

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL
“LISANDRO ALVARADO”

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO AFECTIVO PARA LA
ARQUITECTURA MULTIAGENTE PARA SISTEMAS EMERGENTES Y
AUTO-ORGANIZADOS (MASOES)**

ING. SAÚL JABÍN PIÑA ALVARADO

Barquisimeto, 2016

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL “LISANDRO ALVARADO”
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO AFECTIVO PARA LA
ARQUITECTURA MULTIAGENTE PARA SISTEMAS EMERGENTES Y
AUTO-ORGANIZADOS (MASOES)**

Proyecto de Trabajo de Grado presentado para optar al grado de
Magister Scientiarum en Ciencias de la Computación
Mención Inteligencia Artificial

Autor: ING. SAÚL JABÍN PIÑA ALVARADO
Tutora: DRA. NIRIASKA PEROZO GUÉDEZ

Barquisimeto, Julio 2016

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL “LISANDRO ALVARADO”
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

ACEPTACIÓN DE TUTORÍA

Quien suscribe, Niriaska Perozo Guédez C.I. N° 11.593.374, hago constar, por medio de la presente que acepto ser la tutora de Saúl Jabín Piña Alvarado C.I. N° 19.324.149, quien es participante de la Maestría en Ciencias de la Computación Mención Inteligencia Artificial, y desarrollará el Trabajo de Grado: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO AFECTIVO PARA LA ARQUITECTURA MULTIAGENTE PARA SISTEMAS EMERGENTES Y AUTO-ORGANIZADOS (MASOES). En la ciudad de Barquisimeto, a los 6 días del mes de Julio de dos mil dieciséis.

Dra. Niriaska Perozo Guédez
C.I. 11.593.374

RESUMEN CURRICULAR DE LA TUTORA

A.- DATOS PERSONALES

1. Nombres y Apellidos: Niriaska Del Carmen Perozo Guédez.
2. Lugar y Fecha de Nacimiento: Barquisimeto (Edo. Lara - Venezuela) - 22/08/1973.
3. Nacionalidad: Venezolana.
4. Estado Civil: Casada.
5. Cédula de Identidad: 11.593.374.
6. Teléfonos: 58-251-2591720 (Oficina).
7. Móvil: 0424-5159619.
8. Correo Electrónico: nperozo@ucla.edu.ve.

B.- ESTUDIOS REALIZADOS

1. Secundaria
 - 1.1. Institución: “Mario Briceño Iragorry”.
Año: 1.989-1.990.
Título Obtenido: Bachiller en Ciencias.
2. Educación Superior
 - 2.1. Institución: “Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado”.
Año: 1.990-1.997.
Título Obtenido: Ingeniero en Informática con la Mención Cum Laude y obteniendo la posición: 1/98.
3. Postgrado
 - 3.1. Institución: “Universidad Paul Sabatier”, Toulouse-Francia.
Año: 2.007 – 2011.
Título Obtenido: Doctor en Neurociencias, Cognición y Comportamiento Colectivo.
 - 3.2. Institución: “Universidad de los Andes”, Mérida-Venezuela.

Año: 2.006 – 2011.

Título Obtenido: Doctor en Ciencias Aplicadas.

3.3. Institución: “Universidad de los Andes”, Mérida-Venezuela.

Año: 2.001 – 2.003.

Título Obtenido: Magíster scientiae en Computación.

C.- PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Aplicación del Algoritmo de Optimización por Colonia de Hormigas en la Comparación De Ontologías. Noviembre 2015-Actualmente. Proyecto que se está desarrollando en la Unidad de Inteligencia Artificial del DCyT. Código del C.D.C.H.T. – UCLA: Por Asignar.
2. Esquemas de Aprendizaje Ontológico para Sistemas Auto-Organizados y Emergentes. Junio 2014-Actualmente. Proyecto que se está desarrollando en la Unidad de Inteligencia Artificial del DCyT. Código del C.D.C.H.T. – UCLA: 001-DCT-2015.
3. Construcción Cooperativa de Arquitecturas 3D Mediante la Optimización por Enjambre de Partículas. Diciembre 2012 - 2014. Proyecto desarrollado en la Unidad de Inteligencia Artificial del DCyT. Código del C.D.C.H.T. – UCLA: 004-RCT-2013.
4. Estudio Experimental y Modelización de los Desplazamientos Colectivos de Grupos de Peatones. Febrero 2007 – Septiembre 2011. Proyecto que se desarrolló en el Centre de Recherches sur la Cognition Animale (CRCA) de la Universidad Paul Sabatier en el marco de mis estudios doctorales bajo la tutoría del Dr. Guy Theraulaz. Cabe señalar, que estos estudios fueron financiados por el Programa Alban.
5. Esquemas de Coordinación Emergente para Plataformas Distribuidas. Septiembre 2008-2011. Proyecto que se desarrolló en el Centro de Estudios en Microelectrónica y Sistemas Distribuidos (CEMISID) de la Universidad de los Andes en el marco de mis estudios doctorales bajo la tutoría del Dr. José

Aguilar y el Dr. Oswaldo Terán. Código del C.D.C.H.T. – UCLA: 004-RCT-2008.

