



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

GENERACIÓN DE POSTURAS
CORPORALES EN AGENTES VIRTUALES A
PARTIR DE SUS ESTADOS EMOCIONALES
CON EVIDENCIA NEUROCIENTÍFICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
Maestra en Ciencias de la Ingeniería

PRESENTA:

Diana Gabriela Gómez Martínez

DIRIGIDA POR:

Dra. Vianney Muñoz Jiménez

Dr. Marco Antonio Ramos Corchado

Dr. José Raymundo Marcial Romero



Toluca, México, Septiembre de 2018

**Generación de posturas corporales en agentes
virtuales a partir de sus estados emocionales
con evidencia neurocientífica**

TESIS DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA

POR:
Diana Gabriela Gómez Martínez
Ingeniera en Computación

BECARIO CONACYT, expediente no. 783798/445292

TESIS DIRIGIDA POR:
Dra. Vianney Muñoz Jiménez
Dr. Marco Antonio Ramos Corchado
Dr. José Raymundo Marcial Romero

Toluca, México, Septiembre de 2018

Las emociones cambian la forma en que vemos el mundo y cómo interpretamos las acciones de los demás.

Paul Ekman.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por permitirme vivir y culminar esta etapa profesional, el cual ahora forma parte de los éxitos alcanzados a lo largo de mi vida.

A mis padres y hermanos por ser un ejemplo de lucha y entereza para alcanzar las metas a pesar de los obstáculos que se encuentren en el camino, además, de inculcarme cada uno de los valores el cual hoy forman mi persona y que representan herramientas para alcanzar mis objetivos.

Al Dr. Marco Ramos, Dr. Félix Ramos y Dra. Vianney Muñoz, por compartir su conocimiento del cual son portadores; conocimiento que no solo se encierra en el ámbito profesional sino también en el personal, siendo de esta manera una guía a lo largo de la maestría.

A CONACYT por el apoyo económico que contribuyó para llevar a cabo esta investigación.

Resumen

La comunicación es fundamental en la interacción entre los seres humanos y otras especies. En particular, los comportamientos físicos proveen el 55% de la comunicación de nuestro estado interno, según Mehrabian (1972), estos comportamientos son fuertemente influenciados por el componente emocional y racional. Sin embargo, es el primer tipo de comportamiento que es esencialmente influenciado por las emociones; emociones que son catalogadas como básicas por Ekman (1977; 1994), entre ellas se encuentran: la alegría, tristeza, enojo, miedo, disgusto y sorpresa. La mayoría de los comportamientos asociados a las emociones básicas carecen de un razonamiento previo y son de índole autónoma y reactiva. Que posteriormente evolucionarán con la participación de un proceso de razonamiento, originando comportamientos complejos adecuados a las condiciones del ambiente; ambiente que proporciona los estímulos para detonar todo tipo de comportamiento. Por otro lado, el uso de diferentes sistemas inteligentes que buscan apoyar al humano en sus tareas (por ejemplo, mecanismos de interacción, navegación de entornos, comportamiento bajo ciertas condiciones, etc.) se ha proliferado, en particular los agentes virtuales, que tienen características (autónomo, proactivo, social, etc.) que los hacen idóneos para dichas tareas. No obstante, conociendo la importancia de los comportamientos físicos en la comunicación hoy en día los agentes virtuales no han sido capaces de expresar su estado emocional a través de comportamientos corporales, en específico posturas corporales, en aras de una interacción empática entre el usuario y agente virtual, una causa reside en que se ha dejado de lado el proceso biológico (en el Sistema Nervioso Central) asociado a la producción de posturas corporales en el humano, que proporciona las bases necesarias para generar comportamientos más cercanos al del hombre. Como respuesta a ello, el presente trabajo propone un modelo conceptual para la generación de posturas corporales influenciadas por el estado emocional en agentes virtuales con base en evidencia neurocientífica, enfocándose en las emociones básicas, dichos comportamientos son producidos en tres etapas, la primera relacionada a un procesamiento límbico, la segunda parte de un aprendizaje previo que es adquirido en la primera etapa reflejándose en la formación de hábitos y la tercera etapa donde se efectúa una evaluación del contexto para que los comportamientos sean producidos sean en beneficio de los objetivos. En dicho modelo se reflejan las estructuras cerebrales asociadas al proceso y la tarea que desempeñan para definir el flujo de información, lo anterior validado

por neurocientíficos. El modelo asociado a la primera fase es implementado con un enfoque distribuido y probado con un caso de estudio, el cual permite observar comportamientos corporales primitivos o básicos en un agente virtual encaminados a expresar una emoción.

Contenido

Resumen	VII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XIII
Acrónimos	XV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos particulares	3
1.4. Hipótesis	3
1.5. Alcances	4
1.6. Limitaciones	4
1.7. Contribuciones	5
1.8. Estructura de la tesis	5
2. Marco teórico	7
2.1. Agentes virtuales autónomos	7
2.1.1. Características	8
2.1.2. Arquitecturas en agentes	9
2.2. Emoción	10
2.3. Lenguaje corporal	11
2.3.1. Postura corporal	13
2.3.2. Reconocimiento de una emoción a partir de una postura	13
2.3.3. Control motor	15
2.4. Trabajos relacionados	17
2.4.1. Arquitecturas cognitivas con emociones	18

CONTENIDO

2.4.2. Modelos computacionales con comportamientos emocionales	19
2.4.3. Modelos neurocientíficos	23
3. Marco metodológico	27
4. Propuesta	37
4.1. Modelo conceptual general	37
4.2. Fase motora límbica	39
4.2.1. Estructuras cerebrales asociadas	43
4.2.2. Flujo de información	47
4.2.3. Formalización del proceso	48
4.3. Fases subsecuentes	50
5. Implementación y resultados	53
5.1. Implementación general del modelo	53
5.2. Caso de estudio	56
5.3. Discusión	59
6. Conclusiones y trabajos futuros	63
6.1. Conclusiones	63
6.2. Trabajos futuros	64
Referencias	67

Índice de figuras

2.1. Características básicas de un agente virtual (Wooldridge, 2009).	8
2.2. Agente virtual inmerso en un ambiente (Incorporated, 2016).	9
2.3. Configuración de las articulaciones del cuerpo.	13
2.4. Regiones del cuerpo.	14
2.5. Expresión emocional bajo 24 características posturales (Kleinsmith et al., 2006).	14
2.6. a) Mapeo de los lóbulos en el cerebro (Emaze, 2014). b) Localización de la corteza motora en el lóbulo frontal (Emaze, 2014).	16
2.7. Circuito del sistema motor (Kolb y Whishaw, 2006).	16
2.8. Modelo de la arquitectura cognitiva iCub versión 0.4 (Vernon et al., 2010).	19
2.9. Modelo de la arquitectura cognitiva LIDA resaltando el flujo consciente e inconsciente (Franklin et al., 2014).	20
2.10. Modelo de la arquitectura cognitiva SOAR versión 9 (Laird, 2012).	21
2.11. Arquitectura de la plataforma <i>Maxine</i> (Baldassarri y Cerezo, 2012).	21
2.12. Modelo de Zhang et al. (2012).	22
2.13. Descripción de la emoción interactiva según Thafar y Bansal (2016).	22
3.1. Metodología para el desarrollo de arquitecturas cognitivas basadas en evidencia neurocientífica (Torres, 2013).	27
3.2. Diagrama de conexiones formado por las estructuras cerebrales y las conexiones de entrada/salidas correspondientes (Torres, 2013).	33
4.1. Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos motores bajo una influencia emocional.	38
4.2. Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motores enfocado a la fase de respuestas límbicas.	40
4.3. Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motores enfocado a la fase de respuestas habituales.	41
4.4. Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motores enfocado a la fase de respuestas asociadas a objetivos.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

4.5. Modelo de comportamientos de respuestas emocionales, se muestran las estructuras cerebrales y las conexiones asociadas al proceso.	45
4.6. Flujo de información ante un estímulo aversivo en comportamientos emocionales autónomos.	47
4.7. Flujo de información ante un estímulo placentero en comportamientos emocionales autónomos.	48
4.8. Modelo preliminar para la generación de comportamientos motores como respuesta emocional con base en una formación de hábitos.	51
4.9. Modelo preliminar para la generación de comportamientos motores como respuesta emocional incididos por un objetivo.	51
5.1. Etiquetación de conexiones del modelo.	54
5.2. Comportamientos emocionales autónomos-reactivos en una criatura virtual.	57
5.3. Estímulos obtenidos a partir del ambiente.	58
5.4. Comportamientos motores generados a partir de una evaluación emocional de felicidad con diferente intensidad en la criatura virtual.	61
5.5. Comportamientos motores generados a partir de una evaluación emocional de tristeza con diferente intensidad en la criatura virtual.	62

Índice de tablas

2.1. Jerarquía del control motor (Bear et al., 2007).	16
2.2. Estructuras cerebrales asociadas en generar comportamientos emocionales exhibidos.	25
3.1. Conexiones entre las diferentes estructuras del cerebro.	34
5.1. Diccionario de <i>spikes</i>	55

Acrónimos

A

ACC *Anterior Cingulate Cortex*

AMY *Amygdala*

B

BDI *Beliefs Desires Intentions*

BG *Basal Ganglia*

C

CER *Cerebellum*

CN *Caudate Nucleus*

CNF *Cuneiform Nucleus*

CNS *Central Nervous System*

CPG *Central Pattern Generator*

D

DA *Dopamina*

DSTM *Dorsal Striatum*

F

FN *Fastigial Nucleus*

H

HYP *Hypothalamus*

I

iCub *Integrated Cognitive Universal Body*

IK *Inverse Kinematics*

L

LC *Locus Coeruleus*

LIDA *Learning Intelligent Distribution Agent*

M

M1 *Primary Motor Cortex*

MLR *Mesencephalic Locomotor Region*

N

NA *Noradrenalina*

NAC *Nucleus Accumbens*

P

PAG *Periaqueductal Gray*

PFC *Prefrontal Cortex*

PPN *Pedunculopontine Nucleus*

PUT *Putamen*

R

RF *Reticular Formation*

RN *Raphe Nucleus*

S

SC *Spinal Cord*

SMA *Supplementary Motor Cortex*

SNC *Substantia Nigra pars Compacta*

SOAR *State Operator And Result*

STM *Striatum*

STN *SubThalamic Nucleus*

T

TCP *Transmission Control Protocol*

THA *Thalamus*

V

VA *Ventral Anterior Nucleus*

VL *Ventral Lateral Nucleus*

VP *Ventral Pallidum*

VSTM *Ventral Striatum*

VTA *Ventral Tegmental Area*

Introducción

El objetivo de este capítulo es describir la problemática que se desea abordar, así como el impacto que representa, mismo que da lugar a la cuestión de por qué es importante abordarlo. Además, se plantean los objetivos que se persiguen en dicha investigación.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, gran parte de la investigación se centra en la utilización de agentes virtuales ya sean en 2D o 3D para desempeñar diversos roles, por ejemplo: mecanismos de interacción entre personas (usuarios) y la computadora (Bevacqua et al., 2016), imitación de comportamientos de seres humanos inmersos en un ambiente bajo determinadas condiciones, navegación de entornos, entre otros (Gallardo, 2011). Lo anterior permite observar que el campo de implementación de agentes virtuales sigue aumentando. Por lo que ha sido necesario desarrollar modelos para la generación de agentes virtuales, no obstante, los modelos continúan mejorándose para aplicaciones en tiempo real y no real, ya que controlarlos y animarlos de forma realista sigue siendo un desafío.

La imitación del comportamiento humano engloba diferentes aspectos desde la semejanza morfológica hasta la forma de comunicarse, con el propósito de producir una interacción empática. El comportamiento no es simplemente racional, sino que esta fuertemente influenciado por el componente emocional, mismo que ha sido menospreciado en la generación de comportamientos humanos, y posiblemente esta sea la causa por la cual el comportamiento obtenido difiere del comportamiento real.

La comunicación humana es un proceso complejo que abarca el lenguaje verbal y el no verbal (o lenguaje corporal). Siendo el segundo un factor determinante en la comunicación, particularmente en la proyección del componente emocional, de tal manera que es trascendental el desarrollo de agentes virtuales que sean capaces de exhibir comportamientos emocionales en pro de una interacción empática. Existen varios estudios orientados a producir este tipo de comportamientos, pero el marco de comportamientos es limitado

1. INTRODUCCIÓN

(Baldassarri y Cerezo, 2012; Zhang et al., 2012), y debido a las características del modelo la posibilidad de escalabilidad queda restringida.

Una solución candidata para abatir dicho inconveniente incurre en un enfoque biológico, que consiste en conocer y entender de forma explícita el proceso que se lleva a cabo en el cerebro del humano para mostrar comportamientos con peso emocional, mismo que tiene la capacidad de generar comportamientos básicos y complejos.

Concretamente se habla que es necesario que el lenguaje corporal de un agente virtual este respaldado en un modelo cognitivo (es decir, una aproximación de los procesos cognitivos de un ser vivo, lo cual se hace con base en distintas aproximaciones, una de ellas es el enfoque neurocientífico que se fundamenta en los resultados encontrados en la “Neurociencia Aplicada” (Torres, 2013)). Este enfoque se basa en el pensamiento, explora la capacidad de las mentes humanas para modificar y controlar la forma en que los estímulos afectan la conducta. Por lo tanto, si se tiene un modelo cognitivo que se fundamente en la explicación de las entradas, procesos y salidas que el Sistema Nervioso Central (CNS, por sus siglas en inglés) tiene para generar comportamientos emocionales, el lenguaje corporal tendrá mayor semejanza al del ser humano.

1.2. Justificación

La comunicación es un mecanismo complejo donde participan de manera consciente e inconsciente diversas manifestaciones. La comunicación no es sólo por medio de la lengua que hablamos y escribimos, sino también por la producción de una serie de movimientos, posturas o gestos, a través de los cuales los individuos emiten numerosas señales, de carácter inconsciente y fuerte contenido emocional, que en conjunto se les conoce como el lenguaje corporal. Entonces en el proceso de comunicación implicado con la transmisión de emociones o sentimientos, es conformado por 55 % lenguaje corporal (posturas corporales, gestos, mirada, etc.), 7 % verbal (palabras) y 38 % voz (tono y volumen), con base en la regla de Mehrabian (1972).

Por esta razón es importante desarrollar la capacidad y habilidad para generar, interpretar y decodificar las señales corporales y el mensaje que se está enviando. Cada individuo debe aprender a interpretar los mensajes que se transmiten a través del lenguaje corporal y con ello conseguir una adecuada comunicación.

El lenguaje corporal en la comunicación es un factor importante, y muchas veces decisivo, cuando se quiere transmitir un mensaje y demostrar congruencia entre la información verbal y su lenguaje corporal. Por consiguiente, es necesario prestarle atención para proporcionar información sobre las emociones y reacciones de los individuos.

Hoy en día, el desarrollo e implementación de agentes virtuales ha sido de gran apoyo en diferentes rubros: salud (Lambert y Montañez, 2016; Cancino, 2016; Euronews, 2016; Arteaga, 2016), académico (Róspide y Puente, 2012), comercio (Aivo, 2016), etc. Áreas en donde la interacción con el usuario requiere lenguaje no verbal, para apoyar la interacción entre el usuario y el agente virtual, trayendo consigo beneficios para el logro del objetivo de la implementación del agente virtual, por ejemplo, en el comercio el lenguaje corporal del agente es decisivo para que el cliente compre o no determinado producto, mientras su comportamiento sea más parecido al de un vendedor (optimista, perseverante, empático, etc.), el proceso de convencimiento tendrá resultados satisfactorios.

1.3. Objetivos

A continuación se presentan los objetivos de la tesis con los cuales se determina el alcance, además de fungir como guía de la presente investigación.

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general que se persigue en esta investigación es “Generar posturas corporales en agentes virtuales a partir de su estado emocional basado en evidencia neurocientífica”.

1.3.2. Objetivos particulares

- Identificar los parámetros que establecen las pautas para el reconocimiento del estado emocional en una postura corporal.
- Identificar las principales estructuras cerebrales que participan en la producción de una postura corporal según la evidencia neurocientífica.
- Diseñar el modelo basado en evidencia neurocientífica para la generación de posturas corporales a partir del estado emocional del agente virtual.

1.4. Hipótesis

El diseño de un modelo cognitivo basado en evidencia neurocientífica proporciona las bases para reproducir posturas corporales básicas y complejas en agentes virtuales.

1.5. Alcances

El presente trabajo propone un modelo conceptual para reproducir comportamientos emocionales corporales (no se integran expresiones faciales); proceso que es desarrollado en tres fases que son reflejadas en el modelo conceptual con enfoque de cajas negras (ver Sección 4.1), debido a la amplitud del modelo el documento se centra principalmente en la primera fase que engloba comportamientos autónomos-reactivos, dejando fases posteriores como trabajos futuros.

Por otro lado, el estado emocional que proyecta la criatura virtual a través de comportamientos corporales se limita a las emociones básicas definidas por Ekman (1977; 1994) (ver Sección 2.2) con un enfoque discretizado, en particular felicidad y tristeza.

Además los comportamientos corporales emocionales que se tienen como propósito reproducir contemplan una estructura esquelética completa, aunque en estos primeros resultados se enfocan a comportamientos que implican las extremidades superiores, no se descarta más adelante integrar todo el cuerpo, por ello se optó por el diseño de una criatura virtual de cuerpo completo.

1.6. Limitaciones

El desarrollo de la investigación se enfrenta ante limitantes que restringen la propuesta y los resultados, algunas de ellas son:

- En el estado del arte revisado no se encontró algún antecedente de un trabajo semejante el cual nos proporcionará la base para el desarrollo de la propuesta tanto en el aspecto biológico como el computacional, esta limitante también puede ser una ventaja al brindarle la característica de ser innovadora la propuesta.
- El anterior punto nos dirige a la siguiente limitante, asociada a la comprensión biológica de cómo se lleva a cabo el proceso de generar comportamientos motores emocionales en el ser humano, rubro que aún tiene varias áreas de oportunidad, teniendo como resultado huecos en el flujo de información el cual dirige la propuesta a un primer acercamiento de formalización que podrá ser enriquecida más adelante.
- El reconocimiento del estado emocional a partir del lenguaje corporal es subjetivo, ya que varios factores influyen desde la personalidad de la persona hasta el aspecto cultura, además del contexto bajo el cual sean ejecutados.

1.7. Contribuciones

La principal contribución de este trabajo reside en una propuesta basada en evidencia neurocientífica para generar posturas corporales en agentes virtuales a partir de sus emociones, misma que nos permitió la producción de:

- Una tesis.
- Publicación de dos artículos en congresos y uno en revista, que son listados enseguida.
 - Gómez-Martínez, D. G., Mercado-Herrera, R., Muñoz-Jiménez, V., & Ramos-Corchado, M. A. (2016). Generación de lenguaje corporal en agentes virtuales usados en realidad virtual inmersiva. In *Desarrollo Multidisciplinario en Investigación y Docencia del Centro Universitario UAEM Valle de México* Capítulo 1 Investigación y Desarrollo Multidisciplinario en Ingeniería. (pp. 21-26). Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario UAEM Valle de México.
 - Gómez-Martínez, D. G., Ramos, M., Muñoz-Jiménez, V., & Marcial-Romero, J. R. (2017). Generación de posturas corporales en agentes virtuales a partir de evidencia neurocientífica. *Research in Computing Science*, 140, 29-41.
 - Gómez-Martínez, D. G., Rosales, J.-H., Muñoz-Jiménez, V., Ramos, F., & Ramos, M. (2018). A bio-inspired self-responding emotional behavior system for virtual creatures. Aceptado el 10-07-2018 en *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, Elsevier.
- Presentación de artículos en congresos.

1.8. Estructura de la tesis

Este trabajo se divide en seis capítulos. En el primer capítulo se plasma la problemática que se aborda, además de la importancia de tratar de analizar dicho problema y los objetivos que se persiguieron a lo largo de la investigación.

En el segundo capítulo se presentan conceptos tales como: agente virtual, postura corporal, corteza motora, etc., que representan la base de la investigación, asimismo, estudios que guardan cierta semejanza con éste. Posteriormente en el tercer capítulo se describe la metodología bajo la cual se desarrolló la propuesta de dicha investigación.

En el cuarto capítulo se detalla la propuesta que se centra en mostrar las estructuras del cerebro asociadas en generar comportamientos emocionales y cómo es que estas se relacionan entre sí para permitir el flujo de información, que más tarde se verá reflejada en una

1. INTRODUCCIÓN

expresión corpórea. Posteriormente en el quinto capítulo se efectúa una descripción de la implementación del modelo en la criatura virtual, así como los resultados obtenidos y una discusión de los mismo.

Por último el sexto capítulo encierra algunas conclusiones a destacar de la investigación y trabajos que quedan pendientes que representan la continuidad de esta tesis.

Marco teórico

Actualmente el uso de agentes virtuales autónomos en diferentes áreas de investigación (por ejemplo, medicina (Lambert y Montañez, 2016), psicología (Cancino, 2016), enseñanza (Róspide y Puente, 2012), comercio (Aivo, 2016), inteligencia artificial, etc.) está teniendo gran impacto, debido a que los agentes virtuales autónomos ya sean en 2D o 3D están desempeñando diversos mecanismos que están en pro de buscar una interacción transparente entre el usuario (ser humano) y la computadora (Bevacqua et al., 2016), además de replicar comportamientos de seres humanos inmersos en un ambiente bajo determinadas condiciones, navegación de entornos, entre otros (Gallardo, 2011).

Es así como el estudio de este paradigma de agentes virtuales autónomos y procesos que incumben en el logro de sus objetivos es de interés e importancia, para ello, en este capítulo se abordaran conceptos y procesos que son necesarios tenerlos como antecedentes para la comprensión del proyecto de investigación, así como trabajos relacionados que aportan a la definición de esta propuesta.

2.1. Agentes virtuales autónomos

Como se mencionó anteriormente, los agentes virtuales autónomos o agentes inteligentes están apoyando al ser humano en varias tareas de su vida diaria, sin embargo, es necesario iniciar por entender ¿qué es un agente inteligente?.

Wooldridge (2009) define a un agente inteligente como “sistema de cómputo que tiene la capacidad de actuar de manera autónoma en un ambiente”, es decir, como una entidad autónoma que con base en su conocimiento y objetivos a cumplir tomará sus propias decisiones.

Existen varios autores que usan el término de agente inteligente como agentes virtuales autónomos, o bien, dependiendo a quién o qué pretenden representar son llamados de una forma específica, por ejemplo, también suele referirse a ellos como criaturas, actores (de

2. MARCO TEÓRICO

manera genérica o haciendo referencia a un animal o humanoide), o humanos virtuales (refiriéndose específicamente a personas) (González, 2005).

2.1.1. Características

Un agente virtual autónomo debe de tener determinadas características (ver Figura 2.1) para ser calificado con dicho nombre, entonces un agente debe ser:

- **Autónomo:** los agentes tienen que operar sin control humano externo sobre sus acciones y decisiones.
- **Reactivo:** los agentes son capaces de sentir los cambios del ambiente y así mismo adaptarse a ellos, por lo tanto, su comportamiento cambia.
- **Proactivo:** los agentes tienen la habilidad de enfocarse en las acciones y decisiones para lograr sus propios objetivos.
- **Social:** los agentes tienen la capacidad de comunicarse con humanos y otros agentes.

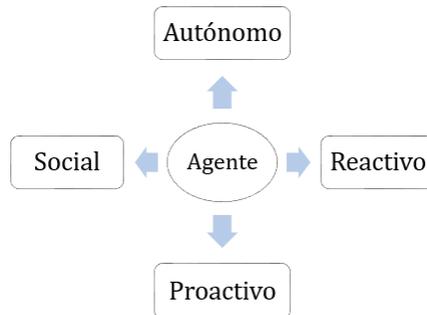


Figura 2.1: Características básicas de un agente virtual (Wooldridge, 2009).

Un agente virtual tiene un comportamiento que puede tener varios significados, puede ir desde la acción compleja del ser humano o de un animal basado en la voluntad o el instinto. Dicho comportamiento está influenciado por el ambiente o entorno en el cual el agente está inmerso (ver Figura 2.2), pues a partir de la percepción del agente existirá una retroalimentación del ambiente, y como respuesta una acción del agente que estará en función de sus objetivos, del conocimiento del cual está dotado (este conocimiento con el tiempo se ha ido enriqueciendo a partir de las experiencias) y de la retroalimentación. Este entorno cumple con varios papeles uno de ellos es el medio para el logro de los objetivos y tareas del agente virtual, también como el canal en donde se realizará la interacción entre los agentes o agente-usuario.

Un ambiente o entorno será entendido como todo lo que rodea al agente, un entorno físico o virtual que proporciona las condiciones necesarias para que los agentes existan y funcionen.



Figura 2.2: Agente virtual inmerso en un ambiente (Incorporated, 2016).

