: es un valor decimal entre 0 y 1, donde 0 representa un estado emocional neutro y a media que aumenta el valor de la intensidad la emoción se hace más intensa y más notoria.

Con estas variables de entrada se definió que la salida del módulo controlador sería movimientos o acciones especificados por ángulos y velocidades, dados en radianes y radianes por segundo. Se busca analizar en primera instancia las entradas y salidas del controlador, ya que de esta manera se

puede ver la interacción del controlador con su entorno sin importar como funciona internamente, lo que permitirá que el controlador pueda ser implementado a través de diferentes enfoques, buscando que el acercamiento a acciones más naturales y cada vez más humanas.

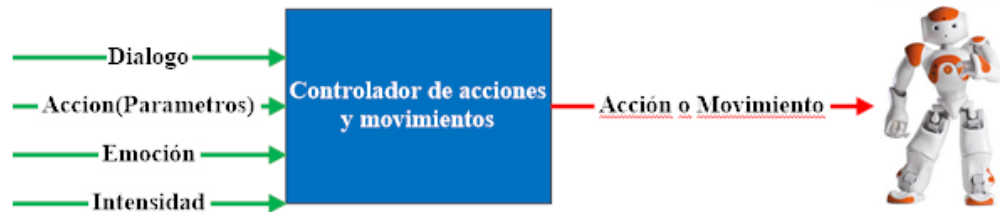


Ilustración 17. Entradas y salidas del controlador

Una vez definidas las variables de entrada y salida del controlador, se definen para este proyecto los componentes internos que tendrá el controlador de acciones y movimientos, y se especifica la comunicación que este tendrá con los componentes de la arquitectura **Emotibot** ([Véase: Ilustración 27. Arquitectura Emotibot](#)), teniendo en cuenta a que módulo de la arquitectura pertenece el controlador que se desea desarrollar durante este trabajo de investigación.

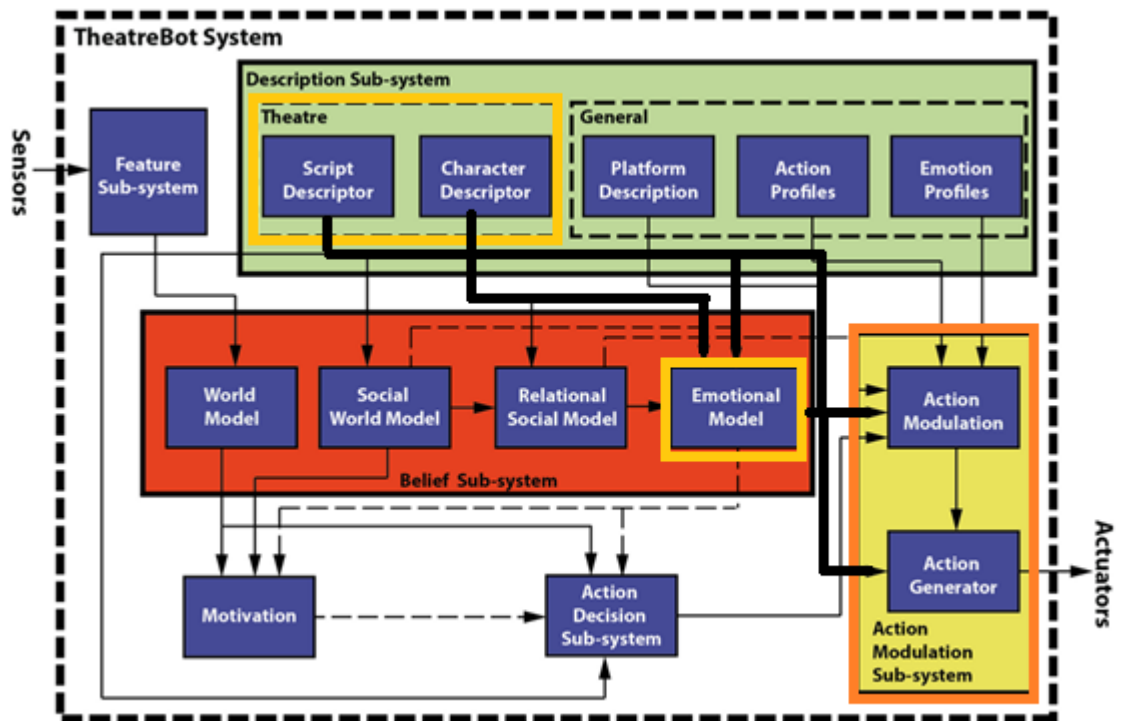


Ilustración 18. Comunicación componentes [7], [8]

El módulo de la arquitectura al cual pertenece el controlador de acciones y movimientos, es el módulo de modulación de acciones del sub-sistema y es el que maneja la comunicación con los efectores del robot actor y le permite interactuar con el mundo exterior.

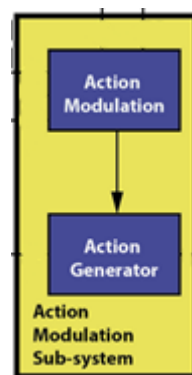


Ilustración 19. Modulo modulador de acciones del sub-sistema

En la siguiente ilustración se observa cómo quedará la composición interna de cada uno de los componentes que interactúan dentro del sistema a desarrollar, dentro del Descriptor del Guion y el

Gestor emocional encontraremos las variables de entrada al controlador, que están representadas por las cajas rojas. Dentro del controlador se definieron dos componentes, el primero, el modulador es el encargado de ajustar los ángulos y velocidades de la acción o movimiento según la intensidad y la emoción dada, el segundo, el ejecutor es el responsable de transmitir y ejecutar la acción modulada al robot. Estos últimos dos componentes se detallaran más durante la fase de desarrollo. Para poder ejecutar la acción de forma más natural y humana de han definido tres tipos de parámetros que afectarán a la acción o movimiento, de esta forma

- **Parámetros propios de la acción:** son dados por el Descriptor del Guion, estos parámetros dependen del tipo de acción a realizar y no se modulan, sino que pasan directamente al ejecutor.
- **Parámetros modulados:** son los parámetros de la acción que pueden ser modificados, es por esto que son parámetros opcionales y pueden o no ocurrir durante la ejecución de la acción.
- **Parámetros adicionales:** estos parámetros son dados por la personalidad del personaje, en este caso estos parámetros adicionales permiten ajustar la acción o movimiento base.

Cada variable fue clasificada según sus características y la influencia sobre el controlador, por un lado tenemos las variables **Dialogo y Parámetros Acción**, están identificadas con las flechas rojas, estas variables son aquellas que no deberán ser modificadas y se comunican directamente con el ejecutor de acciones y movimientos, las variables **Acción, Emoción e Intensidad**, que se encuentran identificadas por las flechas negras, representan aquellas variables que definirán las modulación de las acciones y movimientos y las variables **Parámetros Modulados y Parámetros Adicionales**, se encuentra identificadas por las flechas amarillas, estas representan las variables de entrada al ejecutor con la modulación de las acciones ya definida.

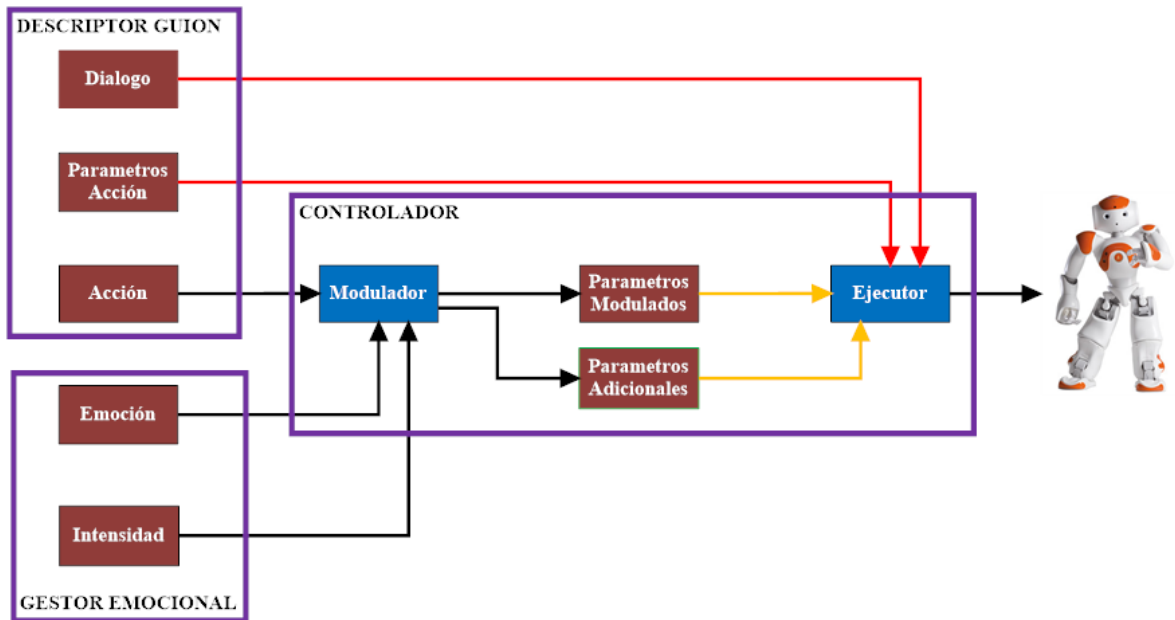


Ilustración 20. Diseño controlador, entradas y salidas

4.3. Desarrollo

Para el desarrollo de esta fase se debe tener en cuenta que el controlador será implementado sobre el robot humanoide NAO [[Véase: Anexo 1 Glosario](#)], con lo cual la aplicación le lenguaje corporal humano definido en la fase de diseño [[Véase: 4.2. Fase de Diseño](#)] dependerá de la capacidad motriz del robot para ejecutarlos.