6. Diseño de un Modelo autorganizativo para un Sistema Manejador de Comunidades en un Sistema Operativo Web, utilizando Inteligencia Artificial. Febrero 2005 – Febrero 2008. Proyecto desarrollado en la Unidad de Investigación en Inteligencia Artificial de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Código del C.D.C.H.T. – UCLA: 005-RCT-2005.

D.- PUBLICACIONES

ARTICULOS PUBLICADOS EN REVISTAS

1. “Un Algoritmo Híbrido para la Construcción Cooperativa de Arquitecturas 3D”. Perozo, N., Zapata, H., Angulo, W., Contreras, J. Enviado para publicación a la Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Venezuela, 2016.
2. “Self-Organization and Emergence Phenomena in Wikipedia and Free Software Development Using MASOES”. Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., Molina, H. Publicaciones en Ciencias y Tecnología, Decanato de Ciencias y Tecnología, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, Vol. 7, Número 1, 2013.
3. “A Verification Method for MASOES”. Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., Molina, H. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 43, Issue 1, p.p. 64-76, 2013.
4. “Un Modelo Afectivo para una Arquitectura Multiagente para Sistemas Emergentes y AutoOrganizados (MASOES)”. Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, vol. 35, Nro. 1, p.p. 1-11, Venezuela, 2012.
5. “The Walking Behaviour of Pedestrian Social Groups and its Impact on Crowd Dynamics”. Moussaïd, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D.,

- Theraulaz, G. Publicado en PLoS ONE 5(4): e10047. doi: 10.1371/journal.pone.0010047, 2010.
6. "Proposal for a Multiagent Architecture for Self-Organizing Systems (MA-SOS)". Autores: Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O. Publicado en Lecture Notes in Computer Science Vol. 5075, pp. 434-439, 2008.
 7. "Modelo de un Sistema Manejador de Comunidades Autorganizativo para un Sistema Operativo Web Multiagente". Perozo, N., Romero, D. Publicado en Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Decanato de Ciencias y Tecnología, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Vol. II, N° 2 Diciembre 2008.
 8. "Design of a Community Manager System for a Multiagent Web Operating System". Perozo, N., Aguilar, J. Publicado en Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Decanato de Ciencias y Tecnología, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Vol. II, N° 1 Junio 2008.
 9. "Definition of a Verification Method for the MASINA Methodology". Autores: J. Aguilar, N. Perozo, J. Vizcarrondo. International Journal of Information Technology Vol. 12, No.3, 2006.
 10. "Architecture of a Web Operating System based on Multiagent Systems". Autores: J. Aguilar, N. Perozo, E. Ferrer, J. Vizcarrondo, Publicado en Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Vol. 3681, pp. 700-706, 2005.
 11. "Arquitectura de un Sistema Operativo Web Basado en Sistemas Multiagente". Autores: J. Aguilar, N. Perozo, E. Ferrer, J. Vizcarrondo. Publicado en la Revista Colombiana de Computación, Vol. 5, N° 2, pp 7-29, 2004.
 12. "Arquitectura de un Sistema Operativo Web". Autores: J. Aguilar, N. Perozo, E. Ferrer, J. Vizcarrondo. Publicado en la Revista Gerencia, Tecnología, Informática (electronic journal: www.cidlisuis.org/aedo), Instituto

Tecnológico Iberoamericano de Colombia, Vol. 1, No 2, 13 páginas, Julio 2003.

13. “Sparse Distributed Memory with Adaptive Threshold”. Autores: J. Aguilar, N. Perozo. Publicado en el libro: *Soft Computing Systems: Design, Management and Applications*. (Ed. A. Abraham, M. Keepen, J. Ruiz). IOS Press Holland, Vol. 87, pp. 426-432, Diciembre 2002.

PONENCIAS, CONFERENCIAS O TUTORIALES PRESENTADOS EN EVENTOS CIENTÍFICOS NACIONALES

“Simulación del Auto-Ensamblaje Cooperativo de Estructuras 3D”. Zapata, H., Perozo, N. *II Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas (CONCISA)*, pp. 33-40. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela, 2014.

“Middleware Reflexivo Semántico para Ambientes Inteligentes”. Mendonca, M., Aguilar, J., Perozo, N. *II Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas (CONCISA)*, pp. 24-32. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela, 2014.