El reto de diseñar y desarrollar agentes virtuales consiste en imitar la conducta del objeto el cual se desea imitar, si nos enfocamos al ser humano el agente debe ser capaz de actuar libre y emocionalmente, ser consciente e impredecible, y ser coherente consigo mismo y su entorno (González, 2005).

Por tanto, se ha requerido de la colaboración de varias disciplinas para trabajar en los problemas existentes en el proceso de modelado, animación, y comportamiento de los agentes virtuales. Ya que los agentes virtuales están siendo utilizados en sistemas que tienen como objetivo apoyar en las tareas del ser humano, por ejemplo, los asistentes virtuales utilizados convencionalmente en la telefonía, hasta agentes virtuales que intentan ayudar a personas con problemas de relación social (por ejemplo, autismo, esquizofrenia, entre otras) (AlterEgo, 2012), problemas de depresión (Cancino, 2016), etc.

2.1.2. Arquitecturas en agentes

En el marco de las arquitecturas de los agentes existe una gran variedad, cada una encaminada a resolver un problema en específico. Entre las arquitecturas más importantes se encuentran las deliberativas, reactivas, híbridas, *Beliefs Desires Intentions* (BDI), etc., (Molina et al., 2005).

Una arquitectura será concebida como un sistema de toma de decisiones inmersos en un ambiente. Dichos sistemas consisten en estructuras de datos, operaciones que procesan dichos datos, y el flujo de control entre los mismos. El diseño de la función de decisión de una arquitectura de agentes se basa primeramente en subsistemas de percepción y acción según Wooldridge (2009). En otras palabras, una arquitectura está constituida por múlti-

2. MARCO TEÓRICO

ples módulos, donde estos módulos interactúan para definir las características internas del estado del agente.

No obstante, las arquitecturas antes mencionadas parten de un sistema de acción-reacción que producen comportamientos con la finalidad de actuar en favor de sus objetivos e interactuar con sus pares y el usuario, sin embargo, estos comportamientos distan del comportamiento del ser humano, una posible causa reside en que se está dejando aún lado el procesamiento cognitivo asociado en dichos comportamientos.

En respuesta a lo anterior, las arquitecturas cognitivas tienen como objetivo reproducir comportamientos semejantes al del ser humano en agentes, a partir del estudio de los procesos cognitivos concernientes al área biológica del humano. De ahí que la Neurociencia juegue un papel importante en el respaldo de las arquitecturas de agentes, ya que ésta estudia al CNS, en el entendimiento del pensamiento humano, emociones y comportamiento. A partir de la experimentación con seres humanos y animales, los neurocientíficos aprenden cómo el CNS se desenvuelve y funciona normalmente (Torres, 2013).

Entonces una arquitectura cognitiva específica la infraestructura de un sistema inteligente, incluye: un formalismo para representar el conocimiento, creencias y objetivos del agente, memoria a corto y largo plazo para guardar dicho contenido y por último procesos funcionales para adquirir, modificar y utilizar el conocimiento. Este tipo de arquitecturas intentan explicar el comportamiento humano, a partir de sus capacidades (Langley y Choi, 2006). Los componentes de una arquitectura cognitiva se diseñan con base en fundamentos teóricos de las Ciencias Cognitivas.

Además, la importancia de las arquitecturas cognitivas reside en que brindan soporte al objetivo principal de la Inteligencia Artificial y Ciencias Cognitivas, que consiste en la creación y entendimiento de los agentes que soportan las mismas capacidades de los humanos (Langley et al., 2009).

2.2. Emoción

A lo largo del documento se han mencionado términos asociados a la “emoción”, el papel que éste representa en la generación de comportamientos corpóreos, en particular, en una postura corporal, no obstante falta definir qué es una emoción. Desde el punto de vista de neurociencias las emociones son procesos complejos que tienen gran influencia en el comportamiento de las personas, que implican una respuesta motora tanto facial como en todo el cuerpo, mismo que conlleva un proceso cognitivo que realiza la valoración de la situación (Cardinali, 2007) para generar una respuesta adecuada.

Las emociones cumplen varias funciones, entre ellas se puede encontrar que las emociones preparan al organismo para que responda apropiadamente bajo las condiciones del ambiente, facilitan la interacción social (por ejemplo, la felicidad promueve las relaciones sociales, mientras que el enojo puede generar respuestas de ataque o defensa), además que influyen en una conducta motivacional cuyas características residen en que está dirigida a un objetivo y es efectuada con determinada intensidad.

La neurociencia cognitiva confirma que el procesamiento emocional puede llevarse de manera consciente e inconsciente, las conexiones que la amígdala mantiene con el hipotálamo producirán una respuesta emocional, sin que hasta el momento la información hubiera alcanzado la corteza y mediación consciente. En lo que concierne al aspecto consciente de las emociones, las estructuras involucradas incluyen la porción anterior del cíngulo, la corteza prefrontal orbital y ventromedial, el lóbulo temporal y la ínsula (Ostrosky y Vélez, 2013).

Por otro lado, en el rubro de la psicología han estudiado la existencia de diferentes emociones, es decir, emociones básicas universales a partir de la cual se pueden derivar otras emociones. Ekman (1977; 1994; 2015) realizó una clasificación de seis emociones básicas: ira, alegría, asco, tristeza, sorpresa y miedo, estas emociones son expresadas transculturalmente que pueden ser expresadas a partir de un patrón fisiológico que es específico para cada emoción, una de estas manifestaciones es la respuesta motora, dicha manifestación tiende a ser característica de las emociones relacionadas con la función de adaptación, por ejemplo, el miedo, felicidad, ira, aversión o desprecio (Montañés, 2005).

Como las emociones son parte de nuestra vida diaria, de cierta manera realizan una contribución en la realización de las actividades diarias sometidas a específicas condiciones de nuestro entorno, he aquí la importancia que radica en el proceso de regulación emocional qué es manejado como la capacidad de las personas para controlar y responder eficazmente a una experiencia emocional. Se han mostrado varias estrategias para la regulación emocional con el objetivo de adaptar el comportamiento de una persona a las exigencias del ambiente (Rolston y Lloyd-Richardson, 2015).

2.3. Lenguaje corporal

La interacción humano-computadora representa un papel decisivo para alcanzar el objetivo que persiguen los sistemas informáticos que implican una relación recíproca entre el sistema y el usuario, para ello estos sistemas se han apoyado de agentes virtuales que tienen la característica de ser semejantes a las personas tanto morfológicamente como comportamentalmente. Para llevar a cabo la interacción requiere de la presencia de un proceso de comunicación que no solo se efectúa por medio del habla y escritura, sino también por la producción de una serie de movimientos, posturas o gestos, a través de los cuales los indivi-

2. MARCO TEÓRICO

duos emiten numerosas señales, de carácter inconsciente y fuerte contenido emocional, que en conjunto se les conoce como el lenguaje corporal.

El lenguaje corporal ha sido objeto de estudio por varias áreas, entre los cuales se encuentra psicología, neurociencia, sociología y demás. En la psicología y sociología McCloskey (2001) define al lenguaje corporal como “la más espontánea expresión de nuestros pensamientos, por medio de nuestros gestos, mirada, movimientos, postura y apariencia indicando estados de ánimo, amor, disgusto, nerviosismo, etc.”. Convirtiéndose el lenguaje corporal en un paralenguaje (Rebel, 2004), que acompaña toda expresión verbal permitiendo acentuar la información, modificarla o incluso en ocasiones anular su significado transformándose en una metacomunicación (comunicación acerca de la comunicación).

Por otro lado, la neurociencia menciona que la mayor parte de la actividad cerebral transcurre al margen de la conciencia y que el cerebro tiene la capacidad de percibir y procesar la información no verbal de forma no consciente, es decir el lenguaje corporal es considerado como el “mensaje inconsciente y secreto del cuerpo, transmite emociones, indica el estado de ánimo y las intenciones del individuo, además de las características de nuestra personalidad” (Vestfrid, 2013).

Cabe señalar que existen factores asociados al lenguaje corporal que están estrechamente relacionados al comportamiento de los individuos, entre ellos se encuentran la expresión facial (información que es transmitida a través de la expresión de la cara), mirada (información que es transmitida a través de la expresión de los ojos), postura (es el modo en que se mantiene el cuerpo cuando estamos de pie, caminando, sentados o acostados), gestos (estímulos visuales que se envían a la persona con la que se habla), etc. De esta manera la comunicación desempeña varias funciones, algunas de ellas son:

- Enfatizar el lenguaje verbal.
- Expresar emociones y sentimientos.
- Sustituir palabras.
- Orientar la forma en la que el mensaje verbal debe ser interpretado.
- Posibilidad de contradecir la comunicación verbal.
- Regular la comunicación.

Por consiguiente, el lenguaje corporal se basa en las acciones motoras del cuerpo humano, y que los cambios en el estado emocional de la persona serán reflejados por variaciones en las posturas del cuerpo, en donde la configuración del cuerpo como orientación son significativamente afectados por la actitud del comunicador (Pérez et al., 2012).

2.3.1. Postura corporal

La postura corporal es uno de los factores del lenguaje corporal que representa información no verbal y que la mayoría de veces es inconsciente, la Real Academia Española (2017) define una postura como “el modo en que esta puesto el cuerpo”, en otras palabras, es la relación de las posiciones de todas las articulaciones del cuerpo y su correlación entre la situación de las extremidades con respecto al tronco y viceversa (ver Figura 2.3).

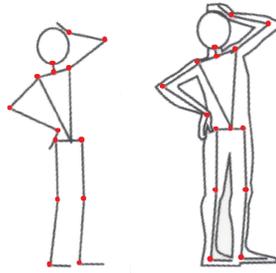


Figura 2.3: Configuración de las articulaciones del cuerpo.

Además, que las posturas son comportamientos que suelen ser más estables que los gestos y pueden durar desde minutos hasta varias horas, éstas suelen comunicar intensidades emocionales o expresar cual es nuestro estado afectivo en un momento determinado bajo condiciones específicas.

El sistema locomotor juega un papel importante al hablar de una postura corporal, ya que a través de la estructura esquelética (misma que está conformada por 206 huesos y 306 articulaciones) el cuerpo humano adopta posturas específicas. En la medicina (Puig et al., 2006) han dividido el cuerpo humano en cuatro regiones para facilitar su estudio, estas regiones son: extremidades inferiores, extremidades superiores, tronco y cabeza, estas regiones se pueden observar en la Figura 2.4. Las articulaciones desempeñan un papel importante en el análisis de una postura y a partir de ésta deducir el estado emocional del individuo.

Por consiguiente, la generación de una postura estará estrechamente relacionada con el proceso motor, en dicho proceso participan varias estructuras cerebrales que juegan un papel importante.

2.3.2. Reconocimiento de una emoción a partir de una postura

La importancia de reconocer una emoción a partir del comportamiento exhibido, es un rubro que ha sido tratado por varios estudios en el área computacional (por ejemplo, Kleinsmith,

2. MARCO TEÓRICO

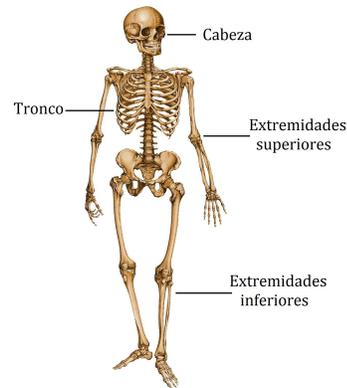


Figura 2.4: Regiones del cuerpo.

2007; Coulson, 2004; Cimen et al., 2013) y psicológica (por ejemplo, Shafir, 2016; Shafir et al., 2016). En estos estudios enfocados al discernimiento de las emociones a partir de configuración del cuerpo, se pueden destacar los desarrollados por Kleinsmith y Bianchi-Berthouze (2007) que plantean un modelo para el reconocimiento de estados emocionales basados en las emociones básicas (definidas por Ekman (1994; 2015)) a partir de características posturales, estas características se fundamentan en la dirección y volumen del cuerpo, mismos que fueron descritos por los tres planos ortogonales, la medida de la extensión lateral, frontal y vertical del cuerpo, torsión del cuerpo y la inclinación de la cabeza y hombros, viéndose esto reflejado en 24 características posturales que describen las 4 posturas emocionales de la Figura 2.5.

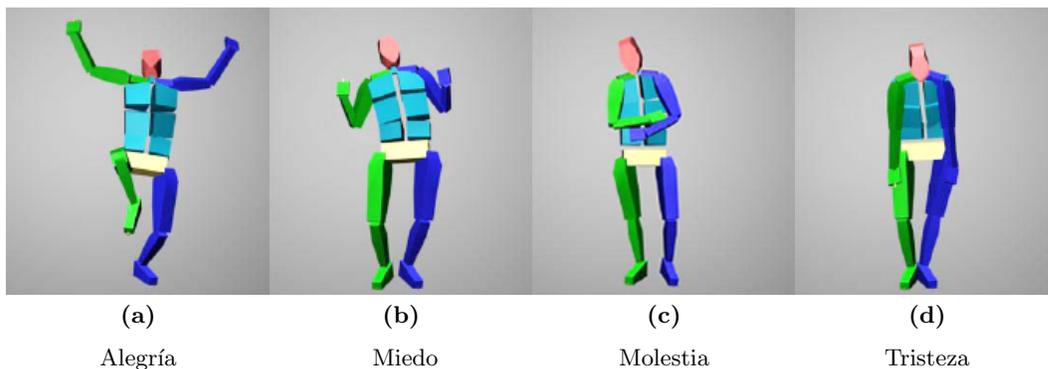


Figura 2.5: Expresión emocional bajo 24 características posturales (Kleinsmith et al., 2006).

La anterior información se complementa con los estudios realizados por Shafir (Shafir, 2016; Shafir et al., 2016) que demostró que a partir de cuatro características motoras tales como: el cuerpo, esfuerzo, forma y espacio (mismas que son estudiadas en Análisis de Movimiento Laban (Laban y Ullmann, 2011)) se puede realizar la identificación de algunas emociones, en particular, la felicidad, enojo, miedo y tristeza, donde el cuerpo y espacio son cruciales para el reconocimiento.

En dichos estudios obtuvieron posturas corporales peculiares que son interpretadas en el marco de una emoción, con respecto al enojo los movimientos son rápidos, fuertes y directos, la cabeza ligeramente inclinada al frente, con los brazos estrechados en frente; el miedo fue predicho con un cuerpo condensado y cerrado, que conforme el espacio tendía a moverse hacia atrás, con el torso inclinado hacia atrás (es decir, con postura de retirada) y hombros de la misma forma. Para la felicidad los movimientos se representan por medio de brincos rítmicos, con los brazos levantados que describían movimientos libres juntamente con un cuerpo expandido horizontalmente. Finalmente, con la tristeza el cuerpo se mostraba hundido con pérdida de tono muscular, torso y cabeza abajo. Anteriores descripciones se pueden observar con los resultados de Kleinsmith y Bianchi-Berthouze (2007).

En resumen, se pueden detectar diferentes descriptores posturales (Cimen et al., 2013; Bernhardt, 2010), entre ellos se encuentran: posición, orientación, centros de masa, amplitud, velocidad, aceleración y tirón o sacudida (es decir hay una sobreaceleración).

2.3.3. Control motor

En el campo de la neurociencia aplicada (Cardinali, 2007) han demostrado que el centro de locomoción del sistema motor está localizado en el lóbulo frontal (Kolb y Whishaw, 2006), mismo que se encarga de planificar los movimientos, organizar la secuencia de movimientos y finalmente su ejecución (ver Figura 2.6).

El sistema motor está integrado jerárquicamente por varias estructuras que están interactuando, llevando a cabo la transferencia de información aferente y eferente (ver Tabla 2.1) para llevar a cabo el movimiento voluntario, es decir, aquel que está dirigido al cumplimiento de un objetivo. Con la estructura jerárquica los diferentes niveles se influyen unos a otros, por lo que el flujo de información es tanto en serie (comunicación entre diferentes niveles) como en paralelo (múltiples vías entre cada nivel). En la Figura 2.7 se pueden identificar las estructuras principales que participan en la función motora, estructuras que se explican a continuación.

- *Ganglio basal*. Facilita la selección e inhibición de movimientos y es la entrada para iniciar el movimiento.
- *Cerebelo*. Cumple la función de corregir errores en el movimiento comparando las

2. MARCO TEÓRICO

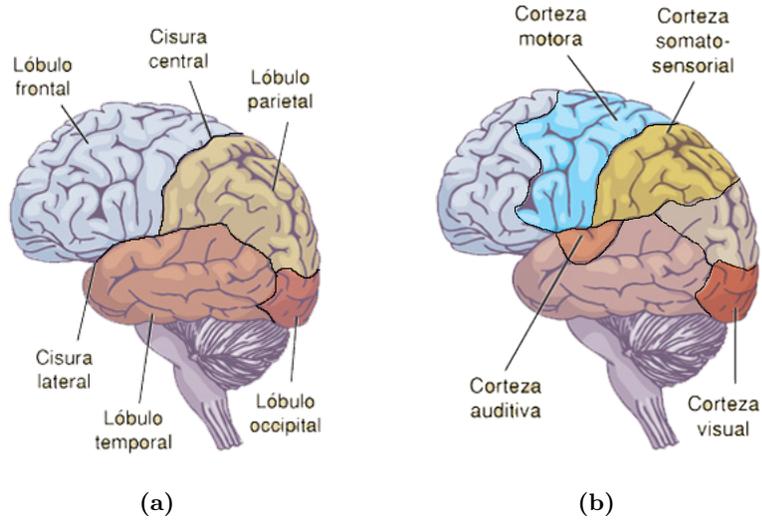


Figura 2.6: a) Mapeo de los lóbulos en el cerebro (Emaze, 2014). b) Localización de la corteza motora en el lóbulo frontal (Emaze, 2014).

Tabla 2.1: Jerarquía del control motor (Bear et al., 2007).

Nivel	Función	Estructuras
Alto	Estrategia	Áreas asociadas a la neocortex, ganglio basal
Medio	Tácticas	Corteza motora, cerebelo
Bajo	Ejecución	Tronco cerebral, médula espinal

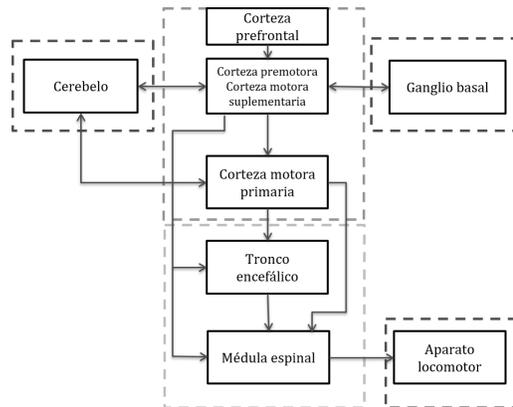


Figura 2.7: Circuito del sistema motor (Kolb y Whishaw, 2006).

ordenes motoras producidas con la retroalimentación sensorial sobre el movimiento que realmente se produjo, conjuntamente sincroniza los diferentes movimientos.

- *Corteza premotora y Corteza motora suplementaria.* La corteza premotora está involucrada en la selección de los planes motores apropiados para los movimientos voluntarios, también se encarga de seleccionar los programas motores basados en estímulos visuales, por otra parte, la corteza motora suplementaria está asociada con escoger los movimientos basados en secuencias de movimientos recordados y en la práctica mental de estos movimientos.
- *Corteza motora primaria.* Abarca la ejecución de movimientos seleccionados por la corteza premotora.
- *Tronco encefálico y médula espinal.* Todos los movimientos son producidos por neuronas motoras de la médula y el tronco encefálico que inervan los músculos. Estas motoneuronas están controladas y coordinadas por el encéfalo, por neuronas de la corteza cerebral y el tronco del encéfalo. Asimismo, la médula espinal aporta al control postural.
- *Sistema locomotor.* Está integrado por los músculos que al contraerse generan el movimiento de los huesos.
- *Corteza parietal posterior.* Procesa las relaciones espaciales de los objetos en el mundo y construye una representación del espacio externo que es independiente de la posición del ojo del observador.
- *Corteza prefrontal.* Realiza la evaluación de una actividad en particular.

Específicamente la corteza prefrontal y la corteza parietal posterior no son áreas motoras en sentido estricto, sin embargo, estas áreas son necesarias para asegurar que los movimientos se adapten a las necesidades del organismo y sean apropiados al contexto conductual.

2.4. Trabajos relacionados

Existen varios trabajos en el estado del arte que tratan de dotar a sus sistemas con la capacidad de expresar emociones. Con base en las características de los estudios se pueden clasificar en dos categorías; los trabajos orientados a dotar a sus sistemas de respuestas generales que contemplan el procesamiento o generación de emociones, denominados “arquitecturas cognitivas”; y los trabajos orientados específicamente a generar expresiones emocionales denominados “sistemas con expresiones emocionales”.

2.4.1. Arquitecturas cognitivas con emociones

Las arquitecturas cognitivas buscan dotar de múltiples capacidades cognitivas a sus sistemas. En sí, estos modelos no buscan directamente dotar a los entes cibernéticos de la capacidad de expresar emociones, si no que tratan de generar comportamientos complejos orientados a sus contrapartes biológicas, particularmente los comportamientos humanos. En términos generales una arquitectura cognitiva es un modelo cognitivo computacional de dominio genérico, que captura la estructura esencial y el proceso de la mente, con el fin de ser utilizado para el análisis de la cognición y el comportamiento (Sun, 2007). Por dicha razón varias arquitecturas cognitivas se han encauzado a estudiar el proceso de emociones. A continuación se discuten algunas de estas arquitecturas cognitivas más mencionadas en la literatura que involucran comportamientos emocionales en su modelado.

Integrated Cognitive Universal Body (iCub) (Vernon et al., 2010). Es una arquitectura cognitiva cuyo diseño se basa en el conocimiento existente en las áreas de robótica, computación, neurociencias y psicología, con el propósito de copiar algunos procesos cognitivos de los humanos e incorporarlos a los robots humanoides (ver Figura 2.8). Esta arquitectura es implementada en iCub robot humanoide con 53 grados de libertad, el cual tiene la capacidad cognitiva de un niño de 2.5 años. Es un robot capaz de expresar facialmente un conjunto de siete emociones propuestas por Ekman (1994; 2015), las cuales son enojo, disgusto, miedo, alegría, tristeza, sorpresa y el estado neutro (Churamani et al., 2016). La parte locomotora está encaminada a acciones simples dirigidas a objetivos, sin embargo, corporalmente aún no cuenta con un sistema capaz de expresar físicamente estados emocionales internos. Por otro lado, su circuito se basa en la funcionalidad de tres estructuras cerebrales, hipocampo, ganglio basal y amígdala (Vernon et al., 2007).

Learning Intelligent Distribution Agent (LIDA) (Franklin y Ramamurthy, 2006; Franklin et al., 2007; Snaider et al., 2011; Franklin et al., 2014). Es un modelo conceptual y computacional, diseñado para agentes inteligentes que trata de cubrir gran parte de la cognición humana (ver Figura 2.9). Este modelo se basa principalmente en la teoría de espacio de trabajo global desarrollada en el área de neuropsicología, sin embargo, su funcionamiento no parte de la actividad de estructuras cerebrales. LIDA es un conjunto de herramientas computacionales como un modelo subyacente de la cognición humana. Para esta arquitectura la emoción como el sentimiento son otro dato en el sistema, es por ello, que a pesar de contemplar evaluaciones emocionales no cuenta con un módulo dentro de su sistema que este orientado a la expresión de comportamientos emocionales.