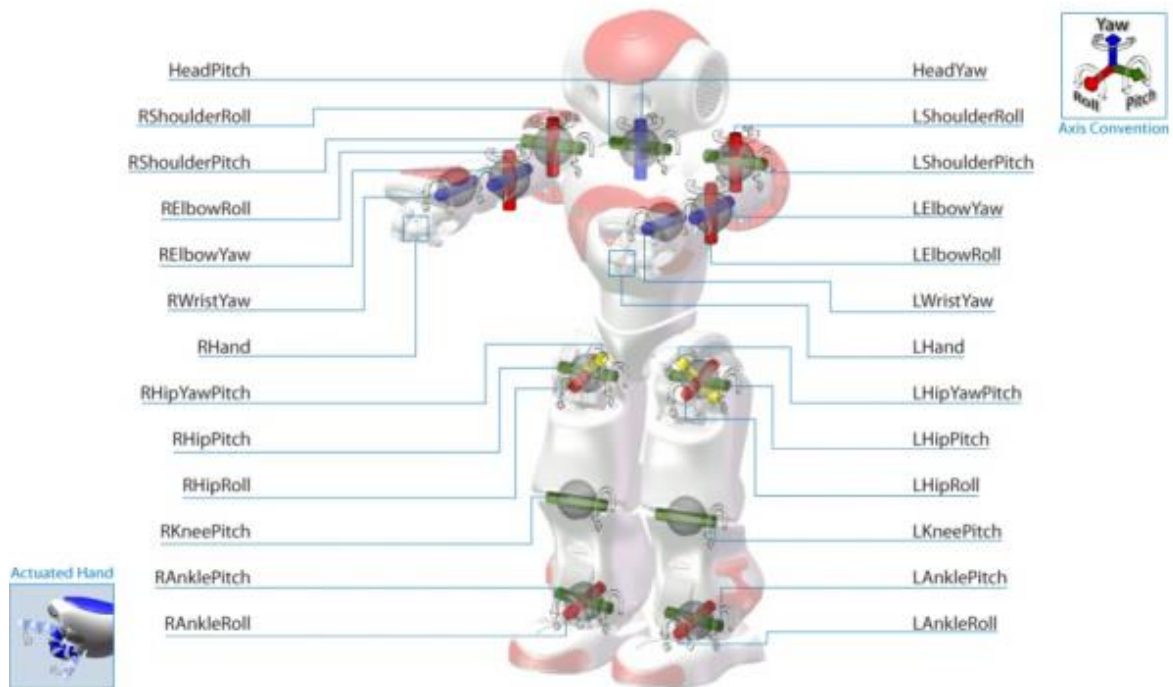


Ilustración 21. Robot Nao cadenas y articulaciones cinemáticas [33].

A través del uso de las herramientas de Aldebaran Robotics y ROS, se evaluaron de forma rápida los siguientes aspectos, primero, las capacidades motrices del robot en términos de los grados de libertad y movimiento que posee [33], segundo, la aplicación en el robot de los movimientos base definidos [[Véase: 4.2. Fase de Diseño](#)]. Gracias a los resultados obtenidos en ésta evaluación, se evidenció que la sola aplicación de los movimientos base sobre el robot no es suficiente para identificar el estado emocional del mismo y su imitación carece de expresividad.

Debido a falta de expresividad en el robot al tratar de imitar movimientos base, se ve la necesidad de crear la personalidad del personaje de la obra de teatro robótico, ya que este proyecto busca que el robot actor imite de forma natural el lenguaje corporal humano y se evidencien sus emociones durante su actuación. Así, se creó una personalidad explosiva y bipolar que generara en el robot la mayor cantidad de emociones, esta caracterización del personaje permite una mayor exageración en la expresividad mientras se ejecutan movimientos y acciones. [[Véase: Anexo 3.Descripción del personaje](#)].

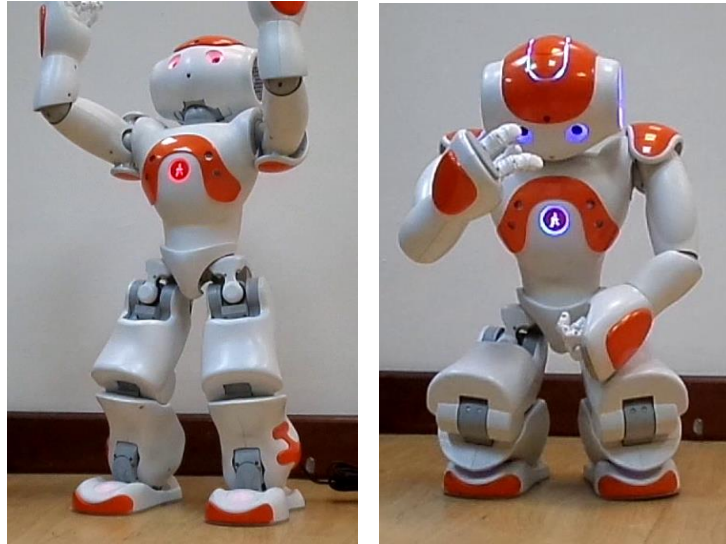


Ilustración 22. NAO expresando ira y tristeza

Ya completado el primero paso, donde se tienen definidas las variables de entrada al controlador, las cuales se encontraran determinadas por el componente simulado del descriptor del guion, es decir, no se tendrá en cuenta ningún tipo de estímulo del mundo externo, sino que las variables ya estarán definidas por el componente simulado, y adicionalmente ya se tienen identificadas las posibles variables de salida del controlador.

El siguiente paso es definir, como se desarrollara internamente cada uno de los componentes del controlador de acciones y movimientos, tanto el modulador, como el ejecutor. Recordando que el componente modulador es el que permitirá modificar o variar los movimientos base y definirá la expresividad de las acciones y movimientos, para desarrollar internamente este componente se deben analizar el tipo de algoritmos que sea capaces de generar el lenguaje corporal con una determinada modulación, según la emoción e intensidad de entrada definidas. Por otro lado también se deberá analizar cómo se llevara a cabo el desarrollo interno del componente ejecutor, que en este caso es el encargado de comunicarse directamente con el NAO y ejecutar las acciones o movimientos dados.

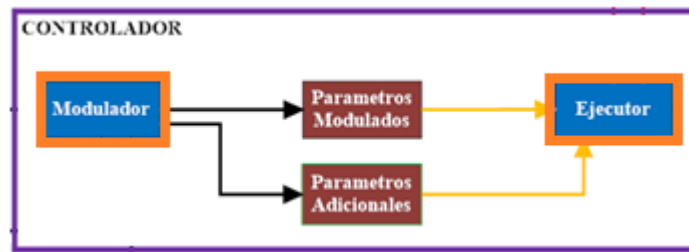


Ilustración 23. Modulo controlador de acciones y movimientos

Con base en lo anterior, se determinó que los siguientes algoritmos podrían ser utilizados para el desarrollo del componente modulador y permitirían modular el lenguaje corporal del robot de una forma más humana. A continuación, se describirá el proceso que se llevó con cada uno de los algoritmos a la hora de querer implementarlos como base para la modulación de acciones dentro del componente modulador y si los resultados obtenidos fueron o no los esperados.

4.3.1. Aprendizaje de Maquina

El objetivo de hacer uso de estos algoritmos, fue la búsqueda de poder desarrollar un sistema que pueda cambiar su comportamiento de manera autónoma a través de su experiencia. Para esto se evaluaron los siguientes algoritmos

- **Árbol de decisión:** [[Véase: 1. Conceptos Fundamentales](#)] fue el primer algoritmo en evaluarse para el desarrollo del componente modulador de las acciones ([Véase: Ilustración 23. Modulo controlador de acciones y movimientos](#)) y también el primero en descartarse, ya que el árbol de decisión es una estructura binaria, que trata de clasificar la entradas en alguna clase definida, para este caso la estructura binaria del árbol debería ser cambiada a una estructura de árbol n-ario, ya que los atributos que compondrían la entrada, pueden tomar más de dos valores por nivel del árbol, lo que aumentaría la complejidad del árbol, ya que a medida que se llegarán a agregar más emociones y acciones al árbol, este aumentaría de tamaño en amplitud.

En este algoritmo las salidas esperadas se encontrarían en las hojas del árbol y la entrada sería la que tendría que ser clasificada, lo cual no hace sentido a la hora de querer

solucionar el problema de modulación de acciones y movimientos, además de que el objetivo del controlador es, hacer uso de las entradas para modular los movimientos.

Para este algoritmo no se realizó ninguna prueba de concepto, ya que fue descartado durante su estudio y análisis, es decir, que este acercamiento no sirve para ser aplicado al componente modulador.

- **Red neuronal – Perceptrón Multicapa:** [[Véase: 1. Conceptos Fundamentales](#)] este algoritmo fue seleccionado por que trata de imitar el cerebro animal, además de que tiene la capacidad de aprender a partir del aprendizaje igual que lo hacen los animales y humanos.

Para la aplicación de la red neuronal se evaluaron diferentes tipos de librerías que podían ser utilizadas en el desarrollo, la primera consideración, es que haya sido desarrollada para el lenguaje C++, que tenga una buena documentación y esta esté actualizada, lo que permitiría implementar fácilmente la red neuronal para el desarrollo del modulador de movimientos. Teniendo en cuenta estos aspectos, se decidió utilizar el conjunto de librerías de OpenCv, en el cual ya se encontraba implementado un perceptron multicapa, los algoritmos de entrenamiento de la red y un algoritmo de predicción del error propagado.

Las primeras pruebas con la red neuronal de OpenCV permitieron evaluar la forma en la cual se deberían proveer los datos de entrada, en este caso la red solo es capaz de recibir datos de entrada numéricos, con lo cual se le da identificadores numéricos a cada variable de entrada, de esta forma la red podría identificar un patrón de entrada y asociarlo a la salida deseada.

Luego de identificar numéricamente cada valor de entrada, se define el conjunto de valores de salida deseados de cada entrada, que como ya habíamos mencionado en la fase de diseño [[Véase: 4.2. Fase de Diseño](#)], son acciones o movimientos, que están compuestos por las listas de ángulos y velocidades de cada una de las articulaciones del robot. Durante estas pruebas se identificaron los siguientes dos inconvenientes al tratar de utilizar la red neuronal, el primero, fueron las limitaciones de la red neuronal a la hora de generar datos de salida complejos, es decir, era deseable obtener como variable de salida una lista de ángulos y velocidades de cada articulación, el segundo inconveniente se vio a la hora de tratar de entrenar la red neuronal, ya que no se tenían suficientes datos de entrenamiento, cuando se

definen las posibles entradas y los resultados correspondientes, se observa que cada conjunto de entrada posee solo un tipo de salida esperada, esto es debido a que en la definición de movimientos para el personaje, no se tienen en cuenta estímulos externos, por lo tanto no existen un contexto en cual se pueda variar un mismo movimiento.

Estas pruebas se realizaron teniendo en cuenta una sola articulación del robot y un solo ángulo como salida esperada para el conjunto de entradas, al probar los resultados dados por la red neuronal se podía ver que el valor del error, después de entrenada la red no era el esperado, por lo cual se concluye que el conjunto de datos de entrenamiento no es correcto, ya que la red tratar de generar una función que se aproxime a la mayor cantidad de datos resultantes, en este caso se observa, que al colocar los ángulos de salida esperados dentro de un espacio de coordenadas, los valores se encuentran de forma muy dispersa y la aproximación a través de algún tipo de función es errónea, ya que solo logra aproximarse a algunos datos.