Institución: *Decanato de Ciencias y Tecnología (UCLA)*, Barquisimeto – Venezuela.

Año: Junio, 2.012.

Nombre del Evento: *VII Jornada de Actualización para Análisis de Sistemas y Carreras Afines*.

Ponencia: **Aplicaciones de la Inteligencia Colectiva.**

Institución: *Decanato de Ciencias y Tecnología (UCLA)*, Barquisimeto – Venezuela.

Año: Octubre, 2.010.

Nombre del Evento: *VI Jornadas de Investigación y Postgrado.*

Ponencia: Free Software Development through MASOES.

Institución: *UNET*, San Cristóbal – Venezuela.

Año: Octubre, 2.009.

Nombre del Evento: *VI Seminario Nacional de Modelos y Modelados.*

Ponencia: Un Modelo Afectivo para una Arquitectura Multiagente para Sistemas Emergentes y Auto-Organizados (MASOES).

Institución: *Decanato de Ciencias y Tecnología (UCLA)*, Barquisimeto – Venezuela.

Año: Mayo, 2.005.

Nombre del Evento: XVI Jornadas de Infociencias.

Ponencia: Aplicaciones de los Sistemas Multiagente.

Institución: *Universidad de Carabobo (UC)*, Valencia – Venezuela.

Año: Marzo, 2.005.

Nombre del Evento: II Seminario de Inteligencia Artificial: Un Panorama de Aplicaciones.

Ponencia: Arquitectura de un Sistema Operativo Web Basado en Agentes Inteligentes.

Institución: *Universidad Fermín Toro (UFT)*, Barquisimeto – Venezuela.

Año: Enero, 2.005.

Nombre del Evento: I Jornadas de Inteligencia Artificial.

Ponencia: Arquitectura en Sistemas Web Multiagente.

INTERNACIONALES

“An Approach for Multiple Combination of Ontologies Based on the Ants Colony Optimization Algorithm”. Mendonca, M., Perozo, N., Aguilar, J. Proceedings of AsiaPacific Conference on Computer Aided System Engineering (APCASE), 2015 pp. 140-145, doi:10.1109/APCASE.2015.32.

“Una Ontología Emergente para Ambientes Inteligentes basada en el Algoritmo de Optimización por Colonias de Hormigas”. Mendonca, M., Perozo, N., Aguilar, J. Proceedings of the 2014 Latin American Computing Conference (CLEI), pp. 596-606. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo Uruguay, 2014.

“The Verification Method of MASOES applied to the Social Force Model for Pedestrian Dynamics”. *Proceedings of the 9th WSEAS Int. Conf. on Computational Intelligence, Man-Machine Systems And Cybernetics* (CIMMACS '10). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) y Universidad de los Andes pp. 83-90. Venezuela, 2010.

Institución: Programme Alban – Programme de Bourses de Haut Niveau de la l’Union Européenne pour Amérique Latine.

Año: 2009.

Nombre del Evento: 3eme Conference Alban – Porto 2009 (Portugal).

Ponencia: **Experimental Study of Pedestrian Collective Displacements.**

Institución: Programme Alban – Programme de Bourses de Haut Niveau de la l’Union Européenne pour Amérique Latine.

Año: 2007.

Nombre del Evento: 2éme Conference Alban – Grenoble 2007 (Francia).

Ponencia: Esquemas de Coordinación Emergente para Plataformas Distribuidas.

Institución: *TECNOCOM 2003.*

Año: Mayo 2003.

Nombre del Evento: *3era Feria y Seminario de Informática, Electrónica y Telecomunicaciones – Medellín (Colombia).*

Ponencia: Propuesta de un Sistema Operativo WEB.

“Pattern Recognition Problems and Sparse Distributed Memory”, *Proceedings of the XXVIII Latinoamerican Informatics Conference*. Montevideo, Uruguay (7 Páginas, CD). Noviembre 2002.

“Sparse Distributed Memory with Adaptive Threshold”, *Proceedings of the II Intl. Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Diciembre 2002. Santiago de Chile, Chile.