State Operator And Result (SOAR). Es una arquitectura cognitiva diseñada para desarrollar agentes inteligentes (Laird, 2012). Estos agentes pueden resolver desde problemas rutinarios hasta complejos problemas abiertos. El diseño de SOAR está basado en la hipótesis de que todo comportamiento deliberativo orientado a metas, puede ser formulado como la selección y aplicación de operadores a un estado (Laird, 2012). SOAR propone

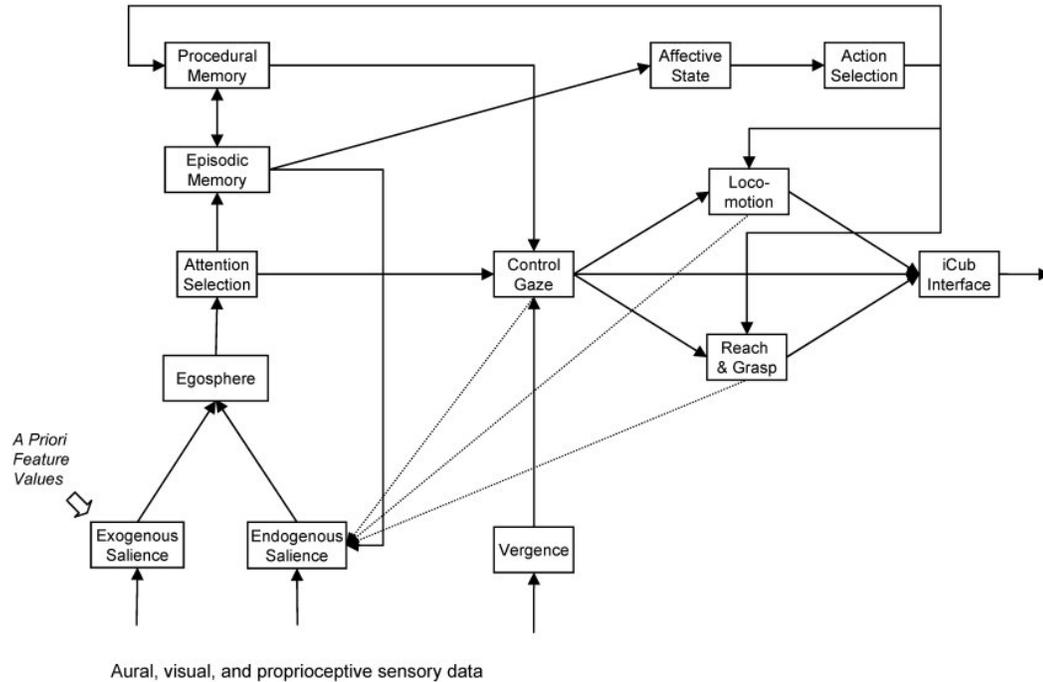


Figura 2.8: Modelo de la arquitectura cognitiva iCub versión 0.4 (Vernon et al., 2010).

un proceso emocional teórico embebido actualmente dentro de su modelo, en el módulo de *appraisal detector* (ver Figura 2.10), pero dicho proceso no se encuentra totalmente implementado y no cuenta con la generación de comportamientos emocionales físicos.

2.4.2. Modelos computacionales con comportamientos emocionales

Debido a la importancia que tiene la expresión de comportamientos emocionales en la interacción hombre-máquina, algunos trabajos en las ciencias computacionales se han enfocado a explorar dicha área en aras de una expresión emocional más parecida a la del humano. En particular, los modelos de estos trabajos tienen un fin específico, a diferencia de las arquitecturas cognitivas cuyo propósito menos concreto. En este apartado se describirán a grandes rasgos algunos de estos modelos computacionales que comparten alguna semejanza con el objetivo de esta investigación.

Baldassarri y Cerezo (2012) proponen la generación de comportamientos emocionales en criaturas virtuales con el apoyo de la plataforma *Maxine* (Baldassarri et al., 2008),

2. MARCO TEÓRICO

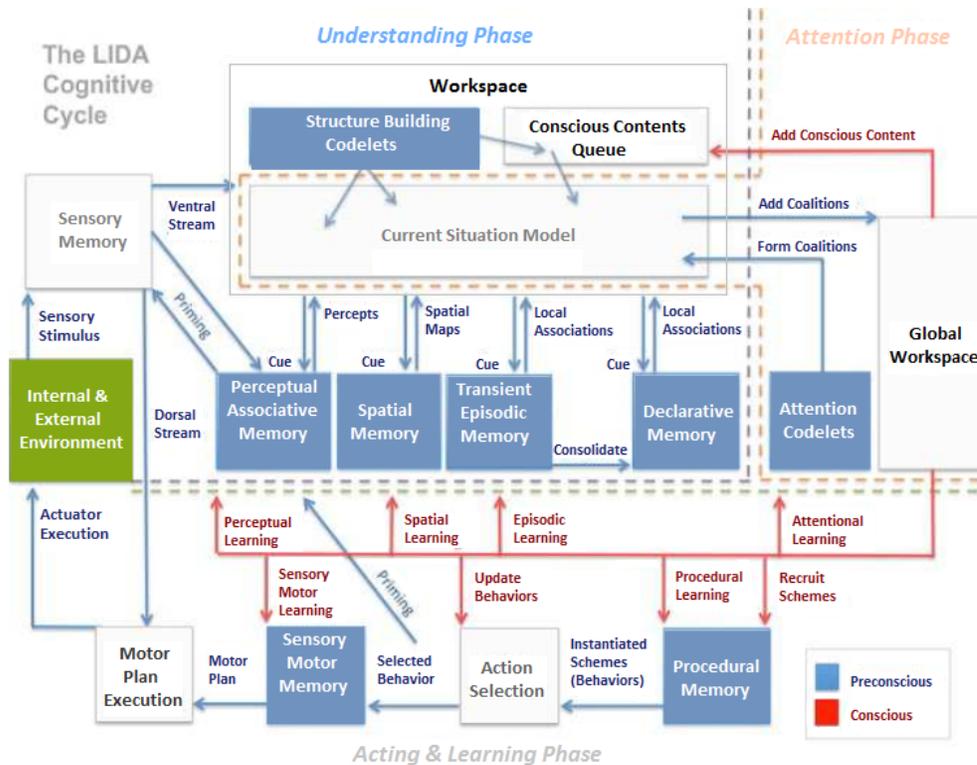


Figura 2.9: Modelo de la arquitectura cognitiva LIDA resaltando el flujo consciente e inconsciente (Franklin et al., 2014).

esta plataforma se compone por varios módulos: percepción, análisis efectivo, deliberación y motor (ver Figura 2.11), y es precisamente los módulos de análisis afectivo y motor, donde se genera la respuesta de la criatura a partir de la extracción de información emocional acorde a la percepción, posteriormente es integrada para expresar alguna de las seis emociones básicas (enojo, disgusto, miedo, felicidad, tristeza y sorpresa) más un estado neutral de forma corporal (Guedes et al., 2008), mismas que son manipuladas bajo un enfoque discretizado. La relación existente entre las emociones y los cambios realizados en la postura corporal fue basada en las principales regiones del cuerpo (cabeza, tronco, extremidades superiores y extremidades inferiores), y los cambios realizados en la postura corporal (esto es, variaciones de la dirección, extensión y amplitud de los ángulos de las articulaciones) en el trabajo de Su (Su et al., 2007).

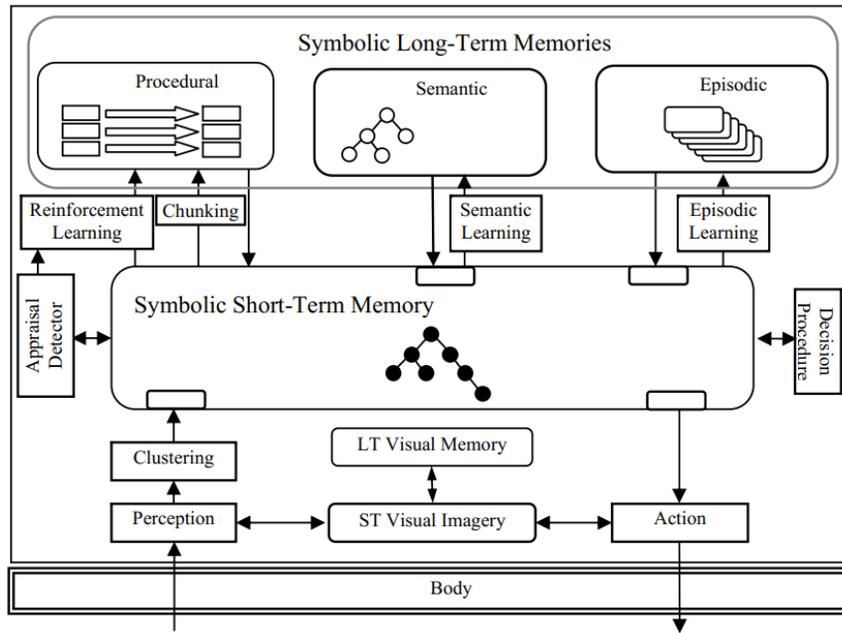


Figura 2.10: Modelo de la arquitectura cognitiva SOAR versión 9 (Laird, 2012).

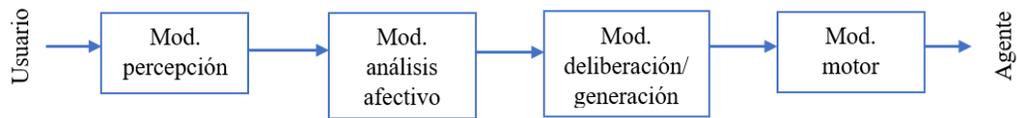


Figura 2.11: Arquitectura de la plataforma *Maxine* (Baldassarri y Cerezo, 2012).

Zhang et al. (2012), su propuesta se enfoca en la expresión de emociones sintéticas en avatares, misma que parte de una evaluación emocional tratada bajo probabilidades que representan la intensidad de cada una de las emociones básicas (Ekman y Friesen, 2015), posteriormente se realiza una búsqueda de los movimientos candidatos (que están asociados a una emoción) a partir de las probabilidades emocionales, que más adelante serán asociados a partir de algunas restricciones (por ejemplo $existe(c_i)$, $excluye(c_i, c_j)$, $precede(c_i, c_j)$, etc.) que permiten correlacionar los movimientos para su subsecuente mezcla, y finalizar con su reproducción en una criatura virtual. Los movimientos son recuperados de una base de datos cuya información está estructurada de forma semántica para describir las características de los movimientos y facilitar su acceso. En la Figura 2.12 se observa de manera general el modelo de la propuesta de Zhang et al.

Thafar y Bansal (2016) proponen un modelo multimodal dirigido a la expresión del

2. MARCO TEÓRICO

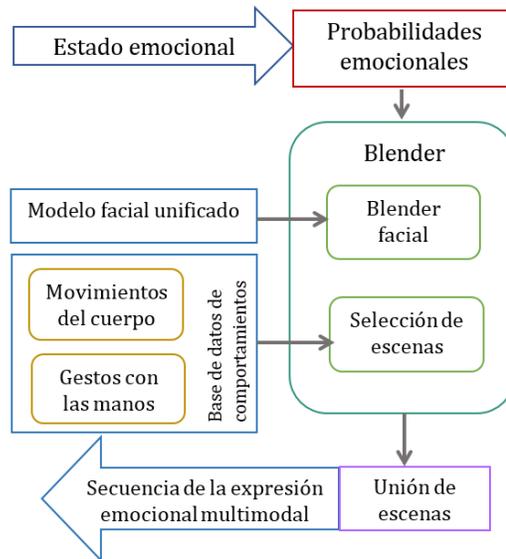


Figura 2.12: Modelo de Zhang et al. (2012).

estado emocional comprendido por el conjunto de las seis emociones básicas (Ekman y Friesen, 2015), desde la combinación de tres dominios, la expresión facial, el habla y los gestos (ver Figura 2.13), mismos que son definidos a través de conjuntos difusos y semántica algebraica. Respecto a los gestos son divididos en dos subclases: posturas y movimientos, que son manejados en el marco de partes del cuerpo, tales como, cabeza, hombros, brazo, torso, muñeca y ojos. Las posturas y movimientos son correlacionados con varias emociones e intensidades. Y los movimientos son complementados con algunas características como velocidad, aceleración, frecuencia, etc.

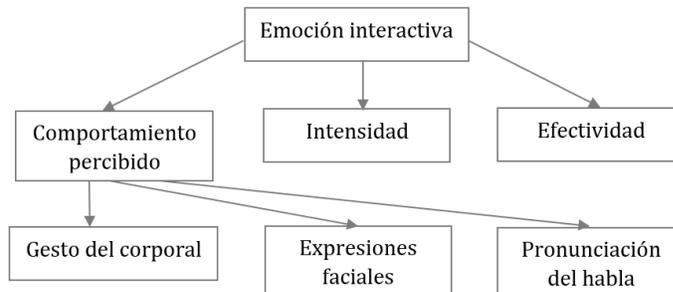


Figura 2.13: Descripción de la emoción interactiva según Thafar y Bansal (2016).

2.4.3. Modelos neurocientíficos

La construcción y búsqueda de modelos que reflejen el funcionamiento de una determinada función cognitiva no es propia de las ciencias computacionales. Existen varios modelos conceptuales basados en evidencia neurocientífica que están orientados a generar una respuesta locomotora como producto de un procesamiento emocional. En estos trabajos se lleva a cabo la identificación de múltiples estructuras cerebrales involucradas con el proceso antes mencionado (se plasman en la Tabla 2.2) y a continuación son citados.

Takakusaki (2017). Propone un modelo que refleja el flujo de la información para generar comportamientos motores influenciados por los componentes: emocional y cognitivo, en el control postural. La relación emocional destaca la proyección del sistema límbico al tronco encefálico, cuyas estructuras cerebrales son reflejadas en la Tabla 2.2. En el proceso inicialmente mencionado están cinco procesos inmiscuidos: ventral (asociado al sistema de recompensa), excitatorio, inhibitorio, locomoción y retroalimentación sensorial, que están estrechamente relacionados. Es justamente a la *Mesencephalic Locomotor Region* (MLR), que se le atañe el control postural y regulación de tono muscular.

Steimer (2002). Su propuesta se orienta a la primera fase de respuestas emocionales (concretamente el miedo y ansiedad) que están íntimamente ligados a comportamientos reactivos suscitados por una situación de peligro o amenaza, que provocan una fuerte excitación cerebral (ver Tabla 2.2) a partir de la liberación de Noradrenalina (NA) por el *Locus Coeruleus* (LC) y cuyo comportamiento de salida está vinculado a *Periaqueductal Gray* (PAG). Sin embargo, este tipo de comportamientos pueden ser modulados por un procesamiento cognitivo en donde se observa involucrada a la *Prefrontal Cortex* (PFC).

Jordan (1998). Desarrolla un modelo que engloba las estructuras cerebrales que están envueltas en la iniciación de la locomoción en diferentes contextos, particularmente en MLR y de la aseveración que la *Spinal Cord* (SC) contiene un *Central Pattern Generator* (CPG). Este modelo parte de la identificación de tres tipos de locomoción asociados al comportamiento: exploratorio concerniente a los estímulos que comprenden directamente de características del ambiente en *Basal Ganglia* (BG) y MLR, apetitivo primario está asociado a estímulos que representan incentivo o consumible en *Hypothalamus* (HYP) y MLR, y finalmente el defensivo primario relacionado a la distancia entre el organismo y la amenaza o estímulo doloroso en HYP, PAG y MLR (ver la Tabla 2.2).

Takakusaki y Okumura (2008). Plantean comportamientos locomotores (posturas y movimientos) independientemente que sean iniciados por un procesamiento volitivo en la corteza cerebral o procesamiento emocional en el sistema límbico, ambos encierran un procesamiento de comportamientos ejecutados de manera automática, por ejemplo, el ajuste de tono muscular. Este tipo de procesamiento automático es realizado en el tronco encefálico y SC, y es conocido como cerebro reptiliano, mismo que interactúa con la corteza límbica

2. MARCO TEÓRICO

y cerebral para generar comportamientos adecuados a la situación (ver en la Tabla 2.2).

Shemmell (2015). Fundamenta un modelo conceptual (ver Tabla 2.2) que muestra la interacción de los reflejos de sobresalto y estiramiento, que producen respuestas motrices que son involuntarias (la mayoría de las veces), proporcionales al estímulo percibido a través del sistema auditivo, vestibular o somato-sensorial. Además, del aporte de éstos en respuestas posturales rápidas que dan lugar a reflejos de escape. Sin embargo, es posible ajustar estas respuestas de acuerdo al objetivo, con la intervención de la *Primary Motor Cortex* (M1) y *Supplementary Motor Cortex* (SMA), que brindan un procesamiento cognitivo.

La Tabla 2.2 es una síntesis de los modelos neurocientíficos antes mencionados; donde se hace una relación del modelo con las estructuras cerebrales asociadas expresadas a través de sus acrónimos (consultar Sección de Acrónimos).

Tabla 2.2: Estructuras cerebrales asociadas en generar comportamientos emocionales exhibidos.

Proceso/Área cerebral	HYP	ACC	AMY	NAC	DSTM	VP	VTA	PAG	MLR		RF	LC	RN	STN	SC	FN	MI	SMA	PFC	THA
									CNF	PPN										
Takakusaki (2017)	Sistema excitatorio																			
	Sistema inhibitorio																			
	Sistema locomotor																			
	Retrolimentación sensorial																			
	Sistema ventral																			
Steimer (2002)	Modelo integral																			
	Sistema exploratorio																			
Jordan (1998)	Sistema apetitivo primario																			
	Sistema defensivo primario																			
	Sistema común																			
Takakusaki y Okumura (2008)	Modelo integral																			
Shemmell (2015)	Modelo orientado a reflejos																			

Marco metodológico

Este capítulo, tiene como objetivo abordar la metodología con la cual se desarrolla la propuesta de investigación.

La metodología bajo la cual se realiza dicha investigación se fundamenta en la propuesta por Torres (2013) que fue diseñada para generar arquitecturas cognitivas, y misma que es orientada al desarrollo de arquitecturas de agentes a partir de evidencia neurocientífica, por dichas razones es adoptada para esta investigación. La metodología se compone por una serie de pasos que se describen en las siguientes líneas y que se ilustran en la Figura 3.1.

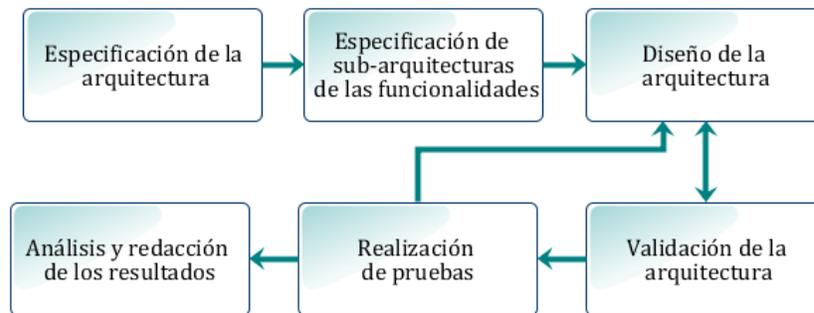


Figura 3.1: Metodología para el desarrollo de arquitecturas cognitivas basadas en evidencia neurocientífica (Torres, 2013).

I. *Especificación de la arquitectura.*

Se establecen los objetivos de la arquitectura (las funcionalidades que tendrá la criatura virtual que contenga la arquitectura cognitiva). Además de definir alcances y limitaciones, los alcances de la arquitectura se definen como los trabajos necesarios para alcanzar los objetivos impuestos anteriormente. Por otro lado, las limitaciones dictan aquellos objetivos que pueden ser inalcanzables a pesar de que la arquitectura

esté completa.

La arquitectura propuesta en este trabajo está enfocada a reproducir posturas corporales que representan un tipo de comportamiento como respuesta al estado emocional que embarca a la criatura virtual, entendiendo que el estado emocional está acotado por las emociones básicas definidas por Ekman (1994). Lo anterior a partir de la identificación del flujo de la información que se genera tras realizar la evaluación emocional del estímulo percibido del ambiente a través de algunos de los sentidos de percepción (por ejemplo, vista, oído, tacto, etc.).

II. *Especificación de sub-arquitecturas de las funcionalidades.*

En esta etapa se especifica el contexto, objetivos y alcances de las funcionalidades que componen la arquitectura cognitiva. Es decir, se realiza el estudio de la evidencia neurocientífica que engloba la comprensión de la actividad nerviosa y su propagación; los fenómenos que se suscitan durante el paso de información entre las diversas estructuras cerebrales; y los distintos tipos de células nerviosas y su funcionamiento referente a la función a modelar, con el fin de obtener:

Estructuras cerebrales: se refiere a todas las estructuras cerebrales que se activan durante la ejecución de la sub-funcionalidad, aún cuando dichas estructuras no estén directamente relacionadas con ésta.

Comunicación: explica la comunicación entrada/salida de cada una de las estructuras cerebrales, especificando las conexiones entre las estructuras.

Conjuntos de estructuras cerebrales: especifica los conjuntos de estructuras que tienen conexiones más fuertes y dividen ciertos procesos que componen la sub-funcionalidad.

Posterior a la definición del objetivo principal del modelo se observó que en dicho proceso participan diferentes funciones cognitivas, entre ellas se encuentran:

Emociones: el cual implica una valoración afectiva del estímulo percibido del ambiente (Rosales et al., 2013; Rosales, 2017; Rosales et al., 2017a).

Memoria: específicamente la memoria procedimental, donde se tienen almacenados estos procedimientos motores que son impactados por el estado emocional (Albouy et al., 2015; Vernon et al., 2015; Ullman, 2016).

Toma de decisiones y Planeación: para poder elegir cual procedimiento motor es el más adecuado para expresar el estado emocional apropiado al ambiente y coordinar como es que será ejecutado (Macpherson et al., 2014; Cervantes et al., 2017).

Sistema motor: implicado en la inervación de los músculos del cuerpo para generar el movimiento (Lanciego et al., 2012; Frijda et al., 2014; Becker, 2017; Blakemore y Vuilleumier, 2017).

Una vez identificadas dichas funciones, se procede con el reconocimiento de las estructuras cerebrales vinculadas, mismas que a continuación son listadas con una breve descripción de sus tareas no solo con la funcionalidad general del modelo sino en otros procesos relacionados.

Ventral Tegmental Area/Substantia Nigra pars Compacta (VTA/SNC) está envuelta en la generación de comportamientos, particularmente, en aquellos que son generados por motivaciones psicológicas (Bailey et al., 2016), y evaluación de recompensa inducida por suministro de drogas (Pierce y Kumaresan, 2006). También es considerado como el centro dopaminérgico del cerebro debido a la alta concentración de neuronas de Dopamina (DA) (Sesack y Grace, 2010; Richard et al., 2013). La DA alojada en SNC juega un rol en la ejecución motora (Haber, 2003; Grillner et al., 2005), en la formación de hábitos (Haber, 2003), gratificación y aversión (Rossi et al., 2013; Ilango et al., 2014).

Amygdala (AMY) está envuelta en el procesamiento emocional (Stein et al., 2007; Hashmi et al., 2013), concretamente en la evaluación afectiva del ambiente, en la generación de respuestas afectivas (en expresiones corporales y estados mentales), la percepción de comportamientos emocionales, regulación de comportamientos afectivos y/o estados afectivos (Whalen y Phelps, 2009; Sesack y Grace, 2010; Lindquist et al., 2012), y proceso de recompensa, proporcionando la comparativa basado en el valor afectivo del estímulo percibido por previas experiencias (Camara et al., 2009; Sesack y Grace, 2010; Macpherson et al., 2014; Rosales et al., 2017a).

Hypothalamus (HYP) está relacionada con el mecanismo de homeostasis (Ulrich-Lai y Herman, 2009; Dorocic et al., 2014), respuestas motoras autonómicas (Cavdar et al., 2001; Ulrich-Lai y Herman, 2009; Ullah et al., 2015) iniciadas en el *brainstem* y *spinal cord* (Cavdar et al., 2001), coordina comportamientos instintivos orientados a la supervivencia (Ullah et al., 2015) y defensa (Ullah et al., 2015).

Striatum (STM) está asociada con la selección de la respuesta ante ciertas condiciones del ambiente (Balleine y O'doherty, 2010; Keeler et al., 2014; Reynolds y Parr-Brownlie, 2016), secuenciación, desempeño de respuestas instrumentales (Balleine y O'doherty, 2010; Wendler et al., 2014; Keeler et al., 2014), regulación de señales para el proceso de aprendizaje (Wendler et al., 2014; Reynolds y Parr-Brownlie, 2016). Además representa la principal entrada del ganglio basal (Haber, 2003; Leisman y Melillo, 2013).

Anatómicamente, esta estructura se divide en dos diferentes estructuras, descritas abajo:

- ***Ventral Striatum (VSTM)*** juega un rol importante en el aprendizaje (Kelley,

3. MARCO METODOLÓGICO

2004), recompensa (Fließbach et al., 2007; Rosales et al., 2017b), alimentación (Kelley et al., 2005), y comportamiento sexual (Kelley, 2004). Está envuelta en la selección de comportamientos apropiados y/o dirigidos a objetivos (Smith y Kieval, 2000; Camara et al., 2009), en la respuesta motora está directamente asociados a estímulos percibidos con recompensa (Smith y Kieval, 2000), y efectos de recompensa anticipatorios (Smith y Kieval, 2000; Camara et al., 2009).

Anatómicamente, esta estructura contiene el *Nucleus Accumbens (NAC)* envuelto en el proceso emocional (Kelley et al., 2005), y en el proceso de recompensa (Cardinal et al., 2002; Smith y Berridge, 2007; Sesack y Grace, 2010; Russo y Nestler, 2013; Macpherson et al., 2014; Castro et al., 2015).

- *Dorsal Striatum (DSTM)* esta asociado en la generación de hábitos (Balleine y O'doherty, 2010; Aarts et al., 2011; Keeler et al., 2014) condicionamiento instrumental (Sesack y Grace, 2010; Brovelli et al., 2011; Macpherson et al., 2014), en la inserción de un control cognitivo (Brovelli et al., 2011), y reforzamiento de movimientos dirigidos a recompensa (Bédard y Sanes, 2009).