Este algoritmo fue rechazado debido a las limitaciones de las redes neuronales existentes, la principal limitación por la que se rechazó este algoritmo, es la incapacidad de generar estructuras de salida complejas, es decir, no se puede obtener una multi-lista con los nombres de las articulaciones, los ángulos para cada movimiento y las velocidades de cada articulación. El otro aspecto por el cual se rechazó el uso de la red neuronal para el componente modulador ([Véase: Ilustración 23. Modulo controlador de acciones y movimientos](#)), es que a la hora de aplicar la prueba de concepto, las acciones y movimientos de salida producidos por la red no eran los esperados y no son coherentes con las emociones dadas.

En ambos casos los algoritmos fueron rechazados debido a que las implementaciones existentes no cumplían con las necesidades del proyecto y para esto se debería generar una nueva implementación de los algoritmos, lo cual se sale del objetivo del proyecto.

4.3.3. Cinemática

Al ver que los primeros dos algoritmos de acercamiento no fueron exitosos a la hora de tratar de resolver el problema de modulación de movimientos, se decide estudiar y utilizar las cinemáticas que se encuentran definidas para el robot Nao [33], tomándolo como un primer acercamiento al

tratar de resolver la pregunta planeada para este trabajo de grado. A continuación se hará una introducción a las cinemáticas del robot NAO de Aldebaran [[Véase: Anexo 1.Glosario](#)].

El rango operacional de cada articulación en el NAO es dada en radianes y ángulos [[Véase: Anexo 5. Articulaciones y rangos del NAO](#)], el centro de masa de cada enlace/articulación es representado por un punto en el espacio de tres dimensiones, donde cada articulación asume una postura inicial en cero.

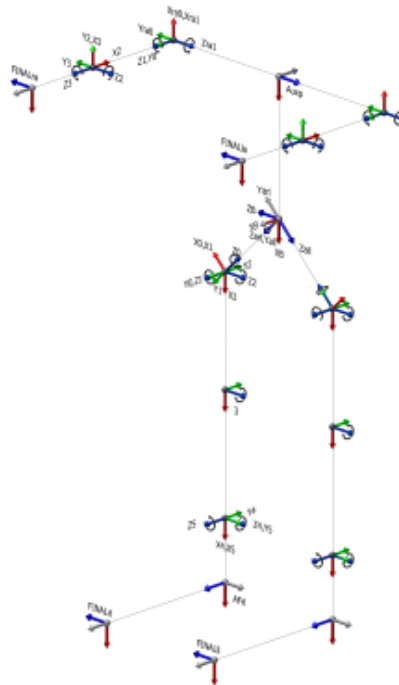


Ilustración 24. Cinemática robot NAO

Las ecuaciones de cinemática inversa del NAO definen la forma en la cual debe moverse cada articulación dentro del espacio de tres dimensiones, particularmente se define la relación entre los puntos en el espacio con respecto a la posición y orientación de los mismo, además permite determinar los valores de cada articulación en el espacio articulado de una cadena cinemática. A continuación se identifican las ecuaciones que controlan los diferentes componentes del robot para poder generar los movimientos, esta información es tomada desde la página de documentación del NAO [33].

El balanceador del cuerpo es una generalización de la cinemática inversa que ocupa del control cartesiano y el control de cada articulación, el balance, la redundancia y la prioridad de tareas. La siguiente es la definición de la ecuación cuadrática estándar

$$\min \frac{1}{2} \|Y - Y^{des}\|_Q^2 \text{ tales como } \begin{cases} AY + b = 0 \\ CY + d \geq 0 \end{cases}$$

Donde,

- Y , vector desconocido
- Y^{des} , la solución deseada pero no necesariamente factible
- Q , noma cuadrática
- A, b, C y d , matrices y vectores que expresan restricciones de igualdad y desigualdad lineal

Cada efector del NAO puede ser controlado individualmente o en paralelo con otros, el modelo geométrico utilizado para definir la posición de cada efector está dado por [33],

$$(X = [P_x, P_y, P_z, P_{wx}, P_{wy}, P_{wz}])$$

Esta posición es relativa al espacio absoluto, en función de todas las posiciones de la articulación ($q = [q_1, \dots, q_n]$).

$$X = f(q)$$

La cinemática directa del modelo es la derivada de la anterior ecuación con respecto al tiempo.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= \frac{\delta}{\delta t} f(q) \dot{q} \\ &= J(q) \dot{q} \end{aligned}$$

Donde $J(q)$ es la matriz Jacobiana.

Para poder tener control sobre el efector y deducir la posición de la articulación, se utiliza el siguiente modelo cinemático.

$$\dot{q} = J^{-1} \dot{X}$$

La siguiente ecuación de dinámica inversa permite limitar el hallar el torque de cada articulación, teniendo en cuenta las limitaciones del robot

$$\tilde{M}(q)(\ddot{q} - G) + N(q, \dot{q}) = \tau + J^T(q)W$$

$$\tilde{M}(q)G + \tau + J^T(q)W_{contact} = 0 \text{ [33]}$$

Donde:

- (q, \dot{q}, \ddot{q}) , posición, velocidad y aceleración de todas las articulaciones.
- $\tilde{M}(q)$, matriz de inercia de cada cuerpo.

- G , vector de gravedad
- $N(q, \dot{q})$, matriz de asociación con la Coriolis y fuerza centrífuga
- τ , el torque de la articulación, este valor es el que se quiere evaluar
- $J(q)$, Matriz Jacobiana de todas las articulaciones
- W , las fuerzas aplicadas en cada cuerpo

Seguidamente al proceso de identificación de las cinemáticas del robot NAO, se desarrolla una prueba básica que permite ver su aplicación sobre los movimientos del robot, dando como resultado la correcta modulación de los movimientos y la capacidad para controlar cada articulación del NAO.

Se puede observar que el acercamiento a través de las cinemáticas del NAO, permite generar acciones y movimientos que sean coherentes con las emociones dadas por el guion y adicionalmente las acciones y movimientos corresponden a las salidas esperadas, es decir, que las acciones y movimientos definidos para la personalidad del personaje de la obra, son coherentes a su caracterización y la expresividad esperada. Por esto se selecciona este acercamiento como el más acertado para el desarrollo interno del componente modulador de modulo controlador.

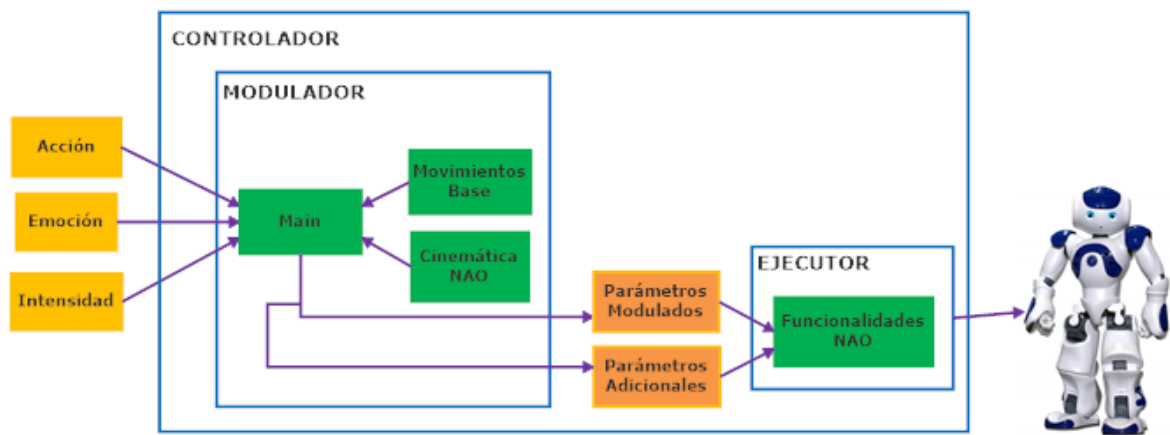


Ilustración 25. Diseño interno los componentes del controlador

Después de evaluar cada uno de los algoritmos, se identifica el que más se acerca a responder la pregunta del proyecto y que será utilizado en la implementación del componente **modulador** del controlador, con esta información se inicia la fase de implementación del controlador y el componente que simularía las entradas de los demás componentes de la arquitectura.

Se definieron los siguientes componentes del prototipo y la forma en la cual se conectan. El paquete Script Descriptor es el módulo *dummy* que simula la integración con los componentes de la arquitectura **EmotiBot** [7], [8], los otros dos paquetes corresponden a los módulos internos del controlador de acciones y movimientos. Como vemos en el diagrama de componentes el paquete modulador es el encargado de hacer uso de los demás componentes.

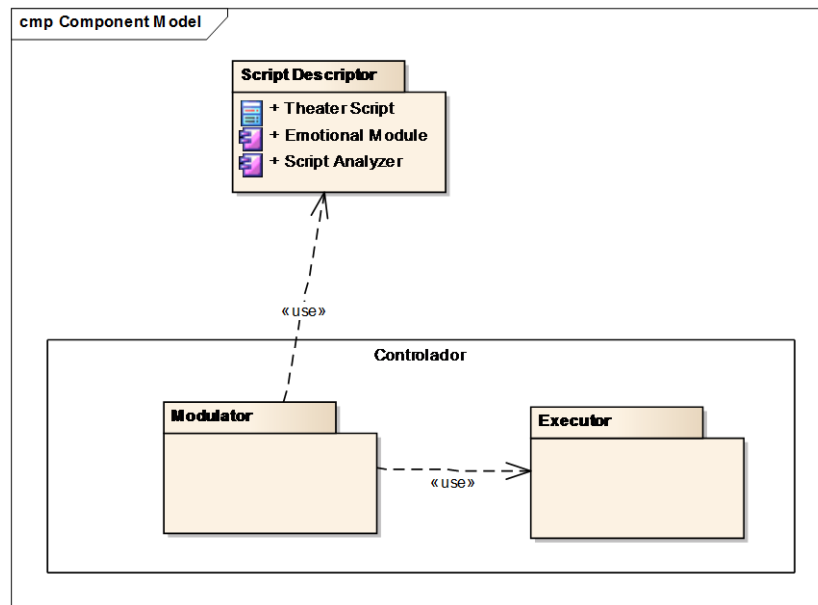


Ilustración 26. Diagrama de Componentes del proyecto

A continuación se muestra el diagrama de clases, donde se pueden ver las clases implementadas en el controlador, los atributos y funcionalidades de cada clase y la comunicación entre las clases. Este diagrama muestra una vista general de cómo está compuesto internamente el controlador de acciones y movimientos y sus respectivas funcionalidades.