ÍNDICE GENERAL

| | PÁG |
|---------------------------------------|-----|
| RESUMEN | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| I. EL PROBLEMA | 3 |
| Planteamiento del Problema | 3 |
| Objetivos..... | 5 |
| Objetivo General..... | 5 |
| Objetivos Específicos | 5 |
| Justificación e Importancia..... | 6 |
| Alcances y Limitaciones..... | 7 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 8 |
| Antecedentes de la Investigación..... | 8 |
| Bases Teóricas | 14 |
| Sistemas Multiagente..... | 14 |
| Computación Emocional | 18 |
| MASOES | 20 |
| Modelo Emocional de MASOES | 26 |
| III. MARCO METODOLÓGICO..... | 31 |
| Tipo de Investigación | 31 |
| Modalidad..... | 32 |
| Fases del Estudio | 33 |
| Fase I Diagnóstico | 33 |

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| | Fase II Diseño | 33 |
| | Fase III Implementación | 33 |
| | Fase IV Evaluación..... | 34 |
| IV. | ASPECTOS ADMINISTRATIVOS | 35 |
| | Recursos..... | 35 |
| | Cronograma de Actividades | 36 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 37 |

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL “LISANDRO ALVARADO”

DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO AFECTIVO PARA LA
ARQUITECTURA MULTIAGENTE PARA SISTEMAS EMERGENTES Y
AUTO-ORGANIZADOS (MASOES)**

Autor: Ing. Saúl Jabín Piña Alvarado

Tutora: Dra. Niriaska Perozo Guédez

RESUMEN

La computación emocional es un área reciente de la inteligencia artificial que tiene como objetivo mejorar los procesos interactivos entre agentes emocionales y el ser humano tanto en aplicaciones de software como de hardware. El presente trabajo plantea implementar el modelo afectivo de MASOES sobre un sistema multiagente, con la finalidad de evaluar la efectividad de dicho modelo a nivel de implementación y así, estudiar las emociones tanto a nivel individual como colectivo. Para esto, se plantea diseñar una arquitectura multiagente basada en el modelo afectivo anteriormente mencionado y aplicar la arquitectura sobre un caso de estudio.

Palabras Clave: Sistemas Multiagente, Computación Emocional, Modelo Afectivo, Interacción Emocional, MASOES.

INTRODUCCIÓN

Se sabe que las emociones juegan un papel importante en el desarrollo de los seres humanos para fines sociales o de supervivencia (Cuevas, 2015; Rodríguez y Ramos, 2015). Un objetivo importante planteado por la comunidad científica es construir sistemas artificiales que exhiben comportamiento emocional, para mejorar la interacción hombre-máquina. Los procesos emocionales se han convertido en un requisito esencial en arquitecturas de agentes cognitivos, se espera que el procesamiento afectivo mejore la calidad y la credibilidad de las respuestas emocionales generadas por los agentes (Rodríguez y Ramos, 2015). Con la aparición de la computación ubicua (Weiser, 1993) y el internet de las cosas (Ashton, 2009) la cantidad de dispositivos heterogéneos conectados ha aumentado considerablemente, y por ende las interacciones entre sí, y con los humanos, haciendo que sea imperativo el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas que permitan una mejor respuesta de estos dispositivos, además, tengan la capacidad de auto-organizarse, lo que traerá como consecuencia la simplificación del diseño y la emergencia de estructuras complejas en sistemas multiagente (Perozo 2011).

La computación afectiva es una de las áreas de la inteligencia artificial con mayor interés debido a las posibles aplicaciones, puede ser usada en simulaciones de sociedades emocionales como las del ser humano, en el tratamiento de trastornos como el autismo, el síndrome de Asperger, la epilepsia y depresión, así como en el reconocimiento de riesgo de estrés y su mitigación (Cuevas, 2015). A su vez, se generan controversiales inferencias sobre esta rama de la ciencia, se prevé que el impacto en el futuro de la computación afectiva será un enorme reto para la humanidad, se plantea que es posible que los computadores emocionales llegarán a integrarse en la sociedad hasta el punto de necesitar derechos, al igual que los

tenemos las personas, además, la computación emocional podría reemplazar el afecto humano (Cuevas, 2015).

En la actualidad no se conoce completamente los procesos cerebrales y mentales asociados a las emociones, sin embargo, se realizan esfuerzos para aplicar las teorías existentes en sistemas computacionales, diferentes autores estudian modelos emocionales en sistemas multiagente, esto, con el objetivo de mejorar la interacción de los agentes y ayudar a la auto-organización y emergencia en dichos sistemas, un ejemplo de esto es el modelo afectivo de MASOES, propuesto por Perozo (2011), el cual considera un conjunto de emociones positivas y negativas generadas desde un nivel individual y colectivo, para de esta manera promover un cambio de comportamiento dinámico en los agentes a nivel individual (Reactivo, Cognitivo) y colectivo (Imitativo). Este modelo afectivo para MASOES ha sido verificado (Perozo, 2012) pero no ha sido implementado, por tal razón, se propone en este trabajo su implementación en un sistema multiagente para evaluarlo en la generación de emociones a nivel individual y colectivo a través de un caso de estudio que se seleccione, a fin de comparar con los resultados ya obtenidos a nivel de la verificación del diseño.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

La detección o simulación de emociones por parte de sistemas artificiales es un tema de alto interés científico, especialmente por el abanico de posibles aplicaciones prácticas, un ejemplo de esto es que los sistemas con inteligencia artificial tengan la capacidad de percibir y tomar acciones según la emociones que las personas presenten, predecir comportamientos colectivos basados en emociones, o que sistemas altamente complejos y con numerosas interacciones con otros puedan simplificar su diseño, aplicando modelos emocionales que ayuden a generar auto-organización y emergencia (Perozo, 2011).