Se conforma por *Caudate Nucleus (CN)* que participa en la integración de información para un control cognitivo (Brovelli et al., 2011) y en el proceso de toma de decisiones de comportamientos asociados a objetivos (Yin et al., 2005; Balleine y O'doherty, 2010; Brovelli et al., 2011; Keeler et al., 2014). Por otro lado, se encuentra el *Putamen (PUT)* vinculado con la adquisición y consolidación de comportamientos habituales (Balleine y O'doherty, 2010; Brovelli et al., 2011; Aarts et al., 2011; Keeler et al., 2014; Hiebert et al., 2017), bajo una representación de secuencia (Dezfouli y Balleine, 2012), además de un desarrollo de comportamiento autónomo (Brovelli et al., 2011; Yu et al., 2013).

Ventral Pallidum (VP) está envuelto en el procesamiento hedónico del hambre y sed (Smith y Berridge, 2007; Smith et al., 2009, 2011; Richard et al., 2013; Castro et al., 2015), y es un sitio crucial para la recompensa y motivación del cerebro (Smith et al., 2009; Takakusaki, 2017).

Anatómicamente, esta estructura es parte del *globus pallidum* y es parte del sistema dopaminérgico del cerebro (Smith y Kieval, 2000; Smith et al., 2009). Una estimulación química directa de esta estructura amplifica reacciones faciales causadas por el impacto hedónico de sabores dulces (Smith y Berridge, 2007; Castro et al., 2015).

Periaqueductal Gray (PAG) está involucrada en comportamientos dirigidos a objetivos en la recompensa, en el control de comportamientos no aprendidos (Cardinal et al., 2002), y respuestas corporales relacionadas con el dolor (Neugebauer et al., 2004). Además está relacionado con comportamientos automáticos resultado de reacciones del ambiente como es el caso de comportamientos emocionales (Cardinal et al., 2002), y la integración de comportamientos apropiados como respuestas ante estresores internos (dolor) y externos (amenazas) (Benarroch, 2012; Coulombe et al., 2017).

Mesencephalic Locomotor Region (MLR) esta estructura es asociada en la regulación del tono muscular (Lee et al., 2000; Alam et al., 2011), controlando diferentes componentes de postura y estabilización (Wilcox et al., 2011; Blood et al., 2012), además de influenciar en el inicio, aceleración, desaceleración y terminación del andado (Lee et al., 2000). Anatómicamente esta dividido en:

- ***Pedunculopontine Nucleus (PPN)*** está ligado con el control de supresión de tono muscular axial para mediar la estabilidad del andar (Grillner et al., 2005; Wilcox et al., 2011; Blood et al., 2012; Peterson y Horak, 2016; Takakusaki, 2017), a través del control directo de los músculos (Jenkinson et al., 2009). También almacena respuestas posturales automáticas (Stapley y Drew, 2009; Nonnekes et al., 2013, 2014; Peterson y Horak, 2016), y modula la duración del paso y la frecuencia con la cual es realizado (Jenkinson et al., 2009; Tykocki et al., 2011).
- ***Cuneiform Nucleus (CNF)*** está comprometido con la excitación del tono muscular (Takakusaki, 2013; Xiang et al., 2013), contribuyendo al inicio de una postura y el andado (Takakusaki et al., 2003; Fournier-Gosselin et al., 2013).

Reticular Formation (RF) está vinculado con la preparación motora y control postural (Nonnekes et al., 2014) y contribuye a la producción de respuestas motoras coordinadas cuando existe una perturbación (Stapley y Drew, 2009).

Locus Coeruleus (LC) representa el principal núcleo noradrenérgico (Samuels y Szabadi, 2008; Szabadi, 2013) que está asociado a la regulación de funciones fisiológicas (Samuels y Szabadi, 2008; Szabadi, 2013), regulación de la actividad autonómica y excitación (Samuels y Szabadi, 2008; Szabadi, 2013), formación y recuperación de la memoria emocional (Chen y Sara, 2007; Samuels y Szabadi, 2008; Szabadi, 2013) y regulación del tono muscular en el ciclo de sueño-vigilancia (Mileykovskiy et al., 2000).

Raphe Nucleus (RN) este núcleo es el centro de serotonina (Wasselus et al., 2011; Dorocic et al., 2014; Zhou et al., 2017), asociándose a la expresión de comportamientos normales (Wasselus et al., 2011), además de intervenir en el fenómeno del comportamiento llamado depresión conductual e indefensión aprendida (Maier y Watkins, 2005; Amat et al., 2005), apoya en la determinación si un estresor es controlable o incontrolable (Maier y Watkins, 2005; Amat et al., 2005) y modulación autonómica (Wasselus et al., 2011).

Thalamus (THA) esta ligado con la determinación de la relevancia de los estímulos percibidos y en distribuir dicha información (Kandel et al., 2000; Tracey, 2005). Anatómicamente esta dividido en núcleos, entre ellos están ***Ventral Anterior Nucleus (VA)*** y ***Ventral Lateral Nucleus (VL)***; ambos asociados con los sistemas límbico, asociativo y motor (Haber, 2003), sus entradas están organizadas de forma topográfica y funcional, para una retroalimentación de la corteza (McFarland y Haber, 2000; Haber, 2003).

Prefrontal Cortex (PFC) está asociada con comportamientos que son guiados o influenciados por estados internos o intenciones (Miller y Cohen, 2001), control cognitivo y monitoreo del desempeño motor (Miller y Cohen, 2001; Haber y Knutson, 2010; Brovelli et al., 2011). Por lo tanto, no es crítico para comportamientos automáticos (Miller y Cohen, 2001). Por otro lado, está relacionado con comportamientos emocionales (Fuster, 2001; Zhou et al., 2017), toma de decisiones (Grinband et al., 2011; Miller y Cohen, 2001), aprendizaje de respuestas ante estímulos afectivos (Sesack y Grace, 2010) y en la evaluación de eventos adversos (Sesack y Grace, 2010).

Anterior Cingulate Cortex (ACC) esta estructura se asocia con el proceso de recompensa (Rosales et al., 2017a), planeación, toma de decisiones, atención, emociones y memoria de trabajo (Drevets et al., 2008; Treede y Apkarian, 2008). Además, en la inhibición de la valoración emocional a partir de su valencia (positiva/negativa) (Albert et al., 2012).

SubThalamic Nucleus (STN) juega un rol como núcleo de entrada, recibiendo información de la corteza y tálamo (Reynolds y Parr-Brownlie, 2016), asimismo, tiene una organización somatotópica y separación relativa de las entradas cognitivas y motoras (Reynolds y Parr-Brownlie, 2016).

Primary Motor Cortex (M1) esta envuelta en la ejecución de movimientos (Haber, 2003).

Supplementary Motor Cortex (SMA) esta relacionada con el control de movimientos lanzados internamente (Rodigari y Oliveri, 2014), control inhibitorio ante estímulos negativos (Nachev et al., 2008; Rodigari y Oliveri, 2014), generación automática de movimientos (Coulombe et al., 2017) contribuyendo al ajuste anticipatorio de la postura (Takakusaki, 2017).

Cerebellum (CER) juega un rol en la coordinación de la actividad somática-motora (Cavdar et al., 2001) y regulación del tono muscular (Cavdar et al., 2001). Está conformado por el *medial cerebellum* que contribuye en la consolidación de la memoria asociada con el condicionamiento del miedo (Sacchetti et al., 2004).

Anatómicamente, esta estructura contiene el **Fastigial Nucleus (FN)** que recibe una copia de la SC, que integra información de la postura que actualmente tiene el cuerpo (Cavdar et al., 2002; Zhang et al., 2016) contribuyendo al control del tono muscular de la postura (Takakusaki, 2017), adicionalmente regula el proceso automático y cognitivo del control de la postura que se está corriendo (Zhang et al., 2016; Takakusaki, 2017), también, soporta la activación de los músculos antigravitatorios (Takakusaki, 2017).

Spinal Cord (SC) esta conformada bajo un esquema de CPG que generan los patrones motores básicos, que activan el apropiado conjunto de patrones para generar el movimiento a través de las interneuronas que reciben el comando motor para ser ejecutado (Jordan, 1998; Takakusaki, 2008, 2017).

La comunicación que existe entre las estructuras antes descritas se plasma en la Tabla 3.1, cuyas celdas sombreadas representan una conexión entre las estructuras asociadas.

III. *Diseño de la arquitectura con base en sus funcionalidades.*

Se efectúa la generalización del flujo de información de una funcionalidad completa, a partir de la identificación de las conexiones existentes entre las distintas estructuras nerviosas, esto con el fin de conseguir una versión abstracta de la arquitectura. Para ello se establece la arquitectura conceptual.

Arquitectura conceptual: identifica los componentes de alto nivel del sistema y sus interrelaciones. El propósito es proponer una descomposición apropiada de todo el sistema sin profundizar en los detalles. Entonces, es útil para proporcionar una visión general del sistema, la cual puede ser entendida por personal no técnico. Dicho diagrama permite observar las interacciones que se tienen entre los diferentes componentes, generando de esta manera un diagrama de conexión basado en los modelos de cajas, como se puede observar en la Figura 3.2.

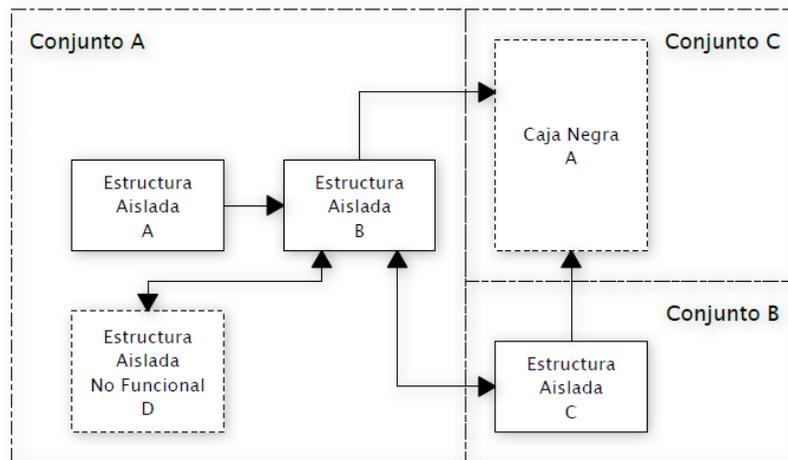


Figura 3.2: Diagrama de conexiones formado por las estructuras cerebrales y las conexiones de entrada/salidas correspondientes (Torres, 2013).

La arquitectura conceptual y el flujo de la información es desarrollada en el Capítulo 4 .

IV. *Validación de la arquitectura conforme a las funcionalidades.*

Se llevan a cabo las pruebas de validez neurocientífica que consisten en reuniones realizadas entre los equipos de desarrollo y neurocientífico. En estas reuniones el

3. MARCO METODOLÓGICO

Tabla 3.1: Conexiones entre las diferentes estructuras del cerebro.

Brain area	HYP	ACC	AMY	Striatum		VP	VTA/SNC	PAG	MLR		RF	LC	RN	STN	SC	CER	Frontal Cortex		PFC	THA
				NAC	DSTM				FN	M1						SMA				
HYP [A]																				
ACC [B]																				
AMY [C]																				
NAC [D]																				
DSTM [E]																				
VP [F]																				
VTA/SNC [G]																				
PAG [H]																				
CNF [I]																				
PPN [J]																				
RF [K]																				
LC [L]																				
RN [M]																				
STN [N]																				
SC [Ñ]																				
FN [O]																				
M1 [P]																				
SMA [Q]																				
PFC [R]																				
THA [S]																				

Referencias:

- A. Samuels y Szabadi (2008); Karlsson et al. (2010); Waselus et al. (2011); Russo y Nestler (2013); Dorocic et al. (2014); Castro et al. (2015); Rosales et al. (2017b)
- B. Cardinal et al. (2002); Whalen y Phelps (2009)
- C. Cardinal et al. (2002); Samuels y Szabadi (2008); Whalen y Phelps (2009); Camara et al. (2009); Waselus et al. (2011); Dorocic et al. (2014)
- D. Cardinal et al. (2002); Pierce y Kumaresan (2006); Whalen y Phelps (2009); Camara et al. (2009); Waselus et al. (2011); Richard et al. (2013); Russo y Nestler (2013); Richard et al. (2013); Wendler et al. (2014); Castro et al. (2015)
- E. Haber (2003); Haber y Knutson (2010); Brovelli et al. (2011); Richard et al. (2013); Yu et al. (2013); Leisman y Melillo (2013)
- F. Camara et al. (2009); Smith et al. (2009); Haber y Knutson (2010); Richard et al. (2013); Castro et al. (2015)
- G. Cardinal et al. (2002); Camara et al. (2009); Stoodley y Schmahmann (2010); Castro et al. (2015); Gremel y Lovinger (2017)
- H. Cardinal et al. (2002); Whalen y Phelps (2009); Waselus et al. (2011)
- I. Takakusaki (2017)
- J. Lee et al. (2000); Cavdar et al. (2002); Takakusaki et al. (2004); Grillner et al. (2005); Jahn et al. (2008); Aravamuthan et al. (2009); Smith et al. (2009); Haber y Knutson (2010); Peterson y Horak (2016); Takakusaki (2017)
- K. Lee et al. (2000); Xiang et al. (2013)
- L. Lee et al. (2000); Samuels y Szabadi (2008); Szabadi (2013)
- M. Maier y Watkins (2005); Amat et al. (2005); Samuels y Szabadi (2008); Szabadi (2013); Dorocic et al. (2014); Zhou et al. (2017)
- N. Lee et al. (2000); Haber y Knutson (2010); Peterson y Horak (2016)
- Ñ. Lee et al. (2000); Samuels y Szabadi (2008); Alam et al. (2011); Tykocki et al. (2011); Waselus et al. (2011); Xiang et al. (2013)
- O. Lee et al. (2000); Samuels y Szabadi (2008); Tykocki et al. (2011)
- P. Yu et al. (2013); Coulombe et al. (2017)
- Q. McFarland y Haber (2000); Akkal et al. (2007); Yu et al. (2013)
- R. Miller y Cohen (2001); Fuster (2001); Cardinal et al. (2002); Pierce y Kumaresan (2006); Whalen y Phelps (2009); Waselus et al. (2011); Russo y Nestler (2013)
- S. Middleton y Strick (2000); Haber (2003); Stoodley y Schmahmann (2010)

equipo de desarrollo se le muestra el flujo que lleva la información, así como el trato que se le da a la misma, posteriormente el equipo neurocientífico determina si es correcto, de serlo se continua con la siguiente etapa, de lo contrario se regresa al diseño de la arquitectura.

V. *Realización de pruebas.*

Se realiza una serie de pruebas para generar posturas corporales en una criatura virtual, dichas pruebas consisten en reproducir posturas corporales en la criatura virtual a partir de la integración del modelo. Es necesario destacar que las posturas pueden tener una variación para una misma emoción, para este caso nos apoyaremos de algunos trabajos (por ejemplo, Coulson, 2004; Shafir et al., 2016; Shafir, 2016) que han estudiado los rasgos característicos de una respuesta emocional en el marco locomotor, entre ellos se puede resaltar los estudios de Kleinsmith et al. (2005; 2006; 2007), cuyas posturas corporales fueron concentradas en una base de datos (Kleinsmith, 2007), lo anterior con el fin de no centrarnos en definir cual comportamiento o postura es la más adecuada con respecto a la emoción.

VI. *Redacción de los resultados obtenidos.*

Finalmente se analizan los resultados derivados de las pruebas, para posteriormente ser reportados a través de la escritura de un artículo y de un reporte final del proyecto de investigación.

Propuesta

En este capítulo se plasma el modelo conceptual integrado por las estructuras cerebrales descritas en el Capítulo 3, además de describir la función que desempeña cada una, a partir del flujo de información que se origina como producto de la interacción entre las diferentes estructuras causando comportamientos motores como respuestas emocionales.

4.1. Modelo conceptual general

La propuesta de este trabajo consiste en un modelo cognitivo que permita la producción de comportamientos motores específicamente posturas corporales, como respuesta emocional ante estímulos percibidos del ambiente, mismo que proveerá a los agentes virtuales la capacidad de proyectar su estado emocional a partir de comportamientos emergentes, en pro de una mejor interacción con sus pares y el ser humano (usuario).

El modelo se fundamenta en evidencia biológica, en particular neurocientífica. De acuerdo con la evidencia neurocientífica encontrada se discernió el proceso de interés de los otros procesos de las cuales las estructuras antes mencionadas se encuentran inmiscuidas, de tal manera que se produjo el modelo conceptual general que en la Figura 4.1 es ilustrado, cuyas estructuras son representadas en cajas y las conexiones por flechas unidireccionales; con el fin de evitar alguna confusión las cajas o módulos serán nombrados con el mismo nombre de las estructuras cerebrales. Con referencia de un marco jerárquico, el modelo se integra principalmente por aquellas estructuras ubicadas en niveles superiores del circuito biológico (Figura 4.1) el cual aportan a la selección, planificación y coordinación de los movimientos.

En el modelo ilustrado en la Figura 4.1 se pueden distinguir la participación de varios neurotransmisores, tales como: dopamina, serotonina, noradrenalina, glutamato, entre otros; neurotransmisores que están en pro de la ejecución de cada uno de los procesos existentes en el CNS, a partir de la excitación e inhibición neuronal.

En el proceso de construcción del modelo general se identificó que la producción de

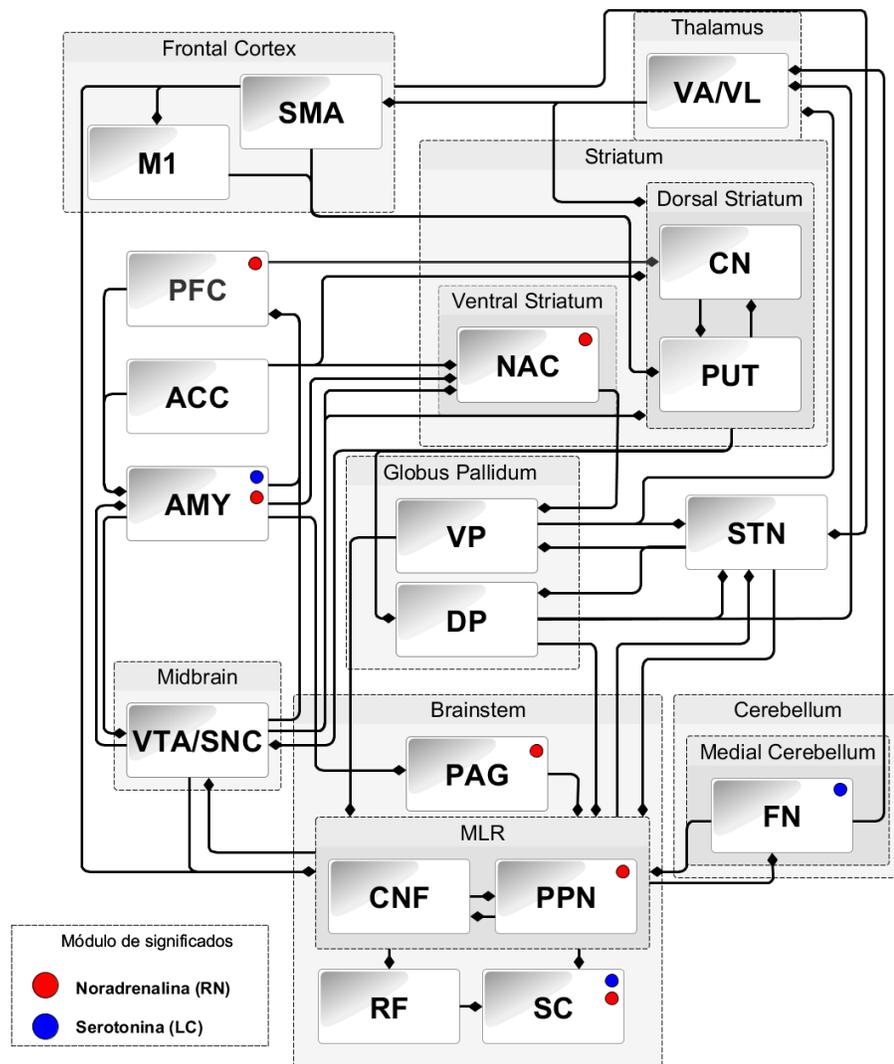


Figura 4.1: Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos motores bajo una influencia emocional.

comportamientos emocionales motores se integra por tres fases o etapas, que actúan de forma secuencial (la primera fase de acuerdo con las demás) o paralelo (la segunda fase con respecto a la tercera). Asimismo, destacar dos principales atributos que varían en relación con la fase, el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo que transcurre desde que se percibe el estímulo hasta cuando se produce la respuesta motora y el nivel de racionalidad que encierran las respuestas. Las tres fases son descritas enseguida.

Fase límbica. Esta fase se asocia a estímulos que son percibidos por primera vez, es decir, que son novedosos, propiciando de esta manera que la respuesta motora carezca de racionalidad. Se dice que este tipo de comportamientos son por instinto en consecuencia serán automáticas, esto se debe principalmente a que en algunas estructuras del tronco encefálico (*brainstem*) tienen almacenados procedimientos básicos o primitivos, que son adquiridos por herencia, dicho de otra manera, se parte de un comportamiento predefinido en memoria. En la Figura 4.2 se resaltan las estructuras que están relacionadas a esta fase.

Fase asociada a hábitos. En la segunda fase debido a que anteriormente se pasó por la fase límbica se parte de que ya existió un aprendizaje previo concerniente a la exposición de un mismo estímulo más de una vez. En tal caso, si se percibe el mismo estímulo un número de veces se produce una habituación que se ve reflejada en formación de hábitos, el cual nos dirige a un comportamiento automático. La recuperación de la respuesta motora es con base en una relación de tipo estímulo-acción, estas acciones son representadas bajo una secuencia de movimientos. En esta etapa ya existe una percepción, sin embargo, obvian que las condiciones del ambiente son las mismas bajo el cual se produjo la habituación. En la Figura 4.3 se destacan las estructuras que están vinculadas a esta fase.

Fase asociada a objetivos. En esta última fase se lleva a cabo una evaluación del ambiente, para efectuar una recuperación de los comportamientos apropiados al objetivo que se persigue actualmente, existe la posibilidad de generar nuevos comportamientos desde la mezcla de los existentes. Este tipo de comportamientos motores están completamente envueltos en un proceso racional, cuya recuperación se fundamenta en un enfoque asociativo. Cabe adicionar que se realiza un proceso de monitoreo y control cognitivo para ajustar el comportamiento al momento que se está ejecutando y existe un imprevisto. En la Figura 4.4 se puede distinguir las estructuras que están ligadas a la etapa descrita.

4.2. Fase motora límbica

Debido a la amplitud que representa el modelo conceptual general, este trabajo solo se centrará concretamente en la fase límbica (ver Figura 4.2) que tiene como propósito producir

4. PROPUESTA

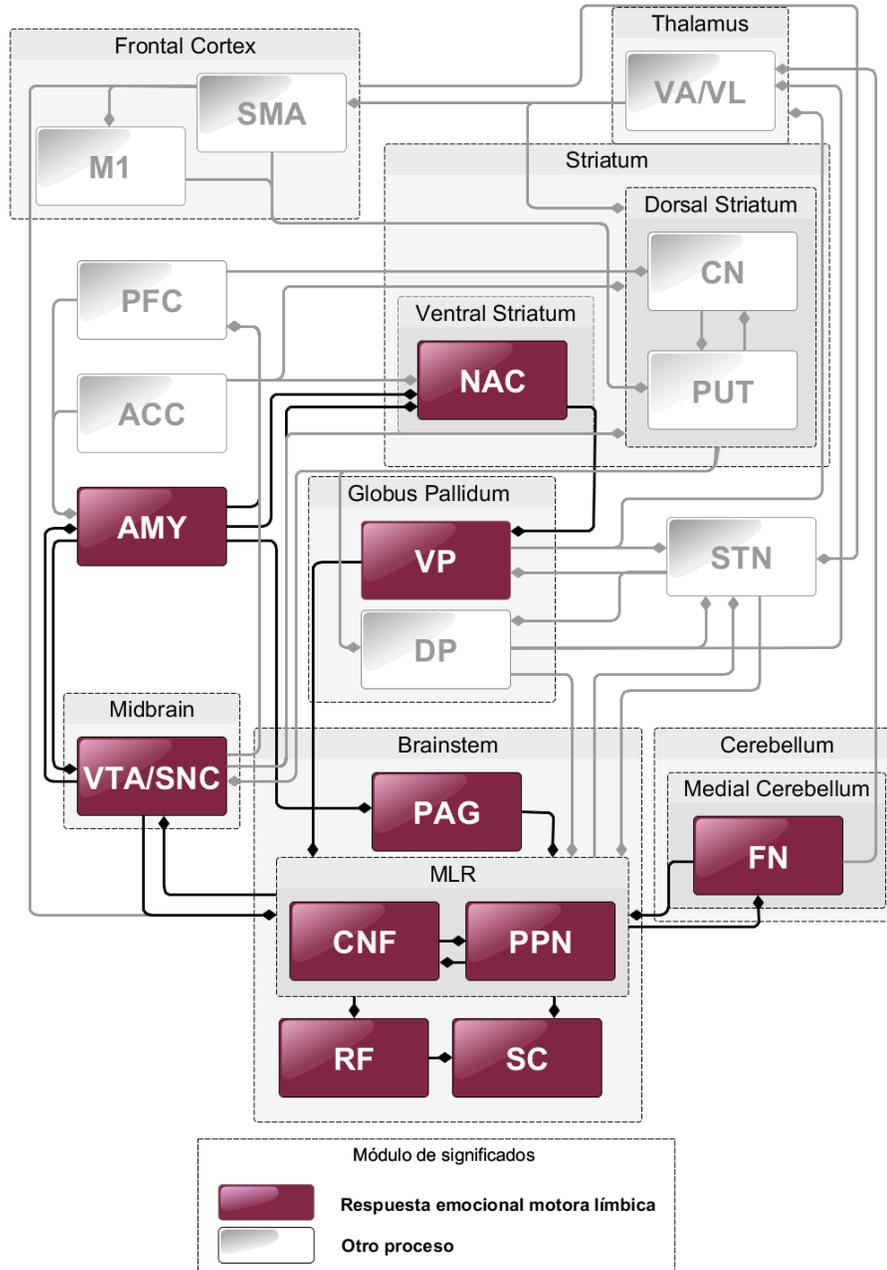


Figura 4.2: Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motora enfocados a la fase de respuestas límbicas.