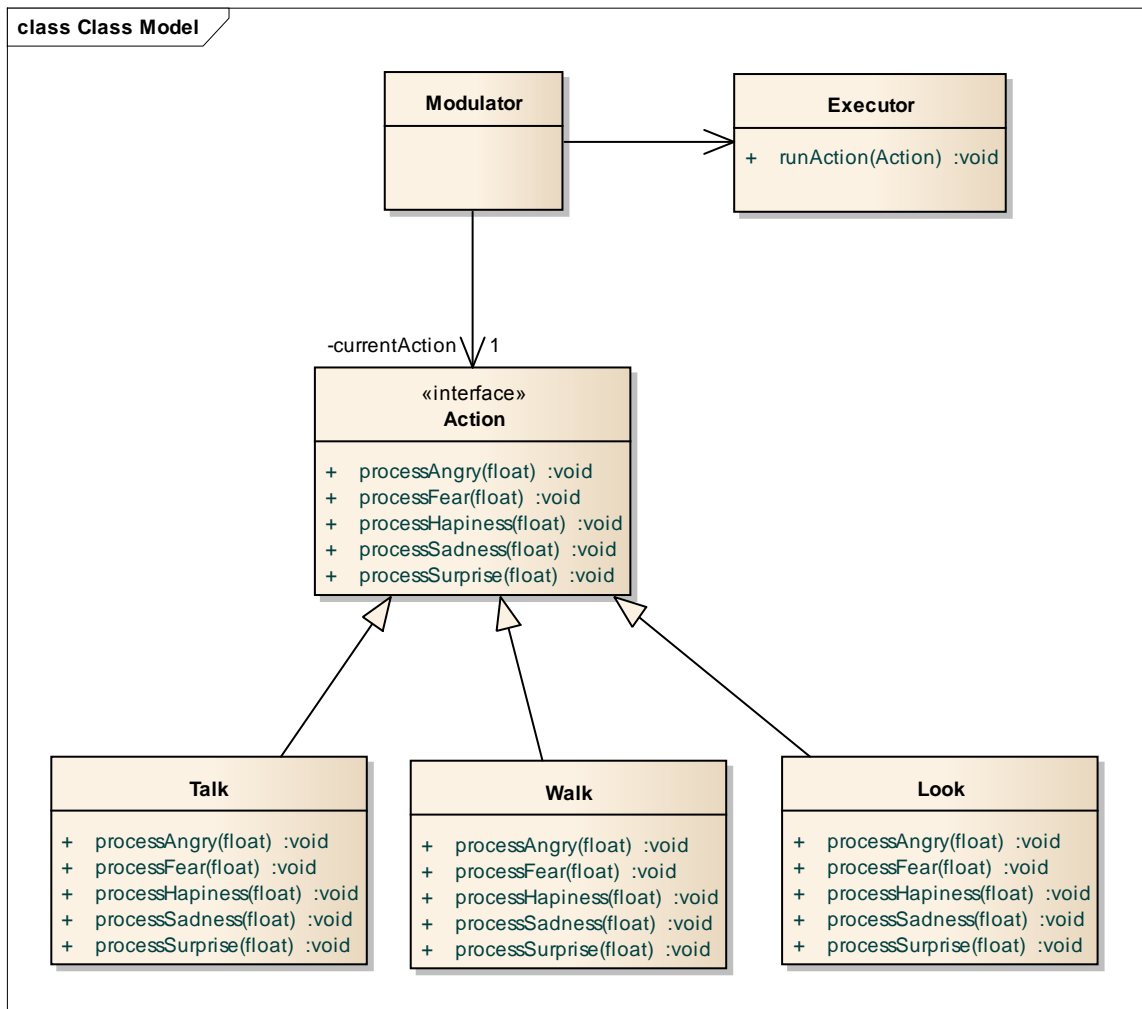


Ilustración 27. Modelo de clases del controlador

4.4. Integración

Se utilizara un módulo *dummy* que simulará la conexión con los componentes de la arquitectura **EmotiBot** [7], [8] y sus respectivas entradas. Para efectos del proyecto solo es necesario simular el modulo Descriptor del Guion, Descriptor de Personajes y el Gestor Emocional.

El descriptor del guion representa la historia de la obra, las acciones de cada personaje y los sucesos en cada momento de la obra, por otro lado el gestor emocional depende de los sucesos de ocurren dentro de la obra, es decir, que según cada evento, el gestor será el encargado de generar las emociones internas para el robot actor.

Para el caso del módulo que describe al personaje, se tiene en cuenta el tipo de personalidad que se definió dentro de la historia, lo cual permitió durante la fase de desarrollo caracterizar al personaje con el lenguaje corporal, gestos y posturas, que correspondían a su personalidad. Este módulo no proporciona ninguna variable de salida al *controlador*, para este proyecto, la personalidad del personaje viene inmersa dentro del modulador de acciones, el cual está en capacidad de manipular el actuar del personaje, según el contexto de la obra teatral.

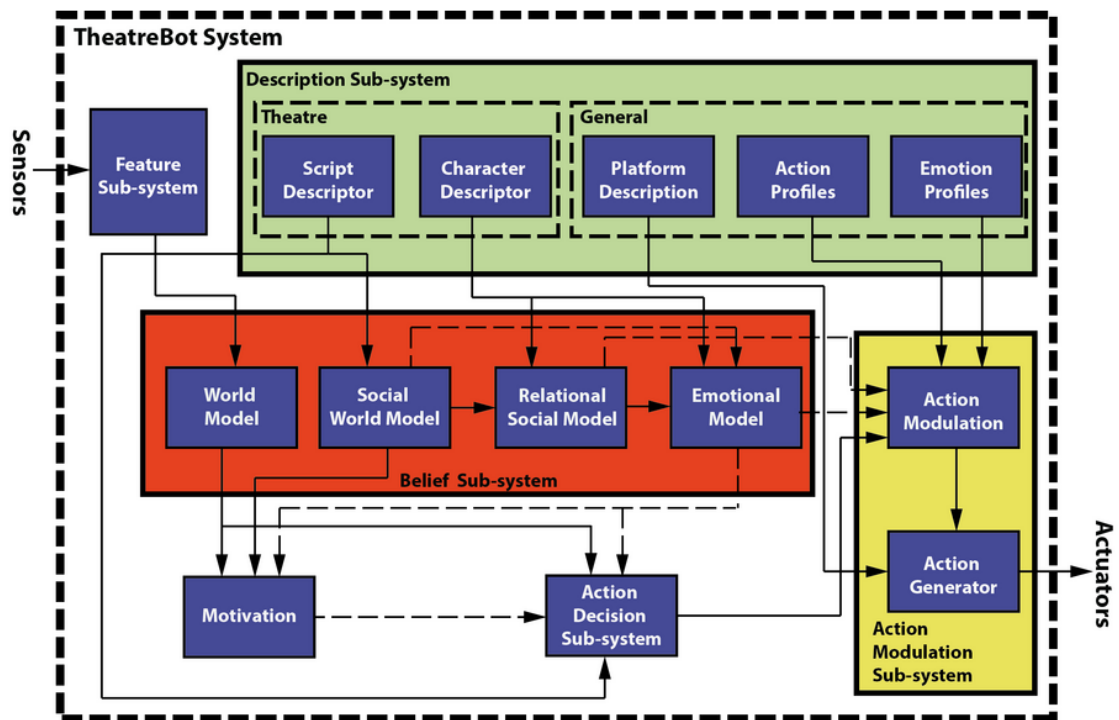


Ilustración 28. Arquitectura EmotiBot

5. Validación

Para lograr llevar a cabo la puesta en escena del robot, se hizo necesario generar un monologo teatral [[Véase: Anexo 2. Guion Teatral](#)], en el cual el robot pudiera representar la mayor cantidad de emociones definidas, adicionalmente se cuenta con la descripción de la personalidad y caracterización del personaje [[Véase: Anexo 3.Descripción del Personaje](#)].

El robot será grabado realizando la puesta en escena, este realizará un monólogo que tendrá los siguientes escenarios:

- Tristeza
- Alegría
- Ira
- Miedo
- Sorpresa

A cada espectador se le dará el video donde el robot está actuando, una breve descripción de la historia acompañada de los estados anímicos en aparecerán durante la obra. Al finalizar la obra, se les dará la siguiente encuesta que deberán llenar, la cual evaluara el punto de vista de los participantes en aspectos como: familiaridad, empatía y humanidad, la encuesta tiene preguntas con el siguiente estilo y para cada aspecto:

Aspecto de familiaridad: es la impresión positiva o negativa, emocional e intuitiva, que refleja aceptación hacia los robots.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿El robot le parece agradable o desagradable? (6 Puntos)					
¿Cree usted que la existencia del robot es una amenaza a su humanidad? (7 Puntos)					
¿Se sentiría cómodo al tener alguna interacción o conversación con el robot? (7 Puntos)					

Aspecto de empatía: se entiende como la conciencia de los sentimientos, necesidades y preocupaciones ajenas.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Logro entender los sentimientos del personaje? (20 Puntos)					
¿El personaje género en usted algún tipo de emoción? (10 Puntos)					
¿Usted también mataría al asesino? (10 Puntos)					

Aspecto de humanidad: es la similitud que tiene con los humanos en apariencia, movimientos, emociones y si tiene una mente propia.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Identifico algún tipo de personalidad en el personaje? (10 Puntos)					
¿Los movimientos y acciones del robot son coherentes con las emociones que expresa? (15 Puntos)					
¿Los movimientos y acciones que el robot realiza son fluidos? (15 Puntos)					
Preguntas Abiertas					
¿Qué emociones logró identificar en el robot durante la obra?					

¿Qué característica tiene la personalidad del personaje?	
¿Qué le falta al robot para poder expresar mejor sus emociones?	

A continuación, nos gustaría saber su percepción acerca de la posibilidad de incluir robots en el diario vivir.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de educación e investigación?					
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de entretenimiento?					
¿Asistiría usted a una obra de teatro donde actúen humanos y robots?					
¿Cree que el uso de robots en el diario vivir ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas?					
¿Cree que los robots son solo maquinas creadas para ayudar en tareas repetitivas y peligrosas?					
¿Qué tan de acuerdo estaría a trabajar con un robot como su compañero?					