El interés de incorporar emociones a agentes inteligentes, se debe a que las emociones pueden hacer a los agentes más atractivos y creíbles para que puedan desempeñar un mejor papel en diversos sistemas interactivos que involucren simulación (Jiang et al., 2007). Según Perozo (2012), es importante considerar emociones en sistemas multiagente (SMA), ya que se argumenta que las emociones permiten a los organismos adaptarse a muchas situaciones, influyen el comportamiento a nivel individual y colectivo, intervienen en la toma de decisiones y procesamiento de la información, y tienen un efecto en la interacción social. Basado en esto, Perozo propone la arquitectura genérica MASOES y recomienda su uso en simulación social multiagente, sobre todo para casos de comparación de modelos o estudios enfocados a entender tendencias emergentes en relación a: normas, colaboración, cooperación, tráfico peatonal o vehicular, esto se debe a que MASOES

integra un modelo afectivo que ayuda a los agentes a tomar decisiones según su estado de ánimo artificial.

Trabajos como el de Rodríguez y Ramos (2015), expresan que es necesario mucha más investigación en el área de sistemas multiagente con modelos afectivos, y que los principales retos para estos son: la integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, la unificación de los diversos aspectos de las emociones, arquitecturas escalables para los modelos computacionales de emociones y explotación de evidencia biológica. La integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, se refiere a que la construcción interna de los agentes debe asegurar un correcto acoplamiento entre los diferentes componentes y el componente afectivo. Con respecto a la unificación de los diversos aspectos de las emociones, se debe proporcionar marcos adecuados para la aplicación coherente de diferentes aspectos de las emociones humanas. Las arquitecturas afectivas escalables deben ser diseñadas de una manera flexible para que puedan incorporar nuevos componentes y comportamientos. Por último, el problema de la explotación de evidencia biológica, se refiere a que las arquitecturas deben ser diseñadas de manera que puedan aprovechar al máximo el conocimiento generado en otras áreas científicas.

Por el escenario expuesto anteriormente, surge la inquietud de aplicar el modelo afectivo propuesto en MASOES en un sistema multiagente, en el cual se observe el comportamiento que puedan exhibir a nivel individual o colectivo los agentes de dicho sistema, esto se debe a que el modelo afectivo de MASOES aunque ha sido verificado formalmente a nivel de diseño (Perozo, 2012) no se ha sido implementado, lo que ofrece una oportunidad de evaluar y continuar esta investigación. Por otra parte, dicho modelo puede ser usado en cualquier caso de estudio y arquitectura, no solamente en MASOES, debido a que fue diseñado de manera modular. Asimismo, es interesante abordar el problema propuesto por de Rodríguez y Ramos (2015) de la

integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, a través del diseño de una arquitectura multiagente en el área de inteligencia colectiva. Todo esto con la finalidad de aportar a la comunidad científica una implementación del reciente modelo afectivo propuesto en MASOES.

Objetivos

Objetivo General

Implementar el modelo afectivo de MASOES en un sistema multiagente.

Objetivos Específicos

1. Investigar los aspectos teóricos relacionados a los sistemas multiagente y computación emocional.
2. Estudiar algunas arquitecturas multiagente con modelos afectivos incluyendo a MASOES (Perozo, 2011).
3. Diseñar una arquitectura multiagente a nivel individual y colectivo basada en el modelo afectivo de MASOES.
4. Implementar una arquitectura multiagente basada en el modelo afectivo de MASOES.
5. Aplicar una arquitectura multiagente basada en el modelo afectivo de MASOES en un caso de estudio seleccionado.
6. Evaluar los resultados obtenidos a nivel de implementación del modelo afectivo de MASOES con los resultados obtenidos a nivel de diseño.

Justificación e Importancia

La arquitectura MASOES, es una propuesta muy reciente que se ha mantenido en continua investigación y ha sido aplicada en diferentes casos de estudio, para el estudio del comportamiento emergente y auto-organizado de Wikipedia, el desarrollo de software libre, y el modelo de fuerza social (tráfico peatonal). Por otra parte, el aspecto de más interés en MASOES para esta propuesta de investigación, es la posibilidad de considerar el estado emocional del agente para gestionar el cambio dinámico de su comportamiento, lo que representa una diferencia importante en el modelado de sistemas multiagente.