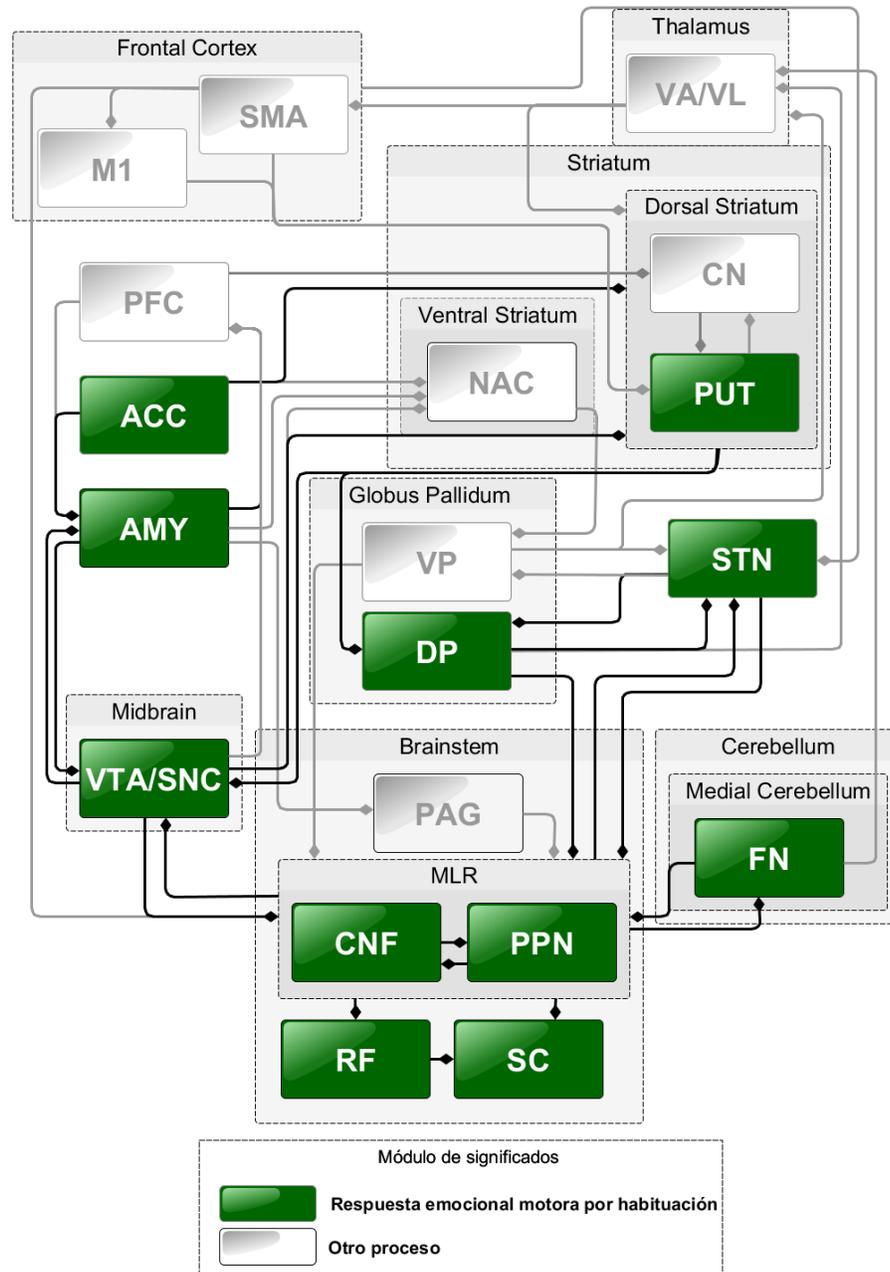


Figura 4.3: Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motora enfocados a la fase de respuestas habituales.

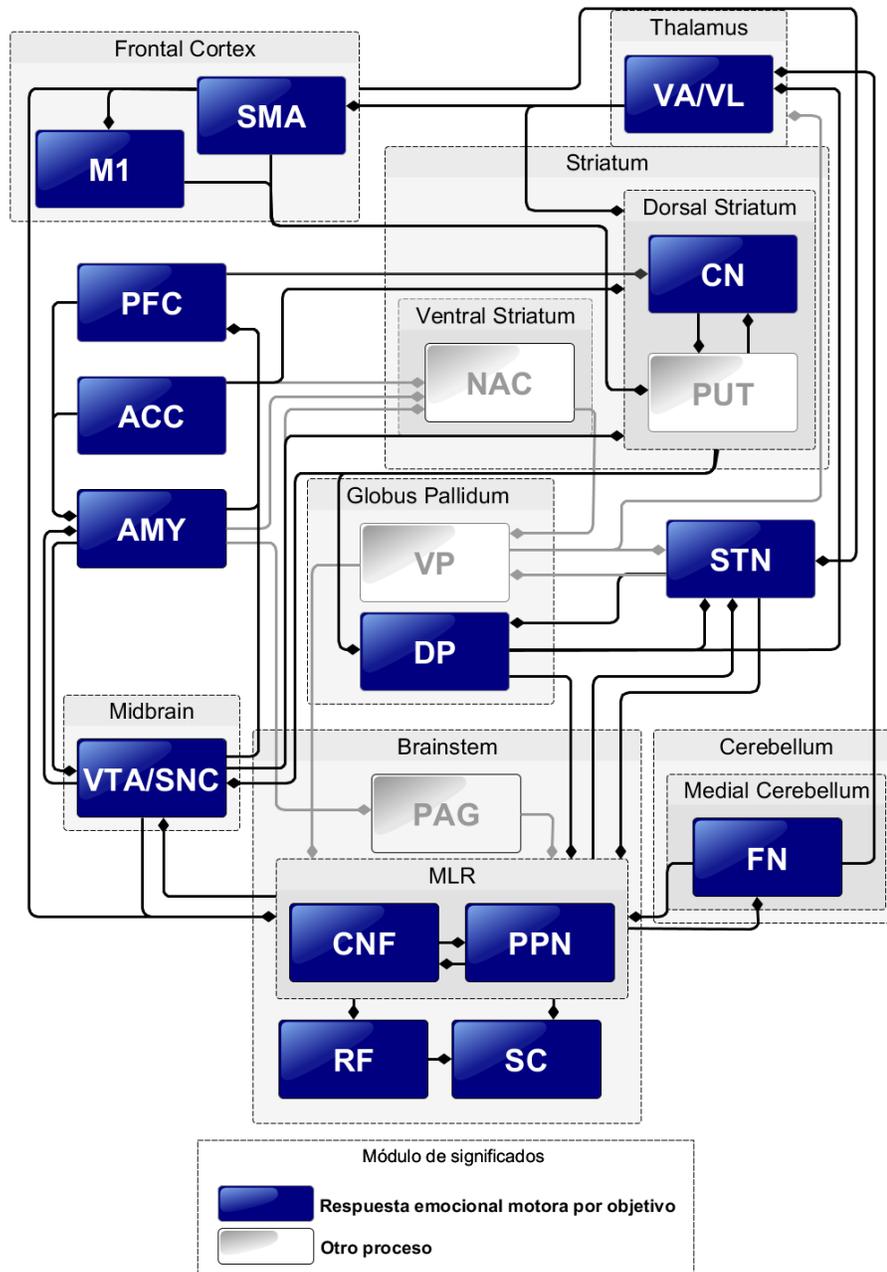


Figura 4.4: Modelo cognitivo propuesto para la generación de comportamientos emocional-motora enfocado a la fase de respuestas asociadas a objetivos.

comportamientos emocionales autónomos-reactivos a partir de una valoración afectiva del estímulo percibido del ambiente.

Las estructuras ligadas a esta primera fase no solo son propias de este tipo de comportamientos, por el contrario, existe una superposición con otros procesos, tales como recompensa, aprendizaje asociativo, aprendizaje reforzado, formación de hábitos y habilidades, selección de acciones dirigidas a objetivos, entre otros, que proporciona cierta complejidad a la tarea de identificar el flujo de información.

4.2.1. Estructuras cerebrales asociadas

A continuación, se realiza una descripción de la funcionalidad concreta de cada uno de los módulos propuestos, etiquetados con el nombre de sus contrapartes biológicas, además de definir las conexiones que creemos son pertinentes para el posterior flujo de información interna en la propuesta, que se fundamentan con la evidencia encontrada.

- **AMY:** es responsable de efectuar la evaluación afectiva en relación con los estímulo percibido en el ambiente y la recuperación de las evaluaciones previas almacenadas en la memoria emocional (Cardinal et al., 2002; Macpherson et al., 2014; Rosales et al., 2017a). La evaluación afectiva modifica el estado interno de la criatura virtual para posteriormente crear una respuesta emocional ante el ambiente percibido. Este módulo tiene conexión con los módulos PFC, ACC, NAC, VTA/SNC, PAG y VSTM (Cardinal et al., 2002; Whalen y Phelps, 2009).
- **NAC:** actúa como interfaz entre el sistema límbico y el sistema motor (Groenewegen y Trimble, 2007; Shiflett y Balleine, 2010; Floresco, 2015), es encargado de realizar la recuperación de programas motores que están asociados a los valores emocionales del estímulo, teniendo un sesgo por evaluaciones de valencia positiva (Bédard y Sanes, 2009; Dezfouli y Balleine, 2012). Con este módulo se le dota a la criatura virtual la necesidad de expresar su estado emocional a través de la transición de evaluación emocional a respuesta motora. Está conectado con ACC, AMY, VTA/SNC, DSTM y VP (Cardinal et al., 2002; Whalen y Phelps, 2009; Wendler et al., 2014; Castro et al., 2015).
- **VP:** su función consiste en seleccionar el programa motor final desde el conjunto candidato de programas motores con base en la gratificación que éste represente (Smith et al., 2009; Takakusaki, 2017). En este módulo se efectúa una toma de decisiones de acuerdo con los beneficios que simbolice el comportamiento exhibido. Este módulo se vincula directamente con NAC, STN y MLR (Lee et al., 2000; Cardinal et al., 2002; Grillner et al., 2005; Smith et al., 2009; Camara et al., 2009; Haber y Knutson, 2010; Castro et al., 2015).

- **PAG:** este módulo representa el centro motor que integra respuestas motoras apropiadas y autónomas a estresores internos (dolor) y externos (amenazas) (Benarroch, 2012; Coulombe et al., 2017), en otras palabras, genera respuestas básicas enfocadas a la supervivencia (Carrive y Morgan, 2012). Esta función abastece a la criatura virtual con la capacidad de generar comportamientos ante estímulos que tienen una valoración negativa. Dicho módulo está conectado con la AMY, RN, LC y MLR (Cardinal et al., 2002; Samuels y Szabadi, 2008; Whalen y Phelps, 2009; Stoodley y Schmahmann, 2010; Waselus et al., 2011).
- **CNF:** es causante de iniciar la respuesta motora, a partir de la excitación del tono muscular (Takakusaki, 2013; Xiang et al., 2013), contribuyendo de esta manera a la regulación del tono muscular, generándose una estrecha relación con PPN (Alam et al., 2011). El nivel excitación muscular propiciará que la criatura virtual sea capaz de mostrar diferentes comportamientos desde la intensidad emocional. Este módulo está conectado con PPN, VTA/SNC, FN, PAG, SC y RF (Alam et al., 2011; Xiang et al., 2013; Takakusaki, 2017).
- **PPN:** su función radica en suprimir el tono muscular (Takakusaki, 2017), comenzando con la intensidad y valencia de los valores emocionales del estímulo, mediando de esta manera el proceso de regulación del tono muscular del cuerpo (Wilcox et al., 2011; Takakusaki, 2013; Peterson y Horak, 2016; Takakusaki, 2017) que repercute directamente en parámetros que influyen en la ejecución del programa motor (Jenkinson et al., 2009; Tykocki et al., 2011), tales como velocidad, frecuencia y amplitud. El proceso de regulación de tono muscular proveerá a la criatura virtual la habilidad de exhibir comportamientos motores que proyecten su estado emocional, así como la intensidad de este ante el ambiente. Tiene conexiones con VP, STN, VTA/SNC, PAG, FN y SC (Lee et al., 2000; Cavdar et al., 2002; Jahn et al., 2008; Haber y Knutson, 2010; Alam et al., 2011; Peterson y Horak, 2016; Takakusaki, 2017).

Con base en el modelo de la Figura 4.2 se propone un modelo simplificado que abarca el sistema de comportamiento emocional automático basado en la funcionalidad específica de las estructuras cerebrales descritas previamente (ver Figura 4.5), es preciso señalar que en el modelo simplificado se hace una integración de NAC y VP en el módulo de evaluación motora-recompensa, esto se debe a que sus funciones son complementarias, dando lugar a la selección del programa motor con respecto a evaluaciones afectivas con valencia positiva.

El modelo simplificado de la fase límbica de la Figura 4.5 se constituye por cajas verdes que están relacionadas a la generación de las respuestas motoras autónomas asociadas a la emoción y las cajas blancas a la regulación y ajuste de la respuesta motora de acuerdo con la valencia de la valoración afectiva y su respectiva intensidad. Ambos tipos de cajas representan estructuras del cerebro cuyas funciones son indispensables para generar comportamientos emocionales autónomos-reactivos. Referente a las cajas negras, representan estructuras o funcionalidad que no forman explícitamente parte del proceso, pero fueron

agregadas al modelo para complementar el flujo de información, mismas que a continuación se describe su tarea realizada y el tipo de información que éstas proveen al modelo propuesto.

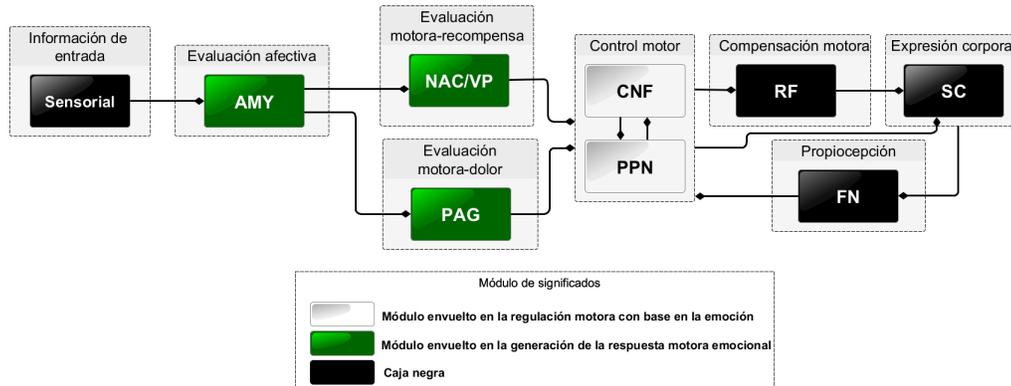


Figura 4.5: Modelo de comportamientos de respuestas emocionales, se muestran las estructuras cerebrales y las conexiones asociadas al proceso.

- Sensorial:** este módulo es responsable de efectuar la interpretación de los estímulos percibidos a través de alguno de los sentidos (visual, táctil, olfativo, gustativo, auditivo, etc.), mismos que son abastecidos por el ambiente. Esta caja reemplaza las estructuras responsables para el procesamiento de los sentidos.
- FN:** esta estructura realiza una integración de información a partir de una retroalimentación que es proporcionada por el sistema vestibular, la médula espinal, etc. (Zhang et al., 2016); la información resultante representa una descripción del estado actual del cuerpo (Cavdar et al., 2002; Zhang et al., 2016). También, la estructura propicia la regulación del control automático de la postura en marcha, desde la activación de los músculos antigravitatorios (Zhang et al., 2016; Takakusaki, 2017). La tarea que se efectúa en la estructura dota a la criatura virtual del sentido de propiocepción. Tiene conexión bidireccional con MLR (Lee et al., 2000; Tykocki et al., 2011; Alam et al., 2011).
- RF:** es responsable de coordinar el movimiento ante una posible perturbación no contemplada, con la generación de patrones de movimientos que contrarresten la descompensación para mantener un equilibrio del movimiento o la postura (Stapley y Drew, 2009; Nonnekes et al., 2014) y tratar de mantener integro el objetivo final. La regulación de la ejecución del movimiento proporciona a la criatura virtual la habilidad de mantener el equilibrio ante una perturbación, cuando se esté ejecutando el programa motor. Este módulo está conectado al SC y MLR (Lee et al., 2000; Xiang et al., 2013).

4. PROPUESTA

- **SC:** se vincula con la ejecución del programa motor a través del envío del patrón motor formado por las interneuronas (Jordan, 1998; Takakusaki, 2008, 2017) y ejecutado por las motoneuronas, que se reflejará en el movimiento de la estructura esquelética. Este módulo brinda a la criatura virtual la capacidad de llevar a cabo la ejecución de comportamiento para ser exhibido ante el ambiente. Tiene conexiones con MLR y FN (Lee et al., 2000; Tykocki et al., 2011).

Por otro lado, las siguientes estructuras cerebrales fueron descartadas por sus funcionalidades, debido a que en algunos casos no es específico su aporte a dicho proceso.

- **VTA/SNC:** es responsable de activar el programa motor provocando particularmente que el VSTR cambie de un “*down state*” a “*up state*” (Haber, 2003; Grillner et al., 2005) a partir de la gratificación generada en la situación actual (Rossi et al., 2013; Ilango et al., 2014). No obstante, su funcionalidad se ve orientada al aprendizaje procedimental, el cual no es un proceso abordado dentro de este trabajo.
- **DSTM:** es encargada de almacenar las respuestas motoras, bajo el concepto de programa motor, que representa una secuencia de movimientos (Aarts et al., 2011; Dezfouli y Balleine, 2012; Keeler et al., 2014). Este conjunto de comportamientos de locomoción proveen de memoria procedimental a la criatura virtual. Sin embargo, para esta primera fase se cree que existe un mapa anatómico específico para cada respuesta emocional reactiva, por ende, no se requiere de una recuperación procedimental previa para ser expresadas.
- **ACC:** es vinculada con la inhibición de la valoración emocional con respecto a su valencia (positiva/negativa) (Albert et al., 2012), en pro de una regulación emocional, punto que no será tratado en este trabajo.
- **PFC:** es asociada a un proceso de monitoreo y funciones de alto nivel relacionadas a un procesamiento cognitivo rígido (Haber y Knutson, 2010; Brovelli et al., 2011), en atención a lo cual no participa en la etapa límbica.
- **STN:** funge como un puente con el objetivo de distribuir la información del ganglio basal bajo una configuración en particular y una retroalimentación a la corteza motora a través del Tálamo (Reynolds y Parr-Brownlie, 2016). De esta manera aporta a las fases subsecuentes, excepto a la límbica.
- **SMA/M1:** estas estructuras de forma general están implicadas en la ejecución, ajuste anticipatorio del movimiento, etc. (Haber, 2003; Takakusaki, 2017) a partir de la integración explícita del proceso cognitivo, mismo que en esta propuesta no es abordado.
- **LC/RN:** facilitan la formación y recuperación de la memoria emocional (Chen y Sara, 2007; Samuels y Szabadi, 2008; Szabadi, 2013), regulación del tono muscular en

el ciclo de sueño-vigilancia (Mileykovskiy et al., 2000), expresión de comportamientos normales (Waselus et al., 2011), entre otros, sin embargo, no es claro su aporte para esta propuestas es por ello que no son integradas en el modelo.

Después de describir el modelo propuesto para la producción de comportamientos emocionales autónomos-reactivos con entradas y salidas, es necesario complementarlo con la definición del flujo de información específico para cada subproceso que integra el proceso general.

4.2.2. Flujo de información

En el proceso de generar comportamientos emocionales autónomos-reactivos, se pueden identificar dos vertientes en el flujo de información que divergen en la **AMY** y posteriormente convergen en **MLR** (**CNF/PPN**).

- El primer flujo está orientado a la generación de comportamientos motores influenciados por estímulos aversivos, dicho flujo esta envuelto en los siguientes módulos **AMY**, **PAG**, **CNF** y **PPN**. Por su parte, este flujo de información requiere de las cajas negras de sensorial, **FN**, **RF** y **SC** para completar el proceso (ver Figura 4.6).
- El segundo flujo está asociado a la generación de comportamientos motores incididos por estímulos positivos, en este flujo de información están comprometidas **AMY**, **NAC**, **VP**, **CNF** y **PPN**. Para complementar este flujo se requieren las cajas negras de sensorial, **FN**, **RF** y **SC** (ver Figura 4.7).

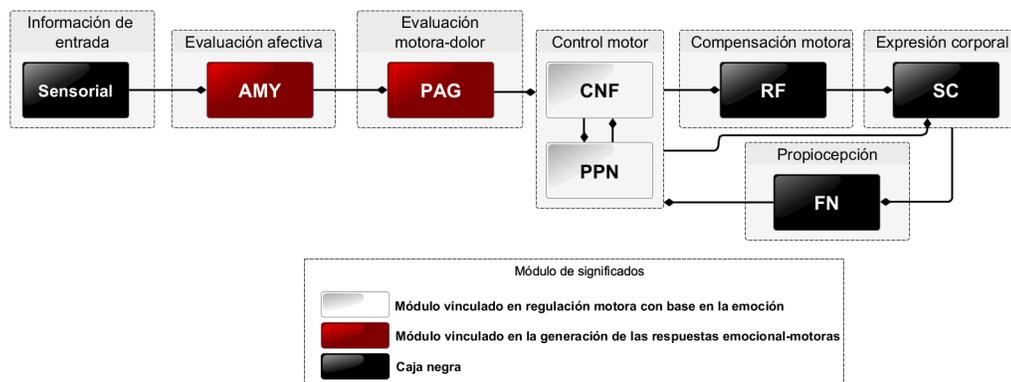


Figura 4.6: Flujo de información ante un estímulo aversivo en comportamientos emocionales autónomos.

Estos flujos de información aseguran un comportamiento autónomo-reactivo en la criatura virtual, asociado a las valoraciones emocionales de los estímulos percibidos en el ambiente,

4. PROPUESTA

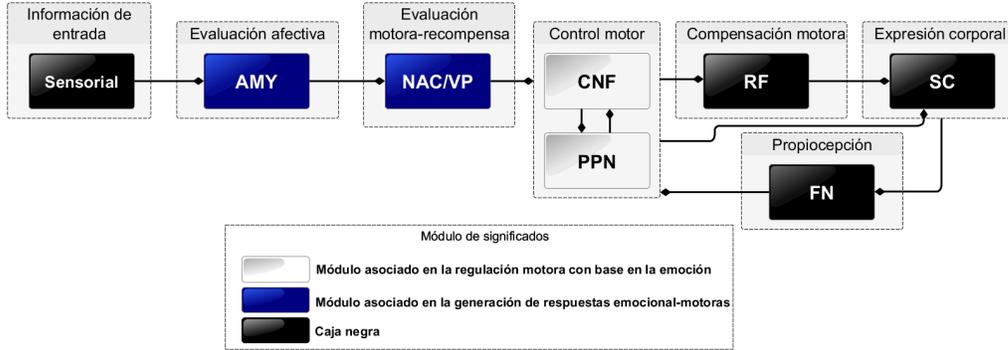


Figura 4.7: Flujo de información ante un estímulo placentero en comportamientos emocionales autónomos.

los cuales a su vez expresan un estado emocional interno. Para concluir el modelo, es necesario formalizar cada una de las funciones del modelo cognitivo propuesto, formalización que es detallada en la siguiente sección.