Al tener una escala de 1 a 5, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 es totalmente de acuerdo, el espectador podrá dar su opinión sobre la familiaridad, humanidad y empatía que le genero el robot durante la ejecución de obra teatral. Sobre cada pregunta se tendrá una puntuación, y al final la actuación del robot tendrá una máxima puntuación de 100, dividida en los siguientes porcentajes:

- Familiaridad: 20%
- Humanidad: 40%
- Empatía: 40%

Y la puntuación se calificara así:

- 80 a 100 puntos, la actuación del robot fue excelente.
- 60 a 79 puntos, la actuación del robot fue buena.
- 30 a 59 puntos, la actuación del robot fue regular.
- 0 a 29 puntos, la actuación del robot fue deficiente.

Adicionalmente se agregaron 3 preguntas abiertas en el aspecto de humanidad, para evaluar con más detalle la opinión del espectador con respecto a la emocionalidad que el robot trata de imitar, y un conjunto adicional de preguntas relacionadas con el uso de robots en nuestro diario vivir, éstas últimas preguntas permitirán analizar qué tanta aceptación tendrán en futuro los robots en las sociedades

6. Validación y Resultados

Para llevar a cabo la validación del controlador implementado, se generó un video en el cual se ve al robot interpretando una obra de teatro corta [[Véase: Anexo 2. Guion Teatral](#)] y hace uso del lenguaje corporal para representar las emociones que le son generadas por el descriptor de la obra. Este video se le mostro a un conjunto de personas de diferentes edades y sexo, buscando obtener a través de una encuesta [[Véase: Anexo 4. Modelo Encuesta](#)] su percepción de las emociones del robot a través de su lenguaje corporal.

La encuesta se realizó a un conjunto de 21 personas, de género tanto masculino como femenino y de diferentes edades que oscilan entre los 17 y 60 años.

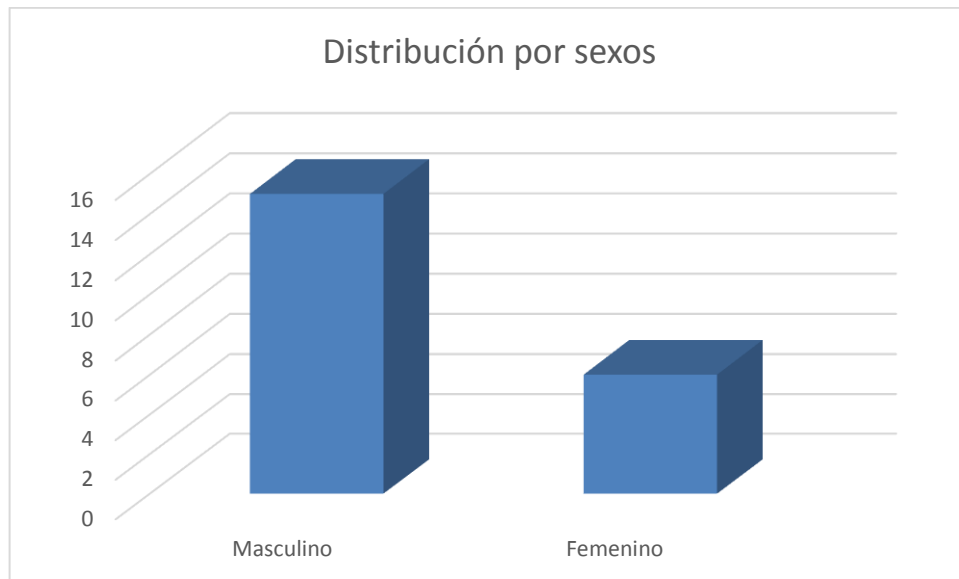


Ilustración 29. Género población evaluada

La distribución de edades de la población encuestada según el género es:

Genero	Menos de 20 años	Entre 20 y 29 años	Entre 30 y 39 años	Entre 40 y 49 años	Más de 50 años
Hombres	0	10	2	2	1
Mujeres	1	2	2	0	1

Figure 1. Distribución por edad

Los resultados obtenidos en las encuestas después de ver el video fueron los siguientes:

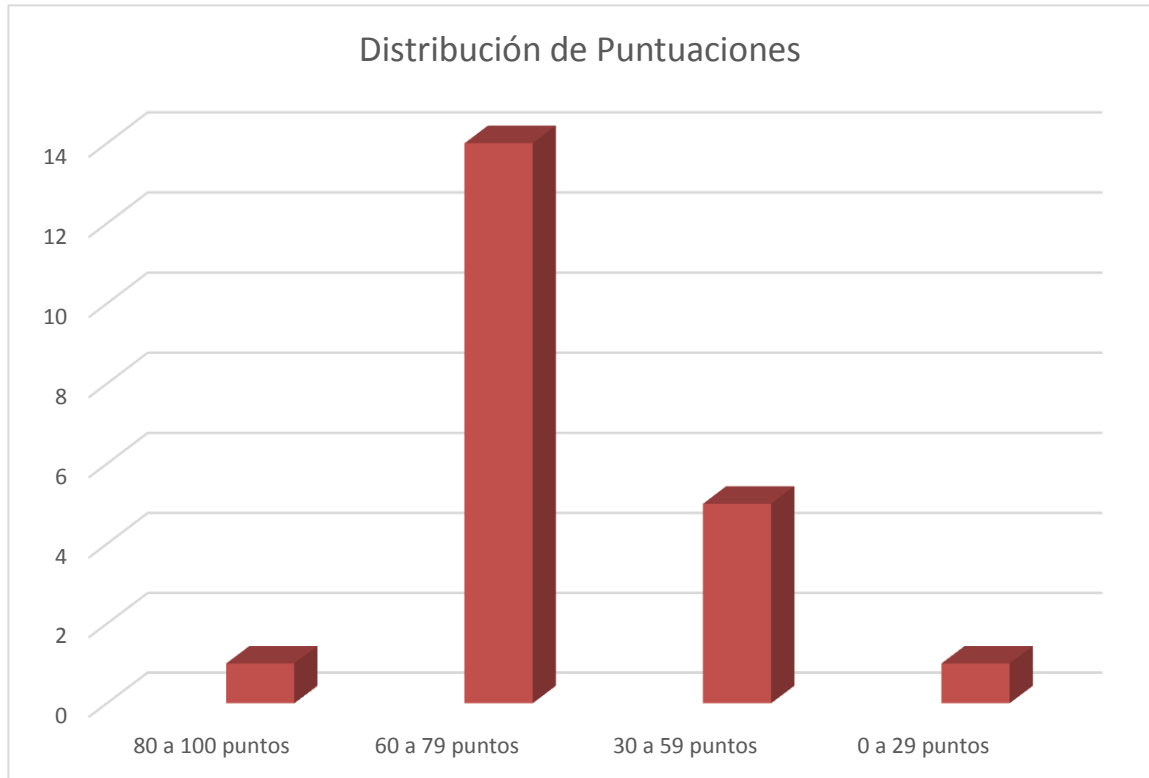


Ilustración 30. Puntuaciones actuación robot

Se puede observar que 14 de los encuestados concuerdan con que la actuación de robot fue buena, aunque todos argumentan la posibilidad de mejorar la fluidez de los movimientos del robot, además de agregar una mayor cantidad de movimientos y acciones para la expresión de las emociones. También en la encuesta se menciona la falta de expresiones faciales y su importancia para poder entender mejor las emociones del robot.

Adicional a conocer la cantidad de encuestados que se ubica en cada uno de los niveles de la escala de puntuación que se defino en la sección de validación [[Véase: Sección 5. Validación](#)], debemos conocer la desviación que presentan estos datos en su distribución con respecto a la media aritmética de la distribución, es decir, debemos conocer que tan alejadas de la media se encuentran

los datos. Para esto se evaluara la desviación de los datos, en cada uno de los niveles de puntuación y seguidamente la desviación total de todos los datos.

Niveles de Puntuación	# de datos	Media aritmética	Desviación estándar
80 a 100 puntos	1	87,6	0
60 a 79 puntos	14	69,5	5,3
30 a 59 puntos	5	46,28	9,7
0 a 29 puntos	1	25,6	0
Todos los puntajes	21	62,78	15,22

Figure 2. Media y Desviación Estándar

En el caso de los niveles de puntuación que solo tenían un dato dentro del sub-conjunto es lógico observar que no existe desviación, en el caso del nivel de puntuación que va de 60 a 79 puntos, observamos que es donde existe mayor cantidad de datos y la desviación con respecto a la media es de 5.3, este sub-conjunto es el que tiene la menor desviación ya que los datos se encuentran mucho más cerca de la media aritmética que es 69,5. Por otro lado observamos que al evaluar a nivel general la distribución de todos los datos con respecto a la media, la desviación es mucho más grande.

Dentro de la población evaluada tenemos que 15 eran del sexo masculino y 6 eran mujeres, dentro de los cuales tenemos que más de la mitad de las mujeres encontraron que la actuación del robot fue buena y excelente, es decir, se encuentran dentro del sub-conjunto de puntuaciones de 60 a 79 puntos y 80 a 100 puntos. Por otro lado se pudo observar que 12 de los participantes hombres creen que el robot tuvo una buena actuación y los otros 4 de la población pensaron que la actuación fue regular. Para el sub-conjunto que mayor cantidad de encuestados tuvo, vemos que la edad promedio

de los hombres es de 30 años y en las mujeres es de 37 años, teniendo en ambos conjuntos de datos una desviación bastante grande.

Niveles de Puntuación	# Hombres	Edad Promedio Hombres	Desviación Edad	# Mujeres	Edad promedio Mujeres	Desviación Edad
80 a 100 puntos	0	No Aplica	No Aplica	1	24 años	0
60 a 79 puntos	11	30 años	12,7	3	37 años	16,3
30 a 59 puntos	4	27 años	5,8	1	31 años	0
0 a 29 puntos	0	No Aplica	No Aplica	1	24 años	0

Figure 3. Distribución por sexos y edad promedio

Recordando que la población evaluada se encontraba entre los 17 y 50 años, se pudo observar en los resultados de las preguntas abiertas que los hombres identifican en menor medida las emociones del robot y las mujeres sienten muchas más empatía hacia el robot e identifican sus estados mentales en la mayor cantidad de momentos de la obra, la emoción que fue más evidente para todos los participantes fue la ira, seguida por la tristeza y el miedo.

Ahora evaluaremos las respuestas a las preguntas abiertas de la población encuestada, esto permitirá conocer el punto de vista de los encuestados sobre la inclusión de los robots en la sociedad y como ven el futuro, en la siguiente tabla se puede observar la tendencia de respuesta de los encuestados, en cada una de las preguntas.