La propuesta de investigación es justificable debido a que se identifica a MASOES como una interesante herramienta para el modelado de sistemas con o sin propiedades emergentes y auto-organizadas conocidas, que permite estudiar el comportamiento emergente y auto-organizado del sistema modelado. Así, el implementar el modelo afectivo para MASOES permite evaluarlo a nivel de simulación y contribuir con una propuesta genérica que puede ser usada en cualquier sistema multiagente, no sólo para MASOES.

Lo dicho anteriormente se sustenta en que las emociones juegan un papel funcional en el comportamiento de los seres humanos y de las sociedades de humanos, lo que hace imperativo el desarrollo de estudios en líneas de investigación como computación emocional y sistemas multiagente, con el objetivo de aportar innovadoras aplicaciones de modelos emocionales para la simulación, predicción y optimización de comportamientos basados en emociones. Cabe señalar, que para el momento de diseñar el modelo afectivo para MASOES, era una propuesta innovadora en la generación y gestión de emociones a nivel colectivo, lo que resulta muy atractivo para el estudio e influencia de las emociones en el ámbito social.

Alcances y Limitaciones

La propuesta de investigación se limitará a la implementación multiagente del modelo emocional propuesto en MASOES sobre un caso de estudio, no se incorporará un componente cognitivo complejo, debido a que se enfocará el estudio en el componente emocional. Además, se tiene previsto el uso de un simulador donde se pueda desarrollar la propuesta y modificar las características del entorno o configuraciones individuales y colectivas de los agentes de manera interactiva.

Por otra parte, se planea usar la librería JADE (*“Java Agent DEvelopment”*, en inglés), para la implementación del sistema multiagente, ya que permite el desarrollo de los agentes de acuerdo a la especificación estándar FIPA (*“Foundation for Intelligent Physical Agents”*, en inglés).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la Investigación

La investigación de Rodríguez y Ramos (2015), es importante para el presente trabajo ya que plantea cuatro problemas clave que tienen lugar en el desarrollo de sistemas multiagente con computación emocional, los cuales son: *la integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, la unificación de los diversos aspectos de las emociones, arquitecturas escalables para los modelos computacionales de emociones, y la explotación de la evidencia biológica*. La integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, se refiere a que las arquitecturas deben proporcionar entornos adecuados para la interacción de las funciones cognitivas y afectivas que intervienen en los procesos emocionales, en otras palabras, la construcción interna de los agentes debe asegurar un correcto acoplamiento entre los diferentes componentes y el componente afectivo. La unificación de los diversos aspectos de las emociones, teniendo en cuenta que no existe una teoría universal que explique todo el proceso de las emociones humanas y que todos los sistemas afectivos artificiales son desarrollados basándose en los supuestos de dichas teorías, las arquitecturas afectivas deben proporcionar marcos adecuados para la aplicación coherente de diferentes aspectos de las emociones humanas. El problema de las arquitecturas escalables, viene dado a que las investigaciones y el conocimiento de las emociones humanas se encuentran en constante cambio, las arquitecturas afectivas deben ser diseñadas de una manera flexible para que puedan incorporar nuevos componentes y comportamientos, y de

esa manera incluir los nuevos hallazgos. Por último, el problema de la explotación de evidencia biológica, se refiere a que las arquitecturas deben ser diseñadas de manera que puedan aprovechar al máximo el conocimiento generado en otras áreas científicas, además, deben incluir una serie de componentes que imitan el funcionamiento de las estructuras del cerebro implicadas en el procesamiento de las emociones humanas.

Sobre la arquitectura MASOES se pueden mencionar las siguientes investigaciones:

La arquitectura multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados llamada MASOES (*“Multiagent Architecture for Self-Organizing and Emergent Systems”*, por sus siglas en inglés), fue introducida por Perozo en 2011, como una arquitectura multiagente para el diseño, modelado y estudio de sistemas emergentes y auto-organizados, más recientemente ha sido utilizada entre otras cosas para modelar el fenómeno de la auto-organización y emergencia en Wikipedia (Perozo et al. 2013), desarrollo de software libre (Perozo et al. 2013) y sistemas multirobot (Gil et al., 2015). Esta arquitectura describe los elementos, relaciones y mecanismos, a nivel individual y colectivo, que determinan los fenómenos de emergencia y auto-organización en un sistema, sin modelar matemáticamente el mismo. Uno de los aspectos más interesantes de la arquitectura MASOES, es el hecho de considerar un conjunto de emociones positivas y negativas generadas desde un nivel individual y colectivo, para de esta manera promover un cambio de comportamiento dinámico en los agentes en lo individual (Reactivo, Cognitivo) como colectivo (Imitativo). Dicha investigación, es muy importante debido a que plantea el modelo afectivo para MASOES, el cual será utilizado en la presente investigación como base fundamental para la construcción de una arquitectura multiagente con agentes emocionales.