4.2.3. Formalización del proceso

Cada módulo que conforma el modelo de la Figura 4.5 es responsable de ejercer una tarea específica en el sistema, como se describió anteriormente. En esta sección, las funciones desempeñadas por cada módulo son formalizadas. Se inicia puntualizando la información que las cajas negras reciben o proveen al sistema que se está describiendo, los valores que se manejan se ubican en el rango $[0.0 - 1.0]$ por motivos de normalización.

- **Información de entrada** es responsable en la navegación del ambiente y provee los valores afectivos del estímulo percibido cuando la criatura virtual interactúa con ellos. Estos valores afectivos provienen de los sentidos y son intrínsecos al estímulo. Donde S es un conjunto de entradas validas que representan valores sensoriales para la criatura virtual. Los estímulos percibidos denotados como p ; son un conjunto de valores sensoriales s , tal como:

$$p = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}, \text{ donde } p \subseteq S \quad (4.1)$$

Dado el estímulo percibido p , hay un subconjunto de valores sensoriales afectivos denotados como p_a , tal como:

$$p_a = \{s_\alpha, s_\delta, s_\eta, \dots, s_\xi\}, \text{ donde } p_a \subset p, \text{ y } 0.0 \leq s_\kappa \leq 1.0 \quad (4.2)$$

p_a es utilizado posteriormente por la función de evaluación afectiva.

- **Compensación motora** efectúa un monitoreo del movimiento, a partir de la recepción de una copia del comportamiento motor a reproducir, con el fin de tener un marco de referencia, para cuando exista un imprevisto tener la capacidad de responder con movimientos compensatorios para mantener el control general del movimiento en ejecución.
- **Propiocepción** existe una retroalimentación de estructuras inferiores en este caso del módulo de expresión corporal, con el objetivo de conocer el estado actual de la criatura virtual, en otras palabras, obtener información que implica la posición del cuerpo.
- **Expresión corporal** se encarga de la ejecución del comportamiento motor con base en los parámetros de velocidad, amplitud y tono muscular.

Enseguida se realiza la descripción de las funciones de los módulos propuestos para el desarrollo de comportamientos emocionales autónomos-reactivos.

- **Evaluación afectiva** es responsable de brindar un valor afectivo total y global a los estímulos percibidos. Si E es el conjunto de emociones básicas de la criatura virtual dado por $E = [\text{miedo}, \text{tristeza}, \text{enojo}, \text{felicidad}, \text{disgusto}, \text{sorpresa}]$, e es una emoción específica, tal que, $e \in E$. Para cada estímulo percibido p , es un conjunto de elementos con valor afectivo p_a , donde este conjunto es brindado por el módulo de información de entrada. El valor afectivo total de un estímulo percibido para una específica emoción denotado como ta_e es dado por:

$$ta_e = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n a_i, \text{ donde } a_i \in p_a \quad (4.3)$$

El valor afectivo total ta_e es enviado a siguientes módulos para ser empleado en el cálculo de otras funciones.

- **Evaluación motora-recompensa** se encarga de la recuperación de un subconjunto de movimientos que representan las posibles respuestas motoras de acuerdo con el estado emocional de la criatura virtual, sesgándose a respuestas de comportamientos ligados a emociones agradables. Sea R el conjunto de respuestas de comportamientos motores posibles para la criatura virtual, E el conjunto de emociones básicas de la criatura virtual, ta_e el valor afectivo proveniente de la función de evaluación afectiva, r_e un programa o comportamiento motor asociado a una específica emoción, entonces el conjunto de respuestas motoras orientadas a emociones positivas r_p estará dado por:

$$r_p = \{r_e(0.1), r_e(0.2), r_e(0.3), \dots, r_e(m)\}, \text{ donde } r_p \subseteq R \text{ y } 0.0 \leq m \leq 1.0 \quad (4.4)$$

El subconjunto r_p es enviado a los siguientes módulos para el cálculo de otras funciones.

- **Evaluación motora-dolor** se ocupa de la recuperación de un subconjunto de movimientos que representan las posibles respuestas motoras en relación con el estado emocional de la criatura virtual, orientándose a respuestas de comportamientos asociados a emociones aversivas. Sea R el conjunto de respuestas de comportamientos motores posibles para la criatura virtual, E el conjunto de emociones básicas de la criatura virtual, ta_e el valor afectivo proveniente de la función de evaluación afectiva, r_e un programa o comportamiento motor asociado a una específica emoción, entonces el conjunto de respuestas motoras dirigidas por emociones negativas r_n estará dado por:

$$r_n = \{r_e(0.1), r_e(0.2), r_e(0.3), \dots, r_e(k)\}, \text{ donde } r_n \subseteq R \text{ y } 0.0 \leq k \leq 1.0 \quad (4.5)$$

El subconjunto r_n es enviado a los siguientes módulos para el cálculo de otras funciones.

- **Control motor** se compromete en proporcionar el tono muscular adecuado para producir la postura corporal, velocidad de ejecución, punto de inicio, entre otros, a partir del tipo de entrada. Donde i es la intensidad emocional de e dada por $i = ta_e$ y $e \in E$. Donde r son los posibles comportamientos dados por $r = r_p \cup r_n$ tal que $r \subseteq R$. El comportamiento exhibido r_d es:

$$r_d(i_d) = \begin{cases} r_j(i_j), & \text{Si } \forall j \in E, i_j > i_d \\ r_d(i_d), & \text{Otras formas} \end{cases} \quad (4.6)$$

Finalmente, el comportamiento exhibido $r_d(i_d)$ es enviado a módulos subsecuentes para del desempeño de otras funciones que están asociadas explícitamente con el movimiento de la estructura esquelética, mismas que no son tratadas en esta propuesta y son representadas con cajas negras.

4.3. Fases subsecuentes

Para finalizar se muestra un modelo preliminar para las fases subsecuentes: segunda (ver Figura 4.8) y tercera (ver Figura 4.9), respetando el enfoque de cajas, e identificando la función de los módulos agregados. En ambos modelos solo existe un flujo de información que circula por el DSTM y la participación de la ACC que desempeña el rol de regulador del estado emocional, proporcionando un cierto control a la intensidad de la emoción.

El modelo asociado a la segunda fase (ver la Figura 4.8) se destaca la participación del PUT; lugar donde se realiza la recuperación de los programas motores (hábitos) que fueron aprendidos y confeccionados como producto de un aprendizaje reforzado.

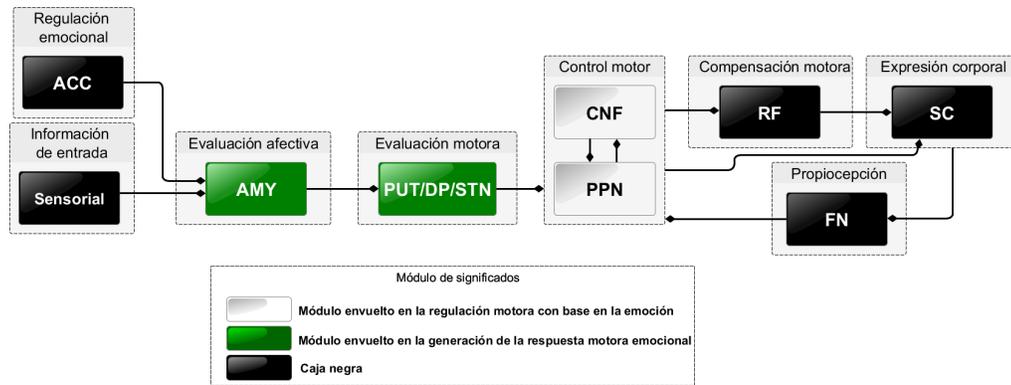


Figura 4.8: Modelo preliminar para la generación de comportamientos motores como respuesta emocional con base en una formación de hábitos.

Por otro lado, en el modelo de la tercera fase ilustrado en la Figura 4.9 existe una colaboración explícita de la PFC con el propósito de evaluar la situación de acuerdo con el monitoreo de las condiciones del ambiente. Con base en el preámbulo de la situación, se selecciona el programa motor que mejor convenga con el apoyo del CN. Empero, si existe el caso que más de un programa motor cumpla la mayoría de las condiciones (éstos representan el conjunto candidato), el conflicto es mediado por SMA/M1 con la integración de restricciones que propician la creación de nuevos programas con respecto al conjunto candidato.

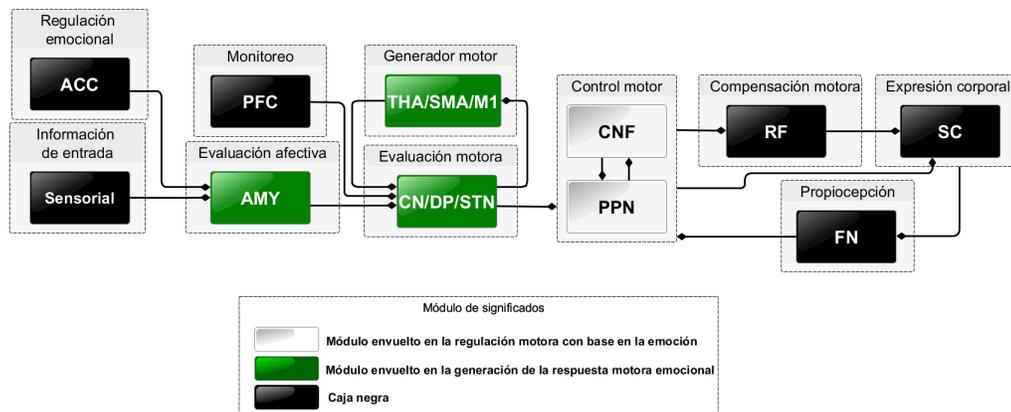


Figura 4.9: Modelo preliminar para la generación de comportamientos motores como respuesta emocional incididos por un objetivo.

4. PROPUESTA

La incorporación del STN y THA a sus respectivos módulos se le atribuye a su función, ya que específicamente fungen como distribuidores de la información en relación con el proceso que se está llevando a cabo, entonces para fines de este trabajo su tarea no es explotada, ya que el flujo de información es solo de un tipo.

En el siguiente capítulo se realiza una descripción de la implementación con el propósito de comprobar que la tarea asignada a cada módulo sea la más adecuada para producir comportamientos emocionales autónomos reactivos en criaturas virtuales, así mismo corroborar o refutar la hipótesis planteada en este trabajo a través de un caso de estudio.

Implementación y resultados

En este capítulo se detalla la implementación de los módulos asociados a la primera fase de crear comportamientos motores influenciados por el elemento emocional, cuya implementación es embebida en una criatura virtual. Posteriormente se expone el caso de estudio bajo el cual se comprueba el modelo.

5.1. Implementación general del modelo

La implementación de los diferentes módulos asociados a la fase límbica se realizó utilizando una plataforma *middleware*, con el propósito de respetar el enfoque distribuido bajo el cual las funciones cognitivas son organizadas y desempeñadas en el cerebro del ser humano, además, en pro de una integración con otros procesos cognitivos posteriormente. El *middleware* esta desarrollado en el lenguaje *java* (Jaime et al., 2015) y proporciona las bondades necesarias para desarrollar el sistema en un enfoque distribuido para cada uno de los módulos del modelo de cajas.

Por otra parte, se encuentra un motor gráfico *Unity* (Technologies, 2018) que ofrece las condiciones necesarias para representar virtualmente el ambiente y a la criatura; fungiendo como el medio sobre el cual se visualizarán los resultados a través del agente. Con respecto al modelado y creación de la criatura virtual se apoyó del software *MakeHuman* (2016) para el diseño morfológico y estructura esquelética de la criatura.

Debido a que no comparten el mismo lenguaje para desarrollar, el flujo de datos entre el motor gráfico y el *middleware* se produjo bajo el enfoque cliente-servidor, para ello se utilizaron *sockets* con el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). La comunicación asociada entre los diferentes módulos propuestos se llevó a cabo bajo *spikes* (información que es enviada o recibida entre los diferentes módulos). La descripción de los diferentes *spikes* es definida en el diccionario que se muestra en la Tabla 5.1 y que corresponden con las conexiones del modelo límbico (ver Figura 5.1). El formato estándar que tiene un *spike* está conformado por:

5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

- **Modalidad:** determina el tipo de información que es enviada.
- **Intensidad o amplitud:** representa la intensidad o amplitud en un valor de punto flotante en un rango de 0.0 – 1.0.
- **Localización:** es el número actual asignado a un módulo específico dentro del *middleware* a donde se enviará el *spike*.

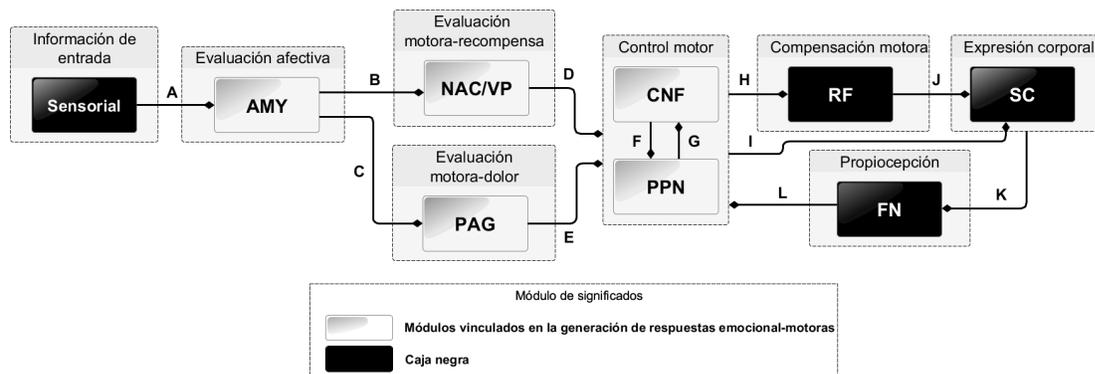


Figura 5.1: Etiquetación de conexiones del modelo.

La definición de los comportamientos corporales asociados a emociones específicas no fue abarcada en este trabajo, para ello se basó en algunos de los estudios mostrados en la Sección 2.3.2; trabajos relacionados para determinar los comportamientos corporales característicos a partir de la estructura esquelética del individuo, siendo éste el medio para transmitir su estado emocional más allá del vocablo. En particular se habla de Kleinsmith y Bianchi-Berthouze (2007) cuyas posturas corporales encontradas fueron detalladas con ayuda de los tres planos ortogonales, la medida de la extensión lateral, frontal y vertical del cuerpo, torsión del cuerpo y la inclinación de la cabeza y el hombro; el enfoque discretizado bajo el cual se manejaron las emociones se fundamentó por previos estudios (Kleinsmith et al., 2005, 2006). Incluso, las posturas corporales que obtuvieron son comportamientos semejantes a los que se describen en otros trabajos (Coulson, 2004; Bernhardt, 2010; Shafir et al., 2016), además que los comportamientos fueron sometidos para ser reconocidos a un grupo de personas, y la asociación postura-emoción fue correcta aproximadamente en un 70 %, es por ello que estos comportamientos se tomaron como base.

El desarrollo de los comportamientos emocionales corporales se fundamentó en Cinemática Inversa (IK, por sus siglas en inglés); técnica que permite generar el movimiento de una cadena de articulaciones a partir de la especificación del punto objetivo del efector final. Para llevar a cabo dicha tarea se utilizó el motor gráfico *Unity 2017.3.0f3*; entre sus bondades se encuentra el *animator controller* que brinda cualidades en pro de una animación del objeto, para fines de este estudio proporciona a la criatura virtual la capacidad de

Tabla 5.1: Diccionario de *spikes*.

Conexión	Formato del <i>spike</i>	Significado
A	<i>(String)</i>	<i>String</i> = Etiqueta del estímulo percibido.
B	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Información emocional almacenada. <i>Float</i> = Intensidad positiva. <i>Int</i> = Localización neuronal.
C	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Información emocional almacenada. <i>Float</i> = Intensidad negativa. <i>Int</i> = Localización neuronal.
D	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento con base en la emoción. <i>Float</i> = Intensidad positiva. <i>Int</i> = Localización neuronal.
E	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento con base en la emoción. <i>Float</i> = Intensidad negativa. <i>Int</i> = Localización neuronal.
F	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento. <i>Float</i> = Amplitud positiva. <i>Int</i> = Localización neuronal.
G	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento. <i>Float</i> = Amplitud negativa. <i>Int</i> = Localización neuronal.
H	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento. <i>Float</i> = Amplitud. <i>Int</i> = Localización neuronal.
I	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento. <i>Float</i> = Amplitud. <i>Int</i> = Localización neuronal.
J	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada al movimiento. <i>Float</i> = Amplitud. <i>Int</i> = Localización neuronal.
K	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada a la postura actual. <i>Float</i> = Amplitud. <i>Int</i> = Localización neuronal.
L	<i>(String,Float,Int)</i>	<i>String</i> = Parte del cuerpo* asociada a la postura actual. <i>Float</i> = Amplitud. <i>Int</i> = Localización neuronal.

Parte del cuerpo* = {cabeza, hombros, manos, médula espinal}

moverse bajo el enfoque IK, dicho movimiento es suscitado con apoyo de un *script* desarrollado en C#. En este *script* se definen puntos de referencia que representarán los puntos objetivo de los efectores finales.

En los estudios reportados en la Sección 2.3.2, se observó que la parte superior de la estructura esquelética (extremidades superiores, tronco y cabeza) transmite y guarda más información emocional que la parte inferior. Con base en lo anterior el trabajo se centró en producir movimiento de los brazos con diferente amplitud, siendo este tipo de movimiento acentuado con la integración de la cabeza, espina dorsal y los hombros. Concretamente estas articulaciones juegan un papel importante en la identificación de la excitación o inhibición del tono muscular a simple vista, y reflejan comportamientos con alto contenido emocional.

Una vez incorporados los comportamientos motores asociados a específicas emociones en la criatura virtual se logró obtener la expresión de dos emociones particulares: felicidad y tristeza, mismas que pueden ser vistas como opuestas a partir del tono muscular que proyectan y de la amplitud del movimiento de los brazos, como se puede ver en la Figura 5.2. Sin embargo, no pasa lo mismo con las emociones restantes (enojo, miedo, sorpresa y disgusto), que requieren comportamientos más elaborados para ser expresadas. También fue necesario definir un estado neutral del cual parte la criatura virtual para expresar la emoción.

5.2. Caso de estudio

Para corroborar el correcto funcionamiento de la expresión emocional de la criatura virtual se desarrolló un ambiente de prueba en donde la criatura virtual tuviera acceso a múltiples estímulos en el ambiente, como se puede observar en la Figura 5.3, también es importante mencionar que la evaluación emocional de los estímulos varía de acuerdo a la personalidad y el tipo de experiencias que ha tenido el individuo a lo largo de su existencia, mismo que no es tratado en este caso de estudio. Otro objetivo del caso de estudio es demostrar que, a partir de movimiento primitivos o básicos, tal como es, el movimiento de los brazos brinda indicios para la expresión corporal del estado emocional de la criatura.

Con el propósito de simplificar el proceso y poder observar los comportamientos emocionales en la fase motora límbica, los estímulos fueron predefinidos con ciertos valores afectivos sesgados completamente a una emoción específica (felicidad y tristeza) con diferente intensidad emocional.

El comportamiento motor generado de acuerdo con la emoción e intensidad fueron asociados correctamente, bajo una correlación entre la intensidad emocional con el movimiento de los brazos, basados en los comportamientos de Kleinsmith, donde se extrajo que a mayor

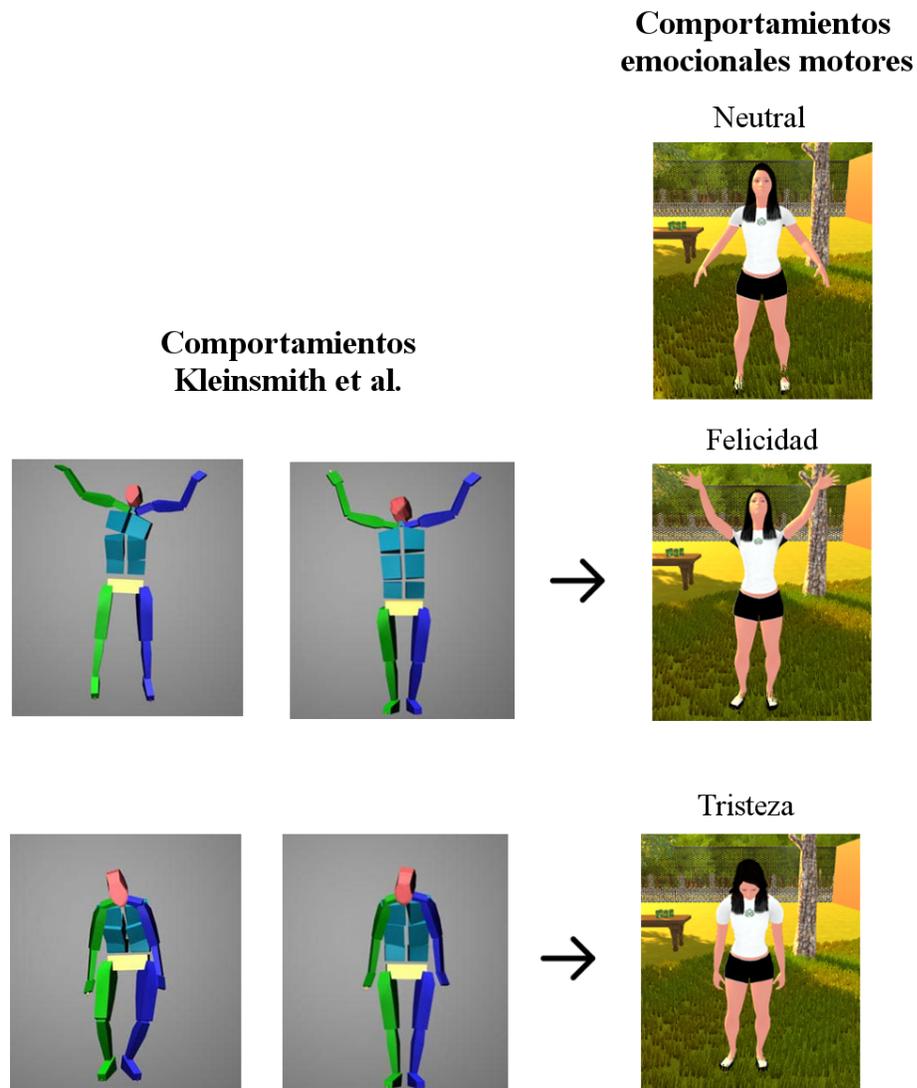


Figura 5.2: Comportamientos emocionales autónomos-reactivos en una criatura virtual.

intensidad emocional de la felicidad existe una mayor altura del movimiento de los brazos, mientras que en la tristeza es totalmente opuesto; a mayor intensidad emocional los brazos deben observarse más caídos. Estos comportamientos son ilustrados en las Figuras 5.4 y 5.5; las intensidades emocionales fueron seleccionadas de forma aleatoria, con el fin de observar un cambio corporal a partir de una variación emocional. Las variaciones corporales son efectuadas bajo la cinemática del cuerpo humano (Gowitzke y Milner, 1999; Faller et al.,

5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS



Figura 5.3: Estímulos obtenidos a partir del ambiente.

2004; Hernández-Santos et al., 2012), es decir, se parte del máximo y mínimo de la amplitud del movimiento de una articulación para obtener valores intermedios.

Con los resultados obtenidos se puede percatar que el movimiento de las extremidades superiores brinda las pautas para iniciar un discernimiento entre las dos emociones elegidas, sin embargo, si se amplía el conjunto de emociones manejadas a las 6 emociones básicas (vistas en la Sección 2.2) el margen de una posible confusión aumenta, para contrarrestar lo anterior la integración de un contexto sería crucial, así como la integración del movimiento de las extremidades inferiores con el propósito de producir comportamientos complejos.

Por otro lado, los comportamientos mostrados por la criatura virtual aun no satisfacen del todo una interacción empática con el usuario, debido a la carencia de algunos aspectos, entre ellos, de un contexto. Sin embargo, si marcan un indicio para el logro de dicha tarea, siendo un indicador que nos lleva a decir, que la implementación de las siguientes fases serán componentes claves para alcanzar este tipo de interacción.

5.3. Discusión

En primera instancia se analiza la implementación del modelo propuesto que refleja la primera fase de una respuesta motora-emocional (plasmado en la Sección 4.2), cuyos resultados fueron positivos, ya que el producto alcanzado es semejante a los comportamientos encontrados por Kleinsmith (2007), además el caso de estudio permitió observar el flujo de información a partir de las tareas asociadas a cada módulo del modelo, mismo que se ve reflejado en los comportamientos logrados enfocados en la estructura esquelética superior.