Preguntas	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutro	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de educación e investigación?	10	9	1	0	1
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de entretenimiento?	9	10	1	0	1
¿Asistiría usted a una obra de teatro donde actúen humanos y robots?	8	8	2	1	2
¿Cree que el uso de robots en el diario vivir ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas?	8	9	3	0	1
¿Cree que los robots son solo maquinas creadas para ayudar en tareas repetitivas y peligrosas?	6	4	2	6	3
¿Qué tan de acuerdo estaría a trabajar con un robot como su compañero?	5	4	6	3	3

Figure 4. Distribución de población en preguntas abiertas

Se dividieron las respuestas en tres posturas positiva, negativa o neutra, para definir el porcentaje de población encontrada en cada una de las tres posturas, con respecto a la población total de encuestados.

Preguntas	Postura Positiva	Postura Neutra	Postura Negativa
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de educación e investigación?	90,5%	4,8%	4,8%
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de entretenimiento?	90,5%	4,8%	4,8%
¿Asistiría usted a una obra de teatro donde actúen humanos y robots?	76,2%	9,5%	14,3%
¿Cree que el uso de robots en el diario vivir ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas?	81%	14,3%	4,8%
¿Cree que los robots son solo maquinas creadas para ayudar en tareas repetitivas y peligrosas?	47,6%	9,5%	47,6%
¿Qué tan de acuerdo estaría a trabajar con un robot como su compañero	42,9%	28,6%	28,6%

Figure 5. Porcentaje de distribución de percepción del publico

El 90,5% de los participantes se sienten de acuerdo con el uso de robot en áreas de la educación o entretenimiento, también el 76,2% menciona estar de acuerdo en asistir a una obra de teatro donde participen humanos y robots, por otro lado más del 42,9% los participantes no se sienten cómodos teniendo como compañero de trabajo a un robot y rechazaron totalmente la idea. En promedio el 11,9% de la población encuestada presenta una postura neutra frente a las preguntas realizadas.

Estos resultados nos llevan a pensar que se debe buscar la forma de mejorar esa percepción, implementando cada vez mejor el lenguaje corporal para que su representación se acerque cada vez más a la humana e incrementar la postura positiva frente a querer incorporar más robots en nuestro diario vivir.

En general el acercamiento respondió a la pregunta que se hizo al inicio del trabajo de grado y logro hacer que las personas evaluadas identificaran en el robot una gran variedad de emociones. Se puede decir que este primer acercamiento para el desarrollo del controlador fue exitoso y permitió cumplir con los objetivos planteados, ya que el 67% de la población encuestada encontró que la actuación del robot fue buena.

7. Análisis de Impacto

El desarrollo de la solución busca abrir las puertas hacia nuevas investigaciones en materia de robótica y del ser humano, permitiendo ver desde diferentes enfoques las aplicaciones y usos que se le puede dar a la robótica en nuestro diario vivir. Buscando desde las mismas investigaciones solucionar problemas que logren ayudar y mejorara la calidad de vida de las personas, un ejemplo de esto, es el desarrollo de una neuroprotesis que es controlada por la mente y permite a personas que han quedado tetrapléjicas controlar un brazo robótico con solo imaginar el movimiento [34].

Esta investigación busca incrementar el acercamiento de las personas a estas áreas de estudio, para que sean implementadas desde los colegios y despertar el interés de niños y jóvenes por las ciencias de la computación y la robótica, teniendo en cuenta que estas áreas aplican de forma real los temas que se enseñan en las aulas de clases, adicionalmente buscar el apoyo de la universidad, para fundar semilleros de investigación en robótica que busquen incentivar a los estudiantes a desarrollar ideas que ayuden a las personas. Si este objetivo se logra la posibilidad de llamar la atención de empresas extranjeras que se desempeñen el área de robótica, abriría las puertas para la inversión en investigación y desarrollo, y se logre mejorar el apoyo del ministerio de tecnología, para generar planes de desarrollo de futuras tecnologías emergentes para Colombia.

8. Conclusiones

- Se logra encontrar movimientos del lenguaje corporal humano que sean comunes a todas las personas a la hora de representar emociones, esto permite que se pueda modelar este lenguaje corporal y pueda ser aplicado en el robot humanoide.
- Al poder definir de forma clara las variables de entrada y salida del módulo controlador, se logra generar un diseño sencillo y de bajo acoplamiento del sub-sistema, es decir, que el modulo controlador de acciones y movimientos, puede ser modificado o cambiado y no se afectan los demás componentes de la arquitectura **Emotibot** ([Véase Ilustración 27. Arquitectura Emotibot](#)).
- Adicionalmente, la estructura de clases implementadas del componente modulador del módulo controlador, permite cambiar el algoritmo de modulación, sin afectar el resto de la estructura del controlador de acciones y movimientos.
- Se alcanza el objetivo de lograr diseñar y desarrollar un módulo controlador, que permita al robot recibir un guion teatral e interpretarlo, haciendo uso del lenguaje corporal humano que se le incorpore para el personaje de la obra.
- Al no encontrarse desarrollados los componentes descriptor del guion, descriptor de personajes y gestor emocional, de la arquitectura **Emotibot**, se crearon componentes *dummy* que simule las entradas proporcionadas por estos componentes, esto permite desarrollar el módulo controlador de acciones y movimientos, de tal forma, que cuando sean desarrollados los componentes no existentes, la integración no genere ningún cambio dentro de la implementación del módulo controlador.
- Se logra de forma exitosa realizar la validación del controlador de acciones y movimientos desarrollado para el robot humanoide NAO, consiguiendo que el público evaluará la coherencia de las emociones internas del robot, con el lenguaje corporal humano incorporado para expresarlas.
- La sola utilización de movimientos base del lenguaje corporal humano no es suficiente para que el robot pueda expresar de forma evidente su estado emocional, por esto es necesario incorporar una personalidad, esta le da una caracterización los movimientos base y le da mayor expresividad, obteniendo en el robot una imitación más humana del lenguaje corporal y la facilidad de reconocer sus estados mentales en cada momento dado.
- A pesar de lograr aplicar movimientos con una mayor expresividad en el robot, las limitaciones del mismo impiden una imitación total del algún movimiento o gesto, ya que

en varias ocasiones el robot se caía o perdía el equilibrio, también se observa que si las cinemáticas internas del robot al evaluar las trayectorias de cada articulación identifica alguna colisión, el robot no ejecuta el movimiento.

- Los algoritmos de aprendizaje de máquina que fueron evaluados no proporcionaron un buen acercamiento hacia la modulación de acciones y movimientos, debido a las mismas limitaciones de los algoritmos que ya se encontraban implementados.
- Se pudo observar que los algoritmos de aprendizaje de máquina evaluados podrían tener un mejor uso en desarrollo del módulo que genera las emociones, ya que este módulo tiene por entrada los estímulos externos y en psicología existe una clasificación de los posibles estímulos que genera cada emoción humana.
- Los algoritmos de aprendizaje de máquina no son aplicables en este acercamiento ya que los movimientos y acciones incorporados en el robot, solo se encuentran asociados a un conjunto de entradas dadas. Para futuros acercamientos se deberá definir el contexto en el cual se aplica cada acción, siendo el contexto la variable de entrada que regula las acciones que ya fueron moduladas.
- Después de ver los resultados obtenidos, durante las pruebas de validación del controlador, se pudo observar de cerca las limitaciones que tiene el robot a la hora de ejecutar los movimientos que le fueron definidos, por otro lado la complejidad de hacer varias acciones de corrido genera en el robot desbalance e incrementa la probabilidad de que se caiga. Otro aspecto que se debe tener en cuenta al generar movimiento en el robot, es el tiempo en el cual cada articulación debe llegar a su posición final, porque es importante, si el sistema cinemático del robot identifica que la trayectoria que debe recorrer es muy larga y el tiempo en el cual debe ejecutar el movimiento es muy corto el robot deja quieto el efector implicado.
- A partir de los resultados obtenidos en la encuesta pudimos ver que a pesar de haber implementado lenguaje corporal humano en el robot, los movimientos que ejecuta necesitan mucha más fluidez.
- Se ve la necesidad de definir una mayor cantidad de gestos y movimientos comunes humanos, que permitan expresar una misma emoción de diferentes formas, teniendo en cuenta siempre el contexto.

- La falta de expresiones faciales fue evidente para los encuestados, pero aun así pudieron percibir las emociones representadas por el robot y su intención dentro del contexto de la obra de teatro.
- Para futuros trabajos se propone la búsqueda de algoritmos que modulen de forma mucho más fluida los movimientos del robot, además de crear un banco de gestos y lenguaje corporal humano, permitiendo a futuras investigaciones una mejor aplicación de las mismas en cualquier robot humanoide que se utilizó.

IV- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] JapanSocietyNYC, “Robot Science Made in Japan,” *Japan Society Lecture*, 2013. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=mkr5gGxeE60>.
- [2] D. H. Ishiguro, “The Future Life Supported by Robotic Avatars,” *Global Future 2045, Internacional congress*, 2013. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=h34p5fzXjuQ>.
- [3] A. Lucia and S. A. Moga, “Emotions and Robot Artists : State-of-the-Art and Research Challenges,” vol. LXII, no. 1, pp. 26–41, 2010.
- [4] H. Kamide, K. Kawabe, S. Shigemi, and T. Arai, “Relationship between familiarity and humanness of robots – quantification of psychological impressions toward humanoid robots,” *Adv. Robot.*, vol. 28, no. 12, pp. 821–832, Jun. 2014.
- [5] Japan Society, “Nursing Robot RIBA.” [Online]. Available: <http://www.trendhunter.com/trends/nursing-robots-riba>.
- [6] JapanSocietyNYC, “Robot Theater at Japan Society,” *Japan Society Lecture*, 2013. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Uo-4RQPEHIk>.
- [7] J. M. A. Fernandez and A. Bonarini, “TheatreBot: A Software Architecture for a Theatrical Robot,” *AIRLab*. [Online]. Available: <http://airwiki.ws.dei.polimi.it/index.php/TheatreBot>.
- [8] J. M. A. Fernandez and A. Bonarini, “Towards an Autonomous Theatrical Robot,” *2013 Hum. Assoc. Conf. Affect. Comput. Intell. Interact.*, pp. 689–694, Sep. 2013.
- [9] Y. Own and B. V. Van Edwards, “The Secrets of Body Language,” pp. 1–57.
- [10] E. L. L. Corporal, *El lenguaje corporal*. pp. 3–170.
- [11] A. Mehrabian, “Communications Studies, Institute of Judicial Studies.”
- [12] A. A. Pease, “Comunicación no verbal (‘ El Lenguaje del Cuerpo ’).”
- [13] J. F. Rodríguez Martínez, “EXPRESION CORPORAL Y EMOCIONES.” pp. 1–13.
- [14] S. Marsland, *Machine learning an algorithmic perspective*. 2009, p. 408.
- [15] Aihorizon, “Machine Learning,” *Your Online Artificial Intelligence Resource*. [Online]. Available: <http://www.aihorizon.com/essays/generalai/>.
- [16] G. B. O. and K.-R. M. LeCun, L. Bottou, “Efficient backprop, in Neural Networks—Tricks of the Trade,” *Springer Lect. Notes Comput. Sci. 1524*, pp. pp. 5–50, 1998.