En este sentido el trabajo realizado por Gil et al. (2015), también es clave en el área y para este trabajo, porque demuestra la aplicabilidad de los sistemas multiagente con modelos emocionales en un problema específico, en este caso sistemas multirobot (a nivel de hardware). La investigación usa como base el modelo MASOES propuesto por Perozo (2011). En su investigación proponen una arquitectura con tres niveles, el primer nivel individual proporciona las capacidades perceptivas a cada agente y los aspectos relacionados a la conducta y emociones del robot. El segundo nivel es colectivo, soporta los procesos de interacción de los robots con otros individuos dentro del sistema y con el medio ambiente. El último nivel, de los procesos de aprendizaje y gestión del conocimiento, gestiona el conocimiento tanto individual como colectivo, así como los procesos de aprendizaje que se producen en el sistema.

Por otra parte, también es necesario mencionar otras arquitecturas y modelos afectivos recientes enfocados en el aspecto cognición-emoción que pueden contribuir a la implementación y evaluación de este trabajo de investigación.

La arquitectura afectiva FATIMA (*“Fearnot AffecTive Mind Architecture”*, en inglés), propuesta por Dias et al. (2014), es una arquitectura para la generación de emociones en agentes de software, de manera que dichas emociones afecten el comportamiento del mismo. En este trabajo se utiliza como primera aproximación para la generación y evaluación de emociones el modelo afectivo OCC (Ortony et al., 1990) (*“Ortony, Clore and Collins”*, por sus siglas en inglés), en este modelo se presentan las emociones de manera categorizada y no a través de dimensiones como otros estudios. El proceso de evaluación de las emociones se realiza en dos pasos, en primer lugar se determina la importancia de un evento para el agente y se definen las *variables de valoración* del evento, posteriormente, se toman las variables y se genera como resultado el estado afectivo, el cual permite cambiar el comportamiento del agente. Cada emoción poseerá un valor, tipo y una intensidad, el estado de ánimo del

agente se puede definir como el estado afectivo general, que está influenciado por las emociones experimentadas por el agente, las emociones positivas aumentan el estado de ánimo, mientras que las emociones negativas lo disminuyen. En esta investigación no se establece una relación entre las emociones y el comportamiento, como lo realiza el modelo afectivo para MASOES, en cambio, se muestra la relación entre las variables de valoración y las emociones, dicha relación es extraída de la categorización OCC: la variable *deseabilidad* se relaciona con *alegría* y *angustia*, la *plausabilidad* con *rechazo*, *admiración*, *orgullo* y *vergüenza*, la *capacidad de atracción* con *amor* y *odio*, entre otros. En esta arquitectura se toma en cuenta el estado emocional que puede ser producido por agentes externos y por el ambiente, y además se habla de un componente cultural, que está directamente relacionado con la variable plausabilidad, puede darse el caso que entre más positiva sean las emociones colectivas del agente, es más posible que priorice acciones positivas para otros agentes y no para él. Una importante diferencia con el modelo afectivo para MASOES, es que éste promueve un compromiso entre el comportamiento individual y colectivo en la sociedad de agentes, además, permite explicar aspectos de la interacción social, tales como el grado de satisfacción, cooperación, y competencia, entre otros, mientras que FATIMA, posee un enfoque cognitivo emocional.

Rincón et al. (2015), plantea un modelo afectivo en tres dimensiones llamado SEM (“*Social Emotional Model*”, por sus siglas inglés) basado en el modelo psicológico de estados emocionales PAD (“*Pleasure, Arousal and Dominance*”, por sus siglas en inglés), el cual está definido por las dimensiones placer, excitación y dominio respectivamente. En el modelo el placer representa la medida de cuan agradable se puede sentir una emoción, la excitación mide la intensidad de lo que se está sintiendo, y el dominio se refiere al control que ejerce sobre el comportamiento un estado emocional. Al igual que el modelo propuesto por Perozo et al. (2012), este modelo afectivo SEM utiliza valores normalizados en un intervalo de $[-1,1]$ para cada dimensión, con la diferencia que el modelo afectivo de MASOES está fundamentado