Asimismo, con la implementación se muestra y constata que la intensidad emocional en comportamientos emocionales autónomos-reactivos está dirigida hacia la amplitud del movimiento entre otros factores (centro de masa, frecuencia, velocidad, etc. que no son tratados); en particular los brazos juegan un rol importante en la expresión de la felicidad y tristeza, donde se ven implicadas algunas articulaciones (hombros, espina dorsal y cabeza) (Beck et al., 2010; Inderbitzin et al., 2011) con el fin de proyectar un determinado tono muscular. No obstante, al observar el comportamiento continuo de la criatura virtual al momento de estar percibiendo diferentes estímulos se observan saltos abruptos entre expresiones, lo que significa que se carece de una variable que represente el decaimiento o auge del comportamiento a través del tiempo, esta transición entre el anterior y el nuevo estado afectivo de la criatura permitirá reflejar el proceso de regulación emocional y a su vez proporcionar un comportamiento más cercano al del ser humano.

Por otra parte, el modelo propuesto basado en evidencia neurocientífica ha demostrado cumplir con las necesidades definidas como objetivo dentro de este trabajo. A pesar de que toda la evidencia neurocientífica encontrada para el desarrollo de comportamientos emocionales fue tomada en cuenta, algunas de las principales estructuras no quedan muy claro su aporte en el modelo, tal es el caso de VTA/SNC, que está aparentemente vinculada a la activación de la respuesta motora a partir de un enfoque de recompensa, y en el aprendizaje de estas respuestas motoras básicas, pero no es específico su aporte. Hay que mencionar, además que algunas de las estructuras del modelo propuesto no solo están relacionadas en la producción de comportamientos emocionales exhibidos, que existe una superposición con otros procesos, tales como recompensa, aprendizaje asociativo, aprendizaje reforzado, formación de hábitos y habilidades, selección de acciones dirigidas a objetivos, entre otros, que aportan a la adaptabilidad del modelo con otras funciones cognitivas y por el contrario se presta para una posible confusión en la funcionalidad de determinadas estructuras.

Con respecto a la evidencia neurocientífica la generación de comportamientos emocionales límbicos son producidos bajo diferentes flujos, en particular un flujo está asociado al proceso de recompensa, mientras que el segundo se vincula al dolor, es decir, comportamientos dirigidos al instinto de supervivencia que en cierto modo podrían representar los comportamientos primitivos. Lo anterior nos lleva a decir que las respuestas corpora-

5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

les divergen con base en valoraciones afectivas positivas o negativas además del nivel de intensidad. Entonces la adquisición de los comportamientos límbicos autónomos son de forma independiente, posteriormente convergen para efectuar el ajuste del comportamiento motor basados en parámetros de ejecución (por ejemplo, velocidad, amplitud y frecuencia) a partir de la regulación del tono muscular. Se debe de agregar que los comportamientos relacionados a estímulos aversivos (negativos) tienden a ser directos, ya que no requieren de un tipo de evaluación o procesamiento previo, orientando su naturaleza a ser respuestas instantáneas y por instinto, tal pareciera que este tipo de comportamiento conforma la base para generar comportamientos complejos y orientados a aspectos positivos a partir de su control e intervención de funciones cognitivas de capas superiores, lo que da las pautas para la participación de las siguientes fases, donde los procesos de aprendizaje y evaluación están implicados.

En otro orden de ideas, en este trabajo se citaron varios trabajos computacionales que tienen la capacidad de generar emociones y/o expresar dichas emociones en la Sección 2.4. Si bien el sistema propuesto no cumple con todas las emociones básicas (mencionadas en la Sección 2.2) expresadas por algunos de estos trabajos, se debe principalmente a que no se encontró evidencia neuronal que implicará otras emociones, como es el caso de la sorpresa o el disgusto. A pesar de esto, es viable incorporar nuevos comportamientos al sistema propuesto que puedan expresar nuevos estados emocionales con la adición de terceras pautas que engloben el movimiento de todo el esqueleto y no únicamente la parte superior. Una ventaja que brinda esta propuesta es su posible incorporación con otros sistemas o funciones cognitivas bio-inspiradas fundamentadas en evidencia neurocientífica, tal es el caso de la arquitectura cognitiva *Cuāyōllōtl* desarrollada por un equipo de trabajo perteneciente a Cinvestav del IPN Unidad Guadalajara. Por ende, es factible la construcción de un modelo cada vez más robusto hasta lograr tener un sistema de propósitos generales o una arquitectura cognitiva en sí, con capacidades superiores a solo el desarrollo y ejecución de comportamientos emocionales autónomos-reactivos.

Por último, pero no menos importante el modelo propuesto tiene la característica de ser adaptativo, ya que se pueden agregar nuevos módulos correspondientes a las fases posteriores que brindan las oportunidades de reproducir comportamientos corporales adaptativos o adecuados, con la integración explícita de un procesamiento volitivo y emocional. En relación con la evidencia neurocientífica se llevó a cabo la integración de circuitos asociados a producir comportamientos emocionales exhibidos abarcando desde los reflejos de sobresalto y reacciones *start-react* (estos tienen en común que en alguna parte del flujo de información el procesamiento es automático para generar una respuesta motora) hasta comportamientos emocionales complejos influenciados por las condiciones del ambiente y el objetivo a cumplir.

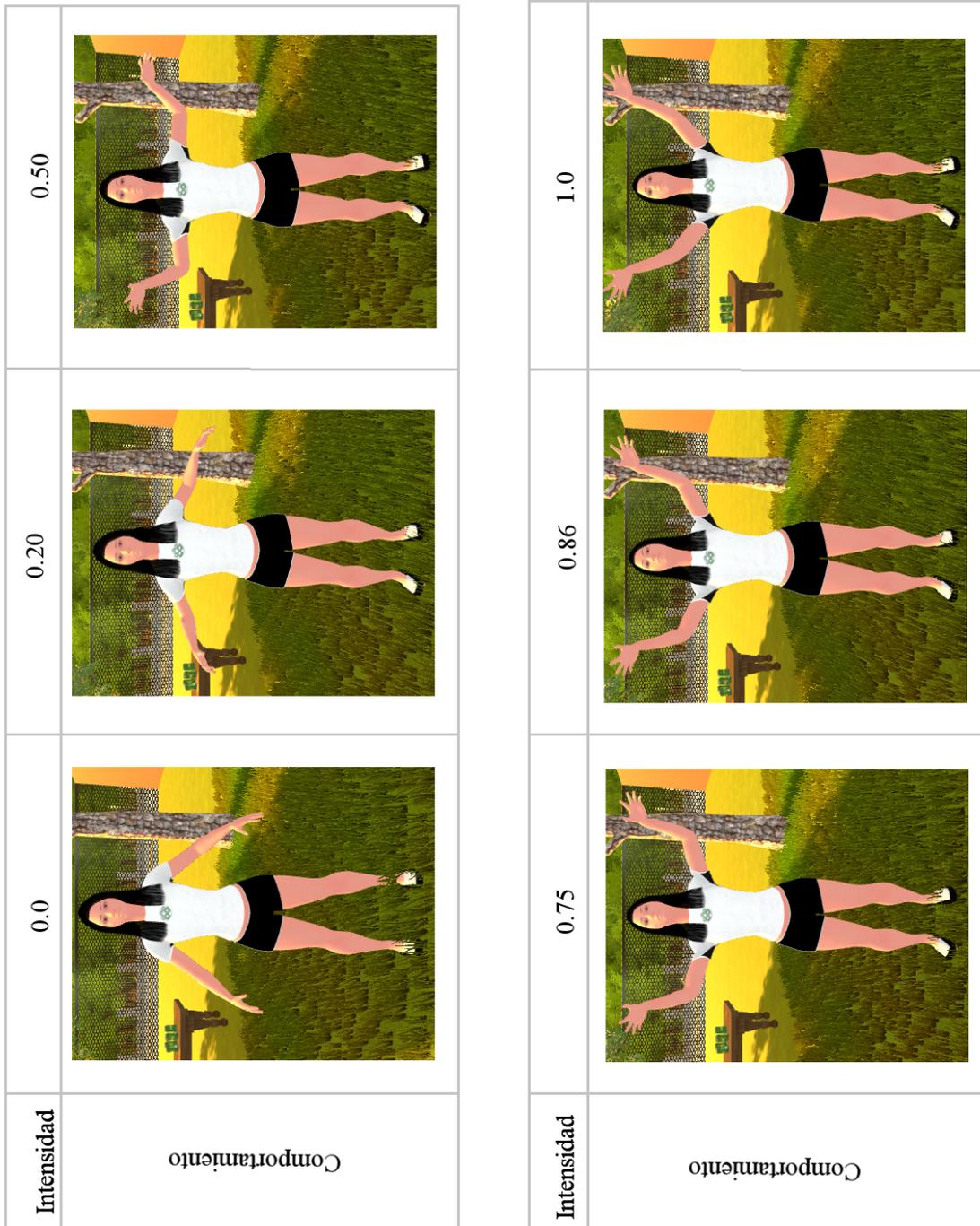


Figura 5.4: Comportamientos motores generados a partir de una evaluación emocional de felicidad con diferente intensidad en la criatura virtual.

5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Comportamiento		Intensidad 0.75
Comportamiento		Intensidad 0.86
Comportamiento		Intensidad 1.0
Comportamiento		Intensidad 0.0
Comportamiento		Intensidad 0.20
Comportamiento		Intensidad 0.50

Figura 5.5: Comportamientos motores generados a partir de una evaluación emocional de tristeza con diferente intensidad en la criatura virtual.

Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se plasman algunas conclusiones de la investigación realizada, además de trabajos futuros que representan la continuación del proyecto de investigación.

6.1. Conclusiones

Antes que nada, se inicia confirmando el propósito de esta tesis que se enfoca en el desarrollo de comportamientos corpóreos que proyectan el estado emocional del individuo para reforzar y enfatizar el proceso de comunicación, a través del lenguaje corporal. Esta propuesta puede ser embebida en criaturas virtuales para generar comportamientos locomotores autónomos a partir de la valoración emocional de estímulos que sean percibidos del ambiente, proporcionando de esta manera a la criatura virtual la capacidad de expresar su estado emocional a través de su comportamiento corporal, e impactar de forma positiva la interacción que tiene con sus semejantes y el ser humano.

Con respecto a la hipótesis planteada al principio del trabajo se confirma que un modelo cognitivo bio-inspirado brinda las herramientas necesarias para reproducir comportamientos emocionales en agentes virtuales semejantes al del ser humano, ya que proporciona las características del proceso biológico realizado por el ser humano, el cual parte de comportamientos primitivos por instinto que evolucionarán a comportamientos racionales dirigidos al logro de objetivos específicos. Entonces basados en el proceso biológico y el uso de algoritmos es viable reproducir comportamientos emocionales en aras de una interacción empática entre la criatura virtual y el usuario, lo anterior con base en el paradigma de la semejanza, que menciona que la interacción es más sencilla con criaturas que se parezcan a nosotros en relación con la morfología, comunicación y comportamiento.

Se procede con una explicación del por qué a través del escrito se optó por usar comportamientos emocionales exhibidos o corporales en lugar de postura corporal, la razón reside en que el término comportamiento para fines de este trabajo comprende el proceder de la estructura esquelética de una postura corporal a otra a través del tiempo, el cual dará

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

cavidad a la transición de una emoción a otra, entonces el proceso tratado en el modelo está por encima de una postura corporal.

En cuanto a la identificación de las pautas para reconocer el estado emocional, este objetivo se ve cumplido en el modelo propuesto, ya que se identificó que la amplitud, velocidad y frecuencia con que se realizan los movimientos son factores para definir la intensidad emocional más allá de la emoción, en lo que se refiere a la emoción, la configuración del esqueleto es decisivo; la orientación de la cabeza, tronco, brazos y piernas. Sin embargo, en la implementación dichas características no se ven reflejadas debido a que se optó por la orientación de los brazos mismos que son importantes en las emociones expresadas, como fue la felicidad y tristeza cuya intensidad fue proyectada con ayuda de la amplitud del movimiento.

Otro punto es acerca de la evidencia neurocientífica, que engloba el segundo y tercer de los objetivos particulares, mismo que se alcanzaron con la identificación de diferentes flujos de información que están asociados a tres etapas en la producción comportamientos emocionales exhibidos, que terminan convergiendo en el tronco cerebral que representa la entrada para producir la postura corporal, además que los impulsos emocionales provienen de múltiples estructuras cerebrales convirtiendo al proceso emocional en un sistema naturalmente distribuido.

Para finalizar cabe resaltar que la propuesta es innovadora porque en el estado del arte no se encontraron estudios que se centrarán en identificar cómo es que el componente emocional impacta en los comportamientos motores específicamente los autónomos, por lo tanto, es un rubro en el cual existen varias áreas de oportunidad y que requieren ser investigadas con el fin de entender el comportamiento humano afectado por las emociones para su posterior representación ante sistemas inteligentes.

6.2. Trabajos futuros

En esta sección se plantean varios trabajos que quedan pendientes y que representan la continuación de este trabajo. Para ello se parte de la implementación realizada en la cual requiere de la inserción de las partes del cuerpo faltantes, como son el tronco y las extremidades inferiores, con el fin de generar comportamientos más enriquecidos corporalmente. Así mismo brindará la oportunidad de expresar corporalmente las emociones restantes, como es la sorpresa, disgusto, miedo y enojo. Otro rasgo es la integración de los comportamientos corporales en un contexto para facilitar de alguna manera la interpretación de la emoción que proyecte la respuesta corporal y cuya relación sea correcta.

Por otro lado falta enriquecer más con evidencia neurocientífica las siguientes fases asociadas a los hábitos y objetivos (planteadas en la Sección 4.3) con el propósito de tener

un flujo de información completo y bien fundamentado, que guiará su incorporación con la implementación realizada en este trabajo, donde se observa implicado un proceso de aprendizaje implícito al momento de generarse la transición de la primera fase a la segunda, asimismo la evaluación del ambiente para producir comportamientos asociados a los objetivos y condiciones del ambiente, en esta etapa se habla de una combinación del procesamiento emocional con el volitivo.

Lo anterior brinda las oportunidades para probar con casos de estudio más ambiciosos, entre ellos se encuentran el tratar de mezclar los comportamientos emocionales para observar las respuestas corporales generadas por la criatura virtual, es decir, que los estímulos ya no solo sean evaluados afectivamente con una emoción sino que exista la participación de dos o más emociones.

Referencias

- Aarts, E., van Holstein, M., y Cools, R. (2011). Striatal Dopamine and the Interface between Motivation and Cognition. *Frontiers in Psychology*, 2:163. 30, 46
- Aivo (2016). Agentbot. 3, 7
- Akkal, D., Dum, R. P., y Strick, P. L. (2007). Supplementary motor area and presupplementary motor area: Targets of basal ganglia and cerebellar output. *Journal of Neuroscience*, 27(40):10659–10673. 34
- Alam, M., Schwabe, K., y Krauss, J. K. (2011). The pedunculopontine nucleus area: critical evaluation of interspecies differences relevant for its use as a target for deep brain stimulation. *Brain a Journal of Neurology*, 134(1):11–23. 31, 34, 44, 45
- Albert, J., López-Martín, S., Tapia, M., Montoya, D., y Carretié, L. (2012). The role of the anterior cingulate cortex in emotional response inhibition. *Human Brain Mapping*, 33(9):2147–2160. 32, 46
- Albouy, G., Fogel, S., King, B. R., Laventure, S., Benali, H., Karni, A., Carrier, J., Robertson, E. M., y Doyon, J. (2015). Maintaining vs. enhancing motor sequence memories: Respective roles of striatal and hippocampal systems. *NeuroImage*, 108(Supplement C):423–434. 28
- AlterEgo (2012). Proyecto AlterEgo. Accedido el 02-02-2017. 9
- Amat, J., Baratta, M. V., Paul, E., Bland, S. T., Watkins, L. R., y Maier, S. F. (2005). Medial prefrontal cortex determines how stressor controllability affects behavior and dorsal raphe nucleus. *Nature Neuroscience*, 8(3):365–371. 31, 34
- Aravamathan, B. R., McNab, J. A., Miller, K. L., Rushworth, M., Jenkinson, N., Stein, J. F., y Aziz, T. Z. (2009). Cortical and subcortical connections within the pedunculopontine nucleus of the primate *Macaca mulatta* determined using probabilistic diffusion tractography. *Journal of Clinical Neuroscience*, 16(3):413–420. 34

- Arteaga, S. (2016). Crean un sistema de realidad virtual para entrenar mejor. 3
- Bailey, M. R., Simpson, E. H., y Balsam, P. D. (2016). Neural substrates underlying effort, time, and risk-based decision making in motivated behavior. *Neurobiology of Learning and Memory*, 133:233–256. 29
- Baldassarri, S. y Cerezo, E. (2012). *Maxine: Embodied Conversational Agents for Multimodal Emotional Communication*, capítulo 11, páginas 195–211. InTech. XI, 2, 19, 21
- Baldassarri, S., Cerezo, E., y Seron, F. J. (2008). Maxine: A platform for embodied animated agents. *Computers & Graphics*, 32(4):430–437. 19
- Balleine, B. W. y O’doherly, J. P. (2010). Human and rodent homologues in action control: corticostriatal determinants of goal-directed and habitual action. *Neuropsychopharmacology*, 35(1):48–69. 29, 30
- Bear, M. F., Connors, B. W., y Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience exploring the Brain*. Lippincott Williams & Wilkins, United States of America, tercera edición. XIII, 16
- Beck, A., namero, L. C., y Bard, K. A. (2010). Towards an Affect Space for robots to display emotional body language. En *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, páginas 464–469. 59
- Becker, M. I. (2017). Baseline Motor Cortex Activity Contains an Internal Model Representation. *Journal of Neuroscience*, 37(27):6389–6390. 29
- Bédard, P. y Sanes, J. N. (2009). On a basal ganglia role in learning and rehearsing visual-motor associations. *NeuroImage*, 47(4):1701–1710. 30, 43
- Benarroch, E. E. (2012). Periaqueductal gray An interface for behavioral control. *Neurology*, 78(3):210–217. 30, 44
- Bernhardt, D. (2010). Emotion inference from human body motion. techreport, University of Cambridge Computer Laboratory. 15, 54
- Bevacqua, E., Richard, R., Soler, J., y Loor, P. D. (2016). INGREDIBLE : A platform for full body interaction between human and virtual agent that improves co-presence. *Archive ouverte HAL*. 1, 7
- Blakemore, R. L. y Vuilleumier, P. (2017). An Emotional Call to Action: Integrating Affective Neuroscience in Models of Motor Control. *Emotion Review*, 9(4):299–309. 29
- Blood, A. J., Kuster, J. K., Woodman, S. C., Kirlic, N., Makhlof, M. L., Multhaupt-Buell, T. J., Makris, N., Parent, M., Sudarsky, L. R., Sjalander, G., et al. (2012). Evidence for altered basal ganglia-brainstem connections in cervical dystonia. *PLoS One*, 7(2):31654. 31

-
- Brovelli, A., Nazarian, B., Meunier, M., y Boussaoud, D. (2011). Differential roles of caudate nucleus and putamen during instrumental learning. *NeuroImage*, 57(4):1580–1590. 30, 32, 34, 46
- Camara, E., Rodriguez-Fornells, A., Ye, Z., y Münte, T. F. (2009). Reward networks in the brain as captured by connectivity measures. *Frontiers in Neuroscience*, 3(3):350. 29, 30, 34, 43
- Cancino, C. K. G. (2016). Psiquiatras virtuales para tratamiento remoto de pacientes con depresión. 3, 7, 9
- Cardinal, R. N., Parkinson, J. A., Hall, J., y Everitt, B. J. (2002). Emotion and motivation: the role of the amygdala, ventral striatum, and prefrontal cortex. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(3):321–352. 30, 34, 43, 44
- Cardinali, D. P. (2007). *Neurociencia aplicada. Sus fundamentos*. Editorial medica pan-americana, Buenos Aires. 10, 15
- Carrive, P. y Morgan, M. M. (2012). Chapter 10 - Periaqueductal Gray. En Mai, J. K. y Paxinos, G., editores, *The Human Nervous System*, páginas 367–400. Academic Press, San Diego, tercera edición. 44
- Castro, D. C., Cole, S. L., y Berridge, K. C. (2015). Lateral hypothalamus, nucleus accumbens, and ventral pallidum roles in eating and hunger: interactions between homeostatic and reward circuitry. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9:1–17. 30, 34, 43
- Cavdar, S., Onat, F. Y. I., Yananli, H. R., Sehirlı, U. S., Tulay, C., Saka, E., y Gürdal, E. (2002). Cerebellar connections to the rostral reticular nucleus of the thalamus in the rat. *Journal of Anatomy*, 201(6):485–491. 32, 34, 44, 45
- Cavdar, S., San, T., Aker, R., Sehirlı, U., y Onat, F. (2001). Cerebellar connections to the dorsomedial and posterior nuclei of the hypothalamus in the rat. *Journal of Anatomy*, 198(1):37–45. 29, 32
- Cervantes, J.-A., Rosales, J.-H., López, S., Ramos, F., y Ramos, M. (2017). Integrating a cognitive computational model of planning and decision-making considering affective information. *Cognitive Systems Research*, 44(Supplement C):10–39. 28
- Chen, F.-J. y Sara, S. (2007). Locus coeruleus activation by foot shock or electrical stimulation inhibits amygdala neurons. *Neuroscience*, 144(2):472–481. 31, 46
- Churamani, N., Cruz, F., Griffiths, S., y Barros, P. (2016). iCub: Learning Emotion Expressions using Human Reward. En *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Workshop on Bio-inspired Social Robot Learning in Home Scenarios*. 18

- Cimen, G., Ilhan, H., Capin, T., y Gurcay, H. (2013). Classification of human motion based on affective state descriptors. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 24. 14, 15
- Coulombe, M.-A., Lawrence, K. S., Moulin, D. E., Morley-Forster, P., Shokouhi, M., Nielson, W. R., y Davis, K. D. (2017). Lower Functional Connectivity of the Periaqueductal Gray Is Related to Negative Affect and Clinical Manifestations of Fibromyalgia. *Frontiers in Neuroanatomy*, 11:47. 30, 32, 34, 44
- Coulson, M. (2004). Attributing emotion to static body postures: recognition accuracy, confusions, and viewpoint dependence. *Journal of Nonverbal Behavior*, 28(2). 14, 35, 54
- Dezfouli, A. y Balleine, B. W. (2012). Habits, action sequences and reinforcement learning. *European Journal of Neuroscience*, 35(7):1036–1051. 30, 43, 46
- Dorocic, I. P., Fürth, D., Xuan, Y., Johansson, Y., Pozzi, L., Silberberg, G., Carlén, M., y Meletis, K. (2014). A whole-brain atlas of inputs to serotonergic neurons of the dorsal and median raphe nuclei. *Neuron*, 83(3):663–678. 29, 31, 34
- Drevets, W. C., Savitz, J., y Trimble, M. (2008). The Subgenual Anterior Coingulate Cortex in Mood Disorders. *CNS Spectrums*, 13(8):663–681. 32
- Ekman, P. (1977). *Nonverbal Communication and Behavior*. Lawrence Erlbaum Association. VII, 4, 11
- Ekman, P. y Davidson, R. (1994). *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Primera edición. VII, 4, 11, 14, 18, 28
- Ekman, P. y Friesen, W. V. (2015). *Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions from Facial Expressions*. Malor Books. 11, 14, 18, 21, 22
- Emaze (2014). Sistema nervioso. Accedido el 28-03-2017. XI, XI, 16
- Euronews (2016). Tratar la esquizofrenia con un avatar. 3
- Faller, A., Schünke, M., y Schünke, G. (2004). *The human body: an introduction to structure and function*. Thieme e-book library. Thieme. 57
- Fliessbach, K., Weber, B., Trautner, P., Dohmen, T., Sunde, U., Elger, C. E., y Falk, A. (2007). Social comparison affects reward-related brain activity in the human ventral striatum. *Science*, 318(5854):1305–1308. 30
- Floresco, S. B. (2015). The nucleus accumbens: An interface between cognition, emotion, and action. *Annual Review of Psychology*, 66(1):25–52. PMID: 25251489. 43
- Fournier-Gosselin, M.-P., Lipsman, N., Saint-Cyr, J. A., Hamani, C., y Lozano, A. M. (2013). Regional anatomy of the pedunculopontine nucleus: Relevance for deep brain stimulation. *Movement Disorders*, 28(10):1330–1336. 31