- [17] M. Riedmiller and H. Braun, "A Direct Adaptive Method for Faster Backpropagation Learning: The RPROP Algorithm," *Proc. ICNN*, 1993.
- [18] N. Kofinas, "Forward and Inverse Kinematics for the NAO Humanoid Robot," Technical University of Crete, Greece, 2012.
- [19] I. I. E. D. E. Emociones and I. I. Introducción, "Expresión de emociones," in *Introducción sobre emociones*, pp. 1–10.
- [20] M. Han, C. Lin, and K. Song, "Robotic Emotional Expression Generation Based on Mood Transition and Personality Model," vol. 43, no. 4, pp. 1290–1303, 2013.
- [21] L. Xin, X. Lun, W. Zhi-liang, and F. Dong-mei, "Robot Emotion and Performance Regulation Based on HMM," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, p. 1, 2013.
- [22] U. N. de Colombia, "MODELOS OCULTOS DE MARKOV," .
- [23] C. P. Lee-johnson, D. A. Carnegie, S. Member, and A. B. Emotions, "Mobile Robot Navigation Modulated by Artificial Emotions," vol. 40, no. 2, pp. 469–480, 2010.
- [24] A. Viergutz, T. Flemisch, and R. Dachsel, "Increasing the Expressivity of Humanoid Robots with Variable Gestural Expressions," pp. 3–4, 2005.
- [25] M. Davoudi and M. Davoudi, "Intelligent Robot Motion using Fuzzy logic-Based CTP and Artificial Neural Networks," 2006.
- [26] M. Mori, "The Uncanny Valley," 2012. [Online]. Available: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/the-uncanny-valley>.
- [27] H. Robotics, "Han el Robot," *Xataka*. [Online]. Available: <http://m.xataka.com/robotica/han-es-un-robot-asombrosamente-parecido-a-un-humano-y-que-puede-hasta-imitarnos>.
- [28] Andres Armando de la Peña, "RoboAct modelo de control autónomo y cooperativo para el Teatro Robótico," Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
- [29] B. Pease and A. Pease, "The definitive book of body language," 2008.
- [30] M. Bowden, *Winning Body Language*. 2010, pp. 1–257.
- [31] P. Ekman, *Emotions Revealed*. pp. 1–285.
- [32] G. Beattie, "The New Psychology of Body Language."
- [33] A. Robotics, "Aldebaran Documentation." [Online]. Available: <http://doc.aldebaran.com/2-1/index.html>.

- [34] E. Rivero, "Tetrapléjico controla brazo robótico con la mente," *UnoCero*. [Online]. Available: <http://www.unocero.com/2015/05/22/tetraplejico-controla-brazo-robotico-con-la-mente/>.
- [35] M. G. Fernandez and S. I. Gimenez, "LA INTELIGENCIA EMOCIONAL Y SUS PRINCIPALES MODELOS : PROPUESTA DE UN MODELO INTEGRADOR," *Rev. Digit. del Cent. del Profr. Cuevas-Olula*, vol. Vol 3, no. 1, 2010.
- [36] D. Goleman, *Inteligencia emocional*. 2012, pp. 1–54.

Anexo 1. Glosario

1. **GESTOR EMOCIONAL:** El gestor emocional permite definir el aspecto interno de un personaje en lo que se refiere a su estado emocional. Determina la manera en la que cambian las emociones del personaje dentro del contexto de la obra y además influye en el comportamiento y en la ejecución de las acciones [28].
2. **ACCIÓN:** termino que implica actividad, movimiento o cambio de estado o situación y afecta o influye en una persona, animal o cosa [32].
3. **HUMANOIDE:** termino que se refiere a cualquier robot que posea la misma apariencia corporal del ser humano.
4. **ANDROIDE:** el androide además de imitar la apariencia del ser humano, trata de imitar su conducta y su capacidad mental.
5. **MOVIMIENTO:** cambio de lugar o posición del cuerpo en el espacio [32].
6. **SDK ALDEBARAN:** conjunto de herramientas proporcionadas por los creadores del Robot NAO, para poder hacer uso de las características del robot y poder generar nuevos proyecto de investigación con este.
7. **NAO:** Robot humanoide creado por Aldebaran Robotics, cuenta con 21 grados de libertad, donde vemos 5 cadenas cinemáticas (cabeza, 2 brazos, 2 piernas). El NAO cuenta con 2 articulaciones en la cabeza, 4 articulaciones en cada brazo, 5 articulaciones en cada pierna y 1 articulación en la pelvis.
8. **GRADOS DE LIBERTAD:** representa en número de articulaciones en la cadena cinemática, mientras más grados de libertad mayor es la flexibilidad en el movimiento de la cadena.
9. **CHOREGRAPHE y SDK NAO:** Herramientas de desarrollo proporcionadas por Aldebaran Robotics, para el uso del robot NAO.
10. **ROS:** Sistema Operativo Robótico, el framework es una colección de herramientas, librerías y convenciones que permite generar software para una gran variedad de plataformas robóticas.
11. **ALEGRÍA:** surge cuando la persona evalúa el objeto o acontecimiento como favorable a la consecución de sus metas particulares, atenúan o eliminan contingencias negativas [19], [35], [36].
12. **TRISTEZA:** sentimiento negativo caracterizado por un decaimiento en el estado de ánimo habitual de la persona cuando no se pueden reestablecer las metas perdidas [19], [35], [36].
13. **MIEDO:** emoción que tiene una función de supervivencia. Su misión es incitar a la evitación y al escape de situaciones amenazantes [19], [35], [36].
14. **IRA:** emerge cuando la persona se ve sometida a situaciones que le producen frustración o resultan aversivas [19], [35], [36].
15. **SORPRESA:** se produce de forma súbita ante una situación novedosa o extraña y desaparece con la misma rapidez con que apareció [36].
16. **ESTADO EMOCIONAL NEUTRO:** estado en el cual se aíslan todas las emociones y muestra total indiferencia ante cualquier situación.

Anexo 2. Guion Teatral

Asesino

Si yo lo mate.....jajajajaja

¿Por qué lo digo?..... Les contare toda la historia.

Puede que sea un robot, pero yo soy algo especial; yo puedo sentir y pensar.

Mi inventor me hizo a imagen y semejanza de su hijo muerto, trabajó con tanto amor y dedicación que todos sus sentimientos se transfirieron a mí.

Él era muy alegre y divertido, fui tan feliz en esos días, amaba a mi padre y él me amaba a mí, pero el cruel destino nos separó..... El murió.

Pero lo que más rabia me da, es que murió para protegerme.

Hace unos meses, el jefe de la empresa, entró al laboratorio de mi *padre*; le comentó que quería que la comunidad científica conociera de mi existencia, mi padre sabía que hacer eso pondría en riesgo mi existencia.

Él no iba dejar que eso pasara, su jefe no estuvo de acuerdo.... y lo asesinó con su arma frente a mis ojos, mientras yo estaba escondido.

Estaba tan asustado que no podía moverme, por suerte, no pudo encontrarme.

Me escondí en su oficina, esperando a que llegara, mientras la ira y el rencor se apoderan de mí, agarre el arma con la que mató a mi padre y lo asesine. Dejando una nota sobre su escritorio para que pareciera un suicidio.

Sé que soy culpable, pero no iba a permitir que supieran mi secreto!!

Y matare a todos el que lo sepa

jajajajajajaja!

Anexo 3. Descripción del personaje

Personaje: Robot

Género: Masculino

Caracterización del personaje

El personaje es la representación del hijo muerto del creador; debido al desequilibrio emocional de este cuando creó al robot (El personaje), todos los sentimientos del creador pasaron al robot generándose una personalidad algo peculiar.

Personalidad

El personaje posee leves rasgos bipolares relacionados con una personalidad colérica inestable, causada por los desórdenes colectivos que posee la persona que lo creó.

Este personaje es capaz de demostrar sus sentimientos en público y espontáneamente; es obsesivo, sensible y sin control sobre sus sentimientos y emociones, tímido, reservado, astuto, impulsivo, ansioso, irritable, vengativo, desconfiado; es capaz de pasar rápido de un estado de ánimo a otro, y se caracteriza por tener rasgos psicópatas.

Su personalidad es CICLOIDE, persona generalmente cordial, alegre, expansiva y simpática. Sin embargo ríe, llora y se encoleriza por cualquier motivo. Estos psicópatas alternan los estados de excitación y de gran actividad con los de depresión y pasividad.

Anexo 4. Modelo Encuesta

La siguiente encuesta tiene como fin evaluar si usted como espectador logró identificar los siguientes aspectos en el robot durante su actuación en el monólogo.

Edad:

Sexo:

Familiaridad: es la impresión positiva o negativa, emocional e intuitiva, que refleja aceptación hacia los robots.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿El robot le parece agradable o desagradable?					

¿Cree usted que la existencia del robot es una amenaza a su humanidad?					
¿Se sentiría cómodo al tener alguna interacción o conversación con el robot?					

Empatía: se entiende como la conciencia de los sentimientos, necesidades y preocupaciones ajenas.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Logro entender los sentimientos del personaje?					
¿El personaje genero en usted algún tipo de emoción?					
¿Usted también mataría al asesino?					

Humanidad: es la similitud que tiene con los humanos en apariencia, movimientos, emociones y si tiene una mente propia.

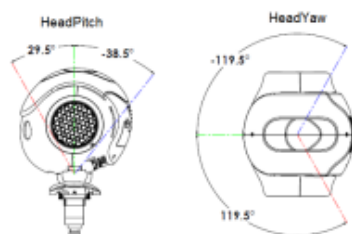
Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Identifico algún tipo de personalidad en el personaje?					
¿Los movimientos y acciones del robot son coherentes con las emociones que expresa?					
¿Los movimientos y acciones que el robot realiza son fluidos?					
Preguntas Abiertas					
¿Qué emociones logró identificar en el robot durante la obra?					
¿Qué característica tiene la					

personalidad del personaje?	
¿Qué le falta al robot para poder expresar mejor sus emociones?	

A continuación, nos gustaría saber su percepción acerca de la posibilidad de incluir robots en el diario vivir.