-
- Franklin, S., Madl, T., D’Mello, S., y Snider, J. (2014). LIDA: A systems-level architecture for cognition, emotion, and learning. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 6(1):19–41. xi, 18, 20
- Franklin, S. y Ramamurthy, U. (2006). Motivations, values and emotions: 3 sides of the same coin. En *Proceedings of the Sixth International Workshop on Epigenetic Robotics, Paris, France, September 2006, Lund University Cognitive Studies*, número 128, páginas 41–48. 18
- Franklin, S., Ramamurthy, U., Mello, S. K. D., McCauley, L., Negatu, A., L., R. S., y Datla, V. (2007). Lida: A computational model of global workspace theory and developmental learning. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, 1:61–66. 18
- Frijda, N. H., Ridderinkhof, K. R., y Rietveld, E. (2014). Impulsive action: emotional impulses and their control. *Frontiers in Psychology*, 5(518). 29
- Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex—an update. *Neuron*, 30(2):319–333. 32, 34
- Gallardo, M. A. (2011). *Utilización de agentes virtuales en navegación sobre entornos hipermidia tridimensional*. ITE, España, primera edición. 1, 7
- González, F. A. L. (2005). *Nuevas Técnicas para la Animación del Comportamiento de Agentes Virtuales Autónomos*. PhD thesis, Universidad de Cantabria. 8, 9
- Gowitzke, B. y Milner, M. (1999). *El cuerpo y sus movimientos. Bases científicas*. Colección Medicina Deportiva Series. Paidotribo. 57
- Gremel, C. M. y Lovinger, D. M. (2017). Associative and sensorimotor cortico-basal ganglia circuit roles in effects of abused drugs. *Genes, Brain and Behavior*, 16(1):71–85. 34
- Grillner, S., Hellgren, J., Menard, A., Saitoh, K., y Wikstrom, M. (2005). Mechanisms for selection of basic motor programs – roles for the striatum and pallidum. *Trends in Neurosciences*, 28(7):364–370. 29, 31, 34, 43, 46
- Grinband, J., Savitskaya, J., Wager, T. D., Teichert, T., Ferrera, V. P., y Hirsch, J. (2011). The dorsal medial frontal cortex is sensitive to time on task, not response conflict or error likelihood. *NeuroImage*, 57(2):303–311. 32
- Groenewegen, H. J. y Trimble, M. (2007). The ventral striatum as an interface between the limbic and motor systems. *CNS Spectrums*, 12(12):887–892. 43
- Guedes, A., Baldassarri, S., y Cerezo, E. (2008). Animación de Actores Virtuales: Expresión de Emociones Mediante Lenguaje Corporal. En Matey, L. y Torres, J. C., editores, *CEIG 08 - Congreso Español de Informática Gráfica*. The Eurographics Association. 20
- Haber, S. N. (2003). The primate basal ganglia: parallel and integrative networks. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 26(4):317–330. 29, 31, 32, 34, 46
-

REFERENCIAS

- Haber, S. N. y Knutson, B. (2010). The reward circuit: linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, 35(1):4–26. 32, 34, 43, 44, 46
- Hashmi, J. A., Baliki, M. N., Huang, L., Baria, A. T., Torbey, S., Hermann, K. M., Schnitzer, T. J., y Apkarian, A. V. (2013). Shape shifting pain: chronification of back pain shifts brain representation from nociceptive to emotional circuits. *Brain a Journal of Neurology*, 136(9):2751–2768. 29
- Hernández-Santos, C., Rodríguez-Leal, E., Soto, R., y Gordillo, J. (2012). Kinematics and Dynamics of a New 16 DOF Humanoid Biped Robot with Active Toe Joint. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(5):190. 58
- Hiebert, N. M., Owen, A. M., Seergobin, K. N., y MacDonald, P. A. (2017). Dorsal striatum mediates deliberate decision making, not late-stage, stimulus-response learning. *Human Brain Mapping*. 30
- Ilango, A., Kesner, A. J., Keller, K. L., Stuber, G. D., Bonci, A., y Ikemoto, S. (2014). Similar roles of substantia nigra and ventral tegmental dopamine neurons in reward and aversion. *Journal of Neuroscience*, 34(3):817–822. 29, 46
- Incorporated, A. S. (2016). Quality animated characters, now within scope. Accedido el 01-01-2017. xi, 9
- Inderbitzin, M., Våljamäe, A., Calvo, J. M. B., Verschure, P. F. M. J., y Bernardet, U. (2011). Expression of emotional states during locomotion based on canonical parameters. En *Face and Gesture 2011*, páginas 809–814. 59
- Jahn, K., Deutschländer, A., Stephan, T., Kalla, R., Wiesmann, M., Strupp, M., y Brandt, T. (2008). Imaging human supraspinal locomotor centers in brainstem and cerebellum. *NeuroImage*, 39(2):786–792. 34, 44
- Jaime, K., Cervantes, A., Medina, O., Ramos, F., Rosales, J.-H., Torres, G., y Ramos, M. (2015). A middleware for integrating cognitive architectures. En *Brain Informatics and Health*, páginas 435–444. Springer International Publishing. 53
- Jenkinson, N., Nandi, D., Muthusamy, K., Ray, N. J., Gregory, R., Stein, J. F., y Aziz, T. Z. (2009). Anatomy, physiology, and pathophysiology of the pedunculopontine nucleus. *Movement Disorders*, 24(3):319–328. 31, 44
- Jordan, M. L. (1998). Initiation of locomotion in mammals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 860(1):83–93. 23, 25, 32, 46
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., y Jessell, T. M. (2000). *Principles of Neural Science*. Cuarta edición. 31

-
- Karlsson, K., Windischberger, C., Gerstl, F., Mayr, W., Siegel, J., y Moser, E. (2010). Modulation of hypothalamus and amygdalar activation levels with stimulus valence. *NeuroImage*, 51(1):324–328. 34
- Keeler, J., Pretsell, D., y Robbins, T. (2014). Functional implications of dopamine d1 vs. d2 receptors: A prepare and select model of the striatal direct vs. indirect pathways. *Neuroscience*, 282(Supplement C):156–175. The Ventral Tegmentum and Dopamine: A New Wave of Diversity. 29, 30, 46
- Kelley, A. E. (2004). Ventral striatal control of appetitive motivation: role in ingestive behavior and reward-related learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(8):765–776. 29, 30
- Kelley, A. E., Baldo, B. A., Pratt, W. E., y Will, M. J. (2005). Corticostriatal-hypothalamic circuitry and food motivation: Integration of energy, action and reward. *Physiology and Behavior*, 86:773–795. 30
- Kleinsmith, A. (2007). UCLIC Affective Body Posture and Motion Database. 13, 35, 56, 59
- Kleinsmith, A. y Bianchi-Berthouze, N. (2007). Recognizing Affective Dimensions from Body Posture. *Springer-Verlag*, 4738:48–58. 14, 15, 35, 54
- Kleinsmith, A., Bianchi-Berthouze, N., y Silva, P. R. D. (2006). Cross-Cultural Differences in Recognizing Affect from Body Posture. *Elsevier Science*, 18(6):1371–1389. XI, 14, 35, 54
- Kleinsmith, A., Silva, P. R. D., y Bianchi-Berthouze, N. (2005). Grounding Affective Dimensions into Posture Features. *Springer-Verlag*, 3784:263–270. 35, 54
- Kolb, B. y Wishaw, I. Q. (2006). *Neuropsicología humana*. Editorial medica panamericana, Argentina, quinta edición. XI, 15, 16
- Laban, R. V. y Ullmann, L. (2011). *The Mastery of Movement*. Macdonald and Evans, cuarta edición. 15
- Laird, J. E. (2012). *The Soar Cognitive Architecture*. Primera edición. XI, 18, 21
- Lambert, A. O. C. y Montañez, C. H. T. (2016). Asistente Virtual Para El Diagnóstico De Trastornos Alimentarios Usando Un Motor Cognoscitivo General: Nutmin. En *Iaedp Symposium*. 3, 7
- Lanciego, J. L., Luquin, N., y Obeso, J. A. (2012). Functional neuroanatomy of the basal ganglia. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2(12). 29
- Langley, P. y Choi, D. (2006). A Unified Cognitive Architecture for Physical Agents . *American Association for Artificial Intelligence*, páginas 1469–1479. 10
-

REFERENCIAS

- Langley, P., Laird, J. E., y Rogers, S. (2009). Cognitive Architectures: Research Issues and Challenges . *Elsevier Science*, 10(2):141–160. 10
- Lee, M. S., Rinne, J. O., y Marsden, C. D. (2000). The pedunclopontine nucleus: Its role in the genesis of movement. *Yonsei Med J*, 41(2). 31, 34, 43, 44, 45, 46
- Leisman, G. y Melillo, R. (2013). The basal ganglia: motor and cognitive relationships in a clinical neurobehavioral context. *Reviews in the neurosciences*, 24(1):9–25. 29, 34
- Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-Moreau, E., y Barrett, L. F. (2012). The brain basis of emotion: A meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences*, 35:121–202. 29
- Macpherson, T., Morita, M., y Hikida, T. (2014). Striatal direct and indirect pathways control decision-making behavior. *Frontiers in Psychology*, 5:1301. 28, 29, 30, 43
- Maier, S. F. y Watkins, L. R. (2005). Stressor controllability and learned helplessness: The roles of the dorsal raphe nucleus, serotonin, and corticotropin-releasing factor. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29(4-5):829–841. 31, 34
- MakeHuman (2016). Makehuman. 53
- McCloskey, M. (2001). *Etiqueta para profesionales*. Editorial Norma, Colombia. 12
- McFarland, N. R. y Haber, S. N. (2000). Convergent inputs from thalamic motor nuclei and frontal cortical areas to the dorsal striatum in the primate. *Journal of Neuroscience*, 20(10):3798–3813. 31, 34
- Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal communication*. Transaction Publishers, primera edición. VII, 2
- Middleton, F. A. y Strick, P. L. (2000). Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. *Brain Research Reviews*, 31(2):236–250. 34
- Mileykovskiy, B. Y., Kiyashchenko, L. I., Kodama, T., Lai, Y.-Y., y Siegel, J. M. (2000). Activation of pontine and medullary motor inhibitory regions reduces discharge in neurons located in the locus coeruleus and the anatomical equivalent of the midbrain locomotor region. *Journal of Neuroscience*, 20(22):8551–8558. 31, 47
- Miller, E. K. y Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1):167–202. 32, 34
- Molina, J. M., Corchado, J. M., y Mestras, J. P. (2005). *Agentes software y sistemas multiagente : conceptos, arquitecturas y aplicaciones*, capítulo Modelos y arquitecturas de agentes, páginas 65–104. Prentice Hall, España. 9

- Montañés, M. C. (2005). *Psicología de la emoción: el proceso emocional*. Universidad de Valencia. 11
- Nachev, P., Kennard, C., y Husain, M. (2008). Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(11):856–869. 32
- Neugebauer, V., Li, W., Bird, G. C., y Han, J. S. (2004). The amygdala and persistent pain. *The Neuroscientist*, 10:221–234. 30
- Nonnekes, J., Oude Nijhuis, L. B., de Niet, M., de Bot, S. T., Pasma, J. W., van de Warrenburg, B. P., Bloem, B. R., Weerdesteyn, V., y Geurts, A. C. (2014). Startreact restores reaction time in hsp: Evidence for subcortical release of a motor program. *Journal of Neuroscience*, 34(1):275–281. 31, 45
- Nonnekes, J., Scotti, A., Nijhuis, L. O., Smulders, K., Queralt, A., Geurts, A., Bloem, B., y Weerdesteyn, V. (2013). Are postural responses to backward and forward perturbations processed by different neural circuits? *Neuroscience*, 245(Supplement C):109–120. 31
- Ostrosky, F. y Vélez, A. (2013). Neurobiología de las Emociones. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 13(1):1–13. 11
- Pérez, H. M., Pérez, J. M., González, L. L., y Bravo, C. C. (2012). *Comunicación y atención cliente*. Mc Graw Hill, España, primera edición. 12
- Peterson, D. S. y Horak, F. B. (2016). Neural control of walking in people with parkinsonism. *Physiology*, 31(2):95–107. 31, 34, 44
- Pierce, R. C. y Kumaresan, V. (2006). The mesolimbic dopamine system: The final common pathway for the reinforcing effect of drugs of abuse? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30:215–238. 29, 34
- Puig, W. R., Fano, B. G., Borjas, C. D., y Hernández, L. D. (2006). División regional del cuerpo humano para facilitar su estudio. Diferencias entre las regiones superficiales y esqueléticas. *Educación Médica Superior*, 20(3). 13
- RAE (2017). Postura. Accedido el 27-09-2016. 13
- Rebel, G. (2004). *El lenguaje corporal: Lo que expresan las actitudes, las posturas, los gestos y su interpretación*. Bolsillo EDAF, España. 12
- Reynolds, J. N. y Parr-Brownlie, L. C. (2016). Basal ganglia. Basal ganglia. *Encyclopædia Britannica, inc.* 29, 32, 46
- Richard, J. M., Castro, D. C., DiFeliceantonio, A. G., Robinson, M. J., y Berridge, K. C. (2013). Mapping brain circuits of reward and motivation: In the footsteps of ann kelley. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37:1919–1931. 29, 30, 34

- Rodigari, A. y Oliveri, M. (2014). Disrupting sma activity modulates explicit and implicit emotional responses: An rtms study. *Neuroscience Letters*, 579(Supplement C):30–34. 32
- Rolston, A. y Lloyd-Richardson, E. (2015). What is emotion regulation and how do we do it? 11
- Rosales, J.-H. (2017). *Modelo y Sistema Afectivo Bio-inspirado para emociones básicas en criaturas virtuales*. PhD thesis, Cinvestav del IPN Unidad Guadalajara. 28
- Rosales, J.-H., Jaime, K., Ramos, F., y Ramos, M. (2013). An Emotional Regulation Model with Memories for Virtual Agents. En *12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing*. 28
- Rosales, J.-H., Ramos, F., Ramos, M., y Cervantes, J.-A. (2017a). Search for an appropriate behavior within the emotional regulation in virtual creatures using a learning classifier system. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017:1–13. 28, 29, 32, 43
- Rosales, J.-H., Zamarripa, M. S., Ramos, F., y Ramos, M. (2017b). Automatic reward system for virtual creatures, emergent processes of emotions and physiological motivation. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 30, 34
- Róspide, C. G. y Puente, C. (2012). Agentes virtuales inteligentes aplicados a un entorno educativo. *Pensamiento matemático*, 2(2):195–208. 3, 7
- Rossi, M. A., Sukharnikova, T., Hayrapetyan, V. Y., Yang, L., y Yin, H. H. (2013). Operant self-stimulation of dopamine neurons in the substantia nigra. *PLoS One*, 8(6). 29, 46
- Russo, S. J. y Nestler, E. J. (2013). The brain reward circuitry in mood disorders. *Nature Reviews*, 14:609–625. 30, 34
- Sacchetti, B., Scelfo, B., Tempia, F., y Strata, P. (2004). Long-term synaptic changes induced in the cerebellar cortex by fear conditioning. *Neuron*, 42(6):973–982. 32
- Samuels, E. y Szabadi, E. (2008). Functional neuroanatomy of the noradrenergic locus coeruleus: Its roles in the regulation of arousal and autonomic function part i: Principles of functional organisation. *Current Neuropharmacology*, 6(3):235–253. 31, 34, 44, 46
- Sesack, S. R. y Grace, A. A. (2010). Cortico-basal ganglia reward network: Microcircuitry. *Neuropsychopharmacology*, 35:27–47. 29, 30, 32
- Shafir, T. (2016). Using Movement to Regulate Emotion: Neurophysiological Findings and Their Application in Psychotherapy. *Frontiers in Psychology*, 7:1451. 14, 15, 35
- Shafir, T., Tsachor, R. P., y Welch, K. B. (2016). Emotion Regulation through Movement: Unique Sets of Movement Characteristics are Associated with and Enhance Basic Emotions. *Frontiers in Psychology*, 6:2030. 14, 15, 35, 54

-
- Shemmell, J. (2015). Interactions between stretch and startle reflexes produce task-appropriate rapid postural reactions. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9, 24, 25
- Shiflett, M. W. y Balleine, B. W. (2010). At the limbic-motor interface: disconnection of basolateral amygdala from nucleus accumbens core and shell reveals dissociable components of incentive motivation. *European Journal of Neuroscience*, 32(10):1735–1743. 43
- Smith, K. S. y Berridge, K. C. (2007). Opioid limbic circuit for reward: Interaction between hedonic hotspots of nucleus accumbens and ventral pallidum. *The Journal of Neuroscience*, 27(7):1594–1605. 30
- Smith, K. S., Berridge, K. C., y Aldridge, J. W. (2011). Disentangling pleasure from incentive salience and learning signals in brain reward circuitry. *PNAS*, 108:255–264. 30
- Smith, K. S., Tindell, A. J., Aldridge, J. W., y Berridge, K. C. (2009). Ventral pallidum roles in reward and motivation. *Behavioural Brain Research*, 196(2):155–167. 30, 34, 43
- Smith, Y. y Kieval, J. Z. (2000). Anatomy of the dopamine system in the basal ganglia. *Trends in neurosciences*, 23:S28–S33. 30
- Snaider, J., McCall, R., y Franklin, S. (2011). The lida framework as a general tool for agi. *Springer-Verlag*, 6830:133–142. 18
- Stapley, P. J. y Drew, T. (2009). The pontomedullary reticular formation contributes to the compensatory postural responses observed following removal of the support surface in the standing cat. *Journal of Neurophysiology*, 101(3):1334–1350. 31, 45
- Steimer, T. (2002). The biology of fear-and anxiety-related behaviors. *Dialogues in clinical neuroscience*, 4(3):231. 23, 25
- Stein, M. B., Simmons, A. N., Feinstein, J. S., y Paulus, M. P. (2007). Increased amygdala and insula activation during emotion processing in anxiety-prone subjects. *American Journal of Psychiatry*, 164(2):318–327. 29
- Stoodley, C. J. y Schmahmann, J. D. (2010). Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *Cortex*, 46(7):831–844. Language, Cognition and the Cerebellum: Grappling with an Enigma. 34, 44
- Su, W.-P., Pham, B., y Wardhani, A. (2007). Personality and emotion-based high-level control of affective story characters. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(2):281–293. 20
- Sun, R. (2007). Cognitive social simulation incorporating cognitive architectures. *IEEE Intelligent Systems*, 22(5):33–39. 18
- Szabadi, E. (2013). Functional neuroanatomy of the central noradrenergic system. *Journal of Psychopharmacology*, 27(8):659–693. 31, 34, 46
-

REFERENCIAS

- Takakusaki, K. (2008). Forebrain control of locomotor behaviors. *Brain Research Reviews*, 57(1):192–198. Networks in Motion. 32, 46
- Takakusaki, K. (2013). Neurophysiology of gait: From the spinal cord to the frontal lobe. *Movement Disorders*, 28(11):1483–1491. 31, 44
- Takakusaki, K. (2017). Functional neuroanatomy for posture and gait control. *JMD*, 10(1):1–17. 23, 25, 30, 31, 32, 34, 43, 44, 45, 46
- Takakusaki, K., Habaguchi, T., Ohtinata-Sugimoto, J., Saitoh, K., y Sakamoto, T. (2003). Basal ganglia efferents to the brainstem centers controlling postural muscle tone and locomotion: a new concept for understanding motor disorders in basal ganglia dysfunction. *Neuroscience*, 119(1):293–308. 31
- Takakusaki, K. y Okumura, T. (2008). Neurobiological basis of controlling posture and locomotion. *Advanced Robotics*, 22(15):1629–1663. 23, 25
- Takakusaki, K., Saitoh, K., Harada, H., y Kashiwayanagi, M. (2004). Role of basal ganglia-brainstem pathways in the control of motor behaviors. *Neuroscience Research*, 50(2):137–151. 34
- Technologies, U. (2018). Unity. 53
- Thafar, M. A. y Bansal, A. K. (2016). An Abstract Model of Multimodal Fusion Using Fuzzy Sets to Derive Interactive Emotions. En *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)*, páginas 24–30. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp). XI, 21, 22
- Torres, G. A. (2013). *Metodología para el desarrollo de arquitecturas cognitivas basada en neurociencias*. PhD thesis, Cinvestav del IPN Unidad Guadalajara, México. XI, XI, 2, 10, 27, 33
- Tracey, I. (2005). Nociceptive processing in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 15:478–487. 31
- Treede, R.-D. y Apkarian, A. V. (2008). *5.45 - nociceptive processing in the cerebral cortex*. The Senses: A Comprehensive Reference. 32
- Tykocki, T., Mandat, T., y Nauman, P. (2011). Pedunculopontine nucleus deep brain stimulation in parkinson's disease. *Archives of medical science: AMS*, 7(4):555. 31, 34, 44, 45, 46
- Ullah, F., dos Anjos-Garcia, T., dos Santos, I. R., Biagioni, A. F., y Coimbra, N. C. (2015). Relevance of dorsomedial hypothalamus, dorsomedial division of the ventromedial hypothalamus and the dorsal periaqueductal gray matter in the organization of freezing

- or oriented and non-oriented escape emotional behaviors. *Behavioural Brain Research*, 293:143–152. 29
- Ullman, M. T. (2016). Chapter 76 - The Declarative/Procedural Model: A Neurobiological Model of Language Learning, Knowledge, and Use . En Hickok, G. y Small, S. L., editores, *Neurobiology of Language*, páginas 953–968. Academic Press, San Diego. 28
- Ulrich-Lai, Y. M. y Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6):397–409. 29
- Vernon, D., Beetz, M., y Sandini, G. (2015). Prospection in Cognition: The Case for Joint Episodic-Procedural Memory in Cognitive Robotics. *Frontiers in Robotics and AI*, 2:19. 28
- Vernon, D., Metta, G., y Sandini, G. (2007). The iCub cognitive architecture: Interactive development in a humanoid robot. En *2007 IEEE 6th International Conference on Development and Learning*. IEEE. 18
- Vernon, D., von Hofsten, C., y Fadiga, L. (2010). *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*. COSMOS 11. XI, 18, 19
- Vestfrid, M. (2013). El mensaje inconsciente y secreto del cuerpo. Accedido el 18-08-2016. Accedido el 18-08-2016. 12
- Waselus, M., Valentino, R. J., y Bockstaele, E. J. V. (2011). Collateralized dorsal raphe nucleus projections: A mechanism for the integration of diverse functions during stress. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 41(4):266–280. 31, 34, 44, 47
- Wendler, E., Gaspar, J. C., Ferreira, T. L., Barbiero, J. K., Andreatini, R., Vital, M. A., Blaha, C. D., Winn, P., y Cunha, C. D. (2014). The roles of the nucleus accumbens core, dorsomedial striatum, and dorsolateral striatum in learning: Performance and extinction of pavlovian fear-conditioned responses and instrumental avoidance responses. *Neurobiology of Learning and Memory*, 109(Supplement C):27–36. 29, 34, 43
- Whalen, P. J. y Phelps, E. A. (2009). *The Human Amygdala*. Primera edición. 29, 34, 43, 44
- Wilcox, R. A., Cole, M. H., Wong, D., Coyne, T., Silburn, P., y Kerr, G. (2011). Pedunculopontine nucleus deep brain stimulation produces sustained improvement in primary progressive freezing of gait. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 82(11):1256–1259. 31, 44
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. UK: John Wiley & Sons,ltd. XI, 7, 8, 9

REFERENCIAS

- Xiang, H.-B., Zhu, W.-Z., Guan, X.-H., y Ye, D.-W. (2013). The cuneiform nucleus may be involved in the regulation of skeletal muscle tone by motor pathway: a virally mediated trans-synaptic tracing study in surgically sympathectomized mice. *Brain a Journal of Neurology*, 136(10):e251–e251. 31, 34, 44, 45
- Yin, H. H., Ostlund, S. B., Knowlton, B. J., y Balleine, B. W. (2005). The role of the dorsomedial striatum in instrumental conditioning. *European Journal of Neuroscience*, 22(2):513–523. 30
- Yu, R., Liu, B., Wang, L., Chen, J., y Liu, X. (2013). Enhanced functional connectivity between putamen and supplementary motor area in parkinson’s disease patients. *PLoS One*, 8(3). 30, 34
- Zhang, M., Zhou, X., Xiang, N., He, Y., y Pan, Z. (2012). Expression sequences generator for synthetic emotion. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 5(1):19–25. xi, 2, 21, 22
- Zhang, X.-Y., Wang, J.-J., y Zhu, J.-N. (2016). Cerebellar fastigial nucleus: from anatomic construction to physiological functions. *Cerebellum & ataxias*, 3(1):9. 32, 45
- Zhou, L., Liu, M.-Z., Li, Q., Deng, J., Mu, D., y Sun, Y.-G. (2017). *Organization of Functional Long-Range Circuits Controlling the Activity of Serotonergic Neurons in the Dorsal Raphe Nucleus*, volume 18. Elsevier BV. 31, 32, 34