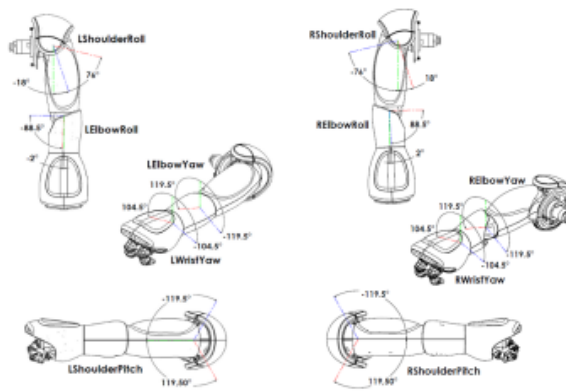
Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de educación e investigación?					
¿Qué tan de acuerdo esta con la utilización de robots en áreas de entretenimiento?					
¿Asistiría usted a una obra de teatro donde actúen humanos y robots?					
¿Cree que el uso de robots en el diario vivir ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas?					
¿Cree que los robots son solo maquinas creadas para ayudar en tareas repetitivas y peligrosas?					
¿Qué tan de acuerdo estaría a trabajar con un robot como su compañero?					

Anexo 5. Rango Operacional de las articulaciones del NAO



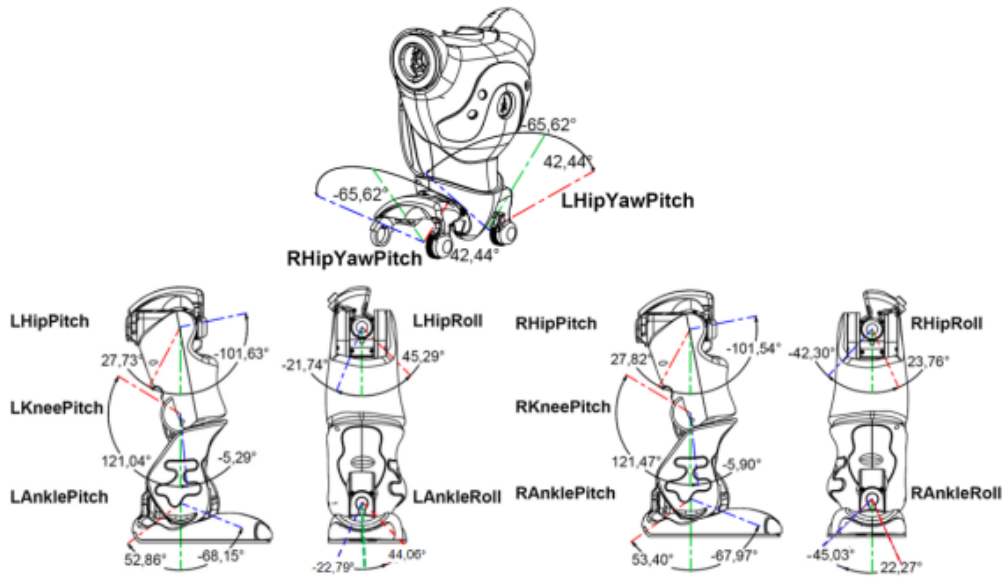
Joint Name	Range in Degrees°	Range in Radians
HeadYaw	-119.5° to 119.5°	-2.0857 to 2.0857
HeadPitch	-38.5° to 29.5°	-0.6720 to 0.5149

Ilustración 29. Articulaciones de la cabeza



Joint Name	Range in Degrees $^\circ$	Range in Radians
LShoulderPitch	-119.5° to 119.5°	-2.0857 to 2.0857
LShoulderRoll	-18° to 76°	-0.3142 to 1.3265
LElbowYaw	-119.5° to 119.5°	1.5446 to 0.0349
LElbowRoll	-88.5° to -2°	-0.6720 to 0.5149
RShoulderPitch	-119.5° to 119.5°	-2.0857 to 2.0857
RShoulderRoll	-38.5° to 29.5°	-1.3265 to 0.3142
RElbowYaw	-119.5° to 119.5°	-2.0857 to 2.0857
RElbowRoll	-38.5° to 29.5°	0.0349 to 1.5446
LWristYaw and RWristYaw	disabled	disabled

Ilustración 30. Articulaciones de los brazos



Joint Name	Range in Degrees [°]	Range in Radians
LHipYawPitch- RHipYawPitch	-65.62 to 42.44	-1.145303 to 0.740810
LHipRoll	-21.74 [°] to 45.29 [°]	-0.379472 to 0.790477
LHipPitch	-101.63 [°] to 27.73 [°]	-1.773912 to 0.484090
LKneePitch	-5.29 [°] to 121.04 [°]	-0.092346 to 2.112528
LAnklePitch	-68.15 [°] to 52.86 [°]	-1.189516 to 0.922747
LAnkleRoll	-22.79 [°] to 44.06 [°]	-0.397880 to 0.769001
RHipRoll	-42.30 [°] to 23.76 [°]	-0.738321 to 0.414754
RHipPitch	-101.54 [°] to 27.82 [°]	-1.772308 to 0.485624
RKneePitch	-5.90 [°] to 121.47 [°]	-0.103083 to 2.120198
RAnklePitch	-67.97 [°] to 53.40 [°]	-1.186448 to 0.932056
RAnkleRoll	-45.03 [°] to 22.27 [°]	-0.785875 to 0.388676

Ilustración 31. Articulaciones de las piernas

Anexo 6. Ilustraciones

Ilustración 1. Robots para entender a los humanos [1].....	7
Ilustración 2. Robot RIBA [5].....	8
Ilustración 3. Robot Aibo y Robot ICat [3].....	9
Ilustración 4. Fases de la Metodología.....	13
Ilustración 5. Ejemplo árboles de decisión.....	15
Ilustración 6. Ejemplo red neuronal.....	16
Ilustración 7. Ejemplo perceptron multicapa.....	18
Ilustración 8. Recepción de entradas a la neurona y ejecución de la función de activación.	18
Ilustración 9. Función simétrica sigmoide.....	19
Ilustración 10. Sistema inteligente de movimiento[25].....	23
Ilustración 11. Uncanny valley. [26].....	24
Ilustración 12. BIOLOD y DARwIn-OP.....	25
Ilustración 13. Robot Han de Hanson Robotics [27].....	27
Ilustración 14. Ejemplo de emociones expresadas a través del lenguaje corporal.....	30
Ilustración 15. Módulo descriptor del sub-sistema.....	31
Ilustración 16. Módulo de creencias del sub-sistema.....	32
Ilustración 17. Entradas y salidas del controlador.....	33
Ilustración 18. Comunicación componentes [7], [8].....	34
Ilustración 19. Modulo modulador de acciones del sub-sistema.....	34
Ilustración 20. Diseño controlador, entradas y salidas.....	36
Ilustración 21. Robot Nao cadenas y articulaciones cinemáticas [33].	37
Ilustración 22. NAO expresando ira y tristeza.....	38
Ilustración 23. Modulo controlador de acciones y movimientos.....	39
Ilustración 24. Cinemática robot NAO.....	42

Ilustración 25. Diagrama de Componentes del proyecto.....	45
Ilustración 26. Modelo de clases del controlador	46
Ilustración 27. Arquitectura EmotiBot	47
Ilustración 28. Puntuaciones actuación robot	53
Ilustración 29. Genero población evaluada	52
Ilustración 30. Articulaciones de la cabeza	9
Ilustración 31. Articulaciones de los brazos.....	10
Ilustración 32. Articulaciones de las piernas	11

Anexo 7. Cartas de aprobación PUJ

ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES
(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 30/07/2015

Señores
Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.
Pontificia Universidad Javeriana
Cuidad

Los suscritos:
Luz Evelyn Fernández Loboquerrero , con C.C. No 1030578844
_____, con C.C. No _____
_____, con C.C. No _____

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:
RoboAct: Control de acciones para un actor robótico

(por favor señale con una "x" las opciones que apliquen)
Tesis doctoral Trabajo de grado Premio o distinción: Sí No

cual: _____
presentado y aprobado en el año _____, por medio del presente escrito autorizo (autorizamos) a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	X	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	X	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de

acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.


Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: Información Confidencial:

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. Si No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
LUZ EVELYN FERNANDEZ LOBOGUERRERO	1030578844	

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO: _____

INGENIERÍA DE SISTEMAS

ANEXO 3
BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO
FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO						
ROBOACT: CONTROL DE ACCIONES PARA UN ACTOR ROBÓTICO						
SUBTÍTULO, SI LO TIENE						
AUTOR O AUTORES						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
Fernández Loboquerrero			Luz Evelyn			
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
De La Peña			Andres Armando			
FACULTAD						
INGENIERÍA						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa (seleccione con "x")						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
X						
Nombre del programa académico						
INGENIERÍA DE SISTEMAS						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
GERMAN ALBERTO CHAVARRO FLOREZ						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
INGENIERO DE SISTEMAS						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
CIUDAD		AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO			NÚMERO DE PÁGINAS	
Bogotá		2015			77	
TIPO DE ILUSTRACIONES (seleccione con "x")						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		X				
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
<p>Nota: En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						
No Aplica						

MATERIAL ACOMPAÑANTE					
TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo biblioteca@javeriana.edu.co , donde se les orientará).					
ESPAÑOL			INGLÉS		
Valle Inquietante			Uncanny Valley		
Robots Humanoides			Humanoid Robots		
Algoritmos Cinemática Robótica			Robot Kinematics Algorithms		
Expresión Coporal y gestos			Gestures and Corporal Expression		
Interacción Humano-Robot			Human-Robot Interaction		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>ABSTRACT</p> <p>The uncanny valley it's a hypothesis in the robotic filed which holds that when are highly human-like anthropomorphic robots, they cause a negative reaction in the people and sensation of discomfort, nonetheless when there is some anthropomorphic similarity, the robot it-s treated like a machine, causing the opposite effect. With this work we want to solve the human-humanoid-robot interaction using a psychological approach and applying this results using robot kinematics algorithms, thus, making the robot gestures, more human-like.</p> <p>RESUMEN</p> <p>El uncanny valley (o Valle Inquietante) es una hipótesis de la robótica que nos dice que cuando hay robots antropomórficos parecidos en exceso a una persona, causan una sensación de rechazo e inconformidad, sin embargo si el robot es parcialmente parecido, se le manipula como una máquina, generando la reacción inversa y desmejorando la interacción con éste. Con éste trabajo se busca solucionar el problema de interacción humano-robot con los robots humanoides, realizando un acercamiento desde la psicología humana y aplicando estos resultados a través de algoritmos de cinemática robótica, haciendo que los gestos del robot sean más humanos.</p>					