en un espacio en dos dimensiones. Ambos modelos consideran emociones individuales y grupales, difiere en que MASOES tiene como objetivo modelar la auto-organización y emergencia en un sistema, utilizando el modelo afectivo para que cada agente pueda cambiar su comportamiento dinámicamente, guiado por su estado emocional para satisfacer dinámicamente los objetivos del sistema a través de la auto-organización de sus actividades, mientras que SEM se centra en estudiar los estados emocionales individuales y grupales a través del tiempo. SEM como modelo afectivo es medible a nivel colectivo a través de una ecuación que se propone en el trabajo, en cambio, el modelo afectivo para MASOES se centra en promover un cambio de comportamiento dinámico e incentivar la interacción social para medir el grado de auto-organización y emergencia alcanzado por el sistema. Esta capacidad para caracterizar las interacciones sociales, diferencia a MASOES de otros modelos emocionales que se centran normalmente en el estudio de la relación cognición-emoción. De esta manera, ambos modelos son perfectamente aplicables en simulaciones de sistemas sociales emocionales y además sobre sistemas multiagente compuestos netamente por agentes de software. Este trabajo de Rincón et al. resulta útil para esta investigación, ya que permite analizar su aplicación y resultados obtenidos en las simulaciones realizadas.

Otro enfoque interesante es presentado por Yu et al. (2015), que propone una arquitectura denominada EMARL (*“Emotional Multiagent Reinforcement Learning”*, por sus siglas en inglés), con el objetivo de dotar a agentes inteligentes de capacidades cognitivas y emocionales internas que pueden conducir a aprender comportamientos cooperativos. Un aspecto relevante de este estudio es el utilizar las emociones como un mecanismo de aprendizaje de comportamientos que permita a los agentes la maximización de recompensas y la minimización de los castigos. Ambas arquitecturas, MASOES y EMARL, consideran el comportamiento colectivo como el resultado de interacciones locales de los agentes de software, con la diferencia que MASOES utiliza las emociones para ayudar a la generación de conocimiento

colectivo de manera cooperativa, en cambio, EMARL posee un enfoque llamado dilemas sociales, donde los agentes como entidad individual deben decidir entre tomar acciones para obtener un beneficio propio a corto plazo de manera egoísta o cooperar con otros agentes para obtener algún beneficio a largo plazo. Se puede resaltar de esta arquitectura el modelo emocional a doble capa, en la capa interna, dos funciones de derivación emocional compiten entre sí con el fin de dominar el proceso emocional del agente, mientras que en la capa externa una estrategia explícita de comportamientos puede ser aprendida en base a la función de derivación emocional ganadora. En comparación, MASOES divide su modelo afectivo en cuatro fases: clasificación de emociones, asociación de emociones a tipos de comportamiento, determinación de la emoción actual y determinación del tipo de comportamiento. Un importante punto de comparación es el tipo de comportamiento que promueven estas arquitecturas, en EMARL, se habla de comportamientos altruistas, donde los agentes cooperan con otros, y el comportamiento egoísta donde el agente busca satisfacer sus metas individuales, ambos comportamientos son llevados a cabo según las metas del agente y según el beneficio que pueda obtener (dilemas sociales), en MASOES, si se trata de una emoción positiva el agente asumirá un comportamiento imitativo, para llevar a cabo una acción colectiva, en caso de una emoción negativa, el agente asumirá un comportamiento reactivo o cognitivo, para llevar a cabo una acción individual.

Bases Teóricas

Sistemas Multiagente

La Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) es una subárea de la Inteligencia Artificial que ha ganado una considerable importancia debido a su capacidad de resolver problemas complejos (Balaji y Srinivasan, 2010), está dividida en dos disciplinas (Bond y Gasser, 1989), la Resolución de Problemas Distribuidos (RPD) y los Sistemas Multiagente (SMA). La RPD considera que un problema puede ser dividido en varios módulos, o nodos, que cooperan y comparten el conocimiento de que disponen, quedando toda la interacción entre los nodos prefijada en tiempo de diseño como parte integrante del sistema. Por otra parte, un SMA se puede definir como una red de solucionadores de problemas (agentes) con un nivel muy bajo de acoplamiento, que trabajan conjuntamente, lo que posibilita que se enfrenten a problemas más complejos que los abordables de forma individual (Perozo, 2011). Los agentes autónomos y los sistemas multiagente representan una nueva forma de analizar, diseñar e implementar sistemas de software complejos. El enfoque basado en agentes ofrece herramientas y técnicas que tienen el potencial de mejorar considerablemente la forma en que se conceptualizan e implementan muchos tipos de software (Jennings et al., 1998).

Según Balaji y Srinivasan (2010), el concepto más aceptado de Agente es el dado por Russell y Norvig (2004), ellos definen un agente como cualquier cosa capaz de percibir su medioambiente con la ayuda de sensores y actuar sobre él utilizando actuadores. Por otra parte, para Weiss (1999), un agente es un sistema computacional que está situado en un ambiente, y que es capaz de tomar acciones autónomas en ese ambiente con el fin de cumplir sus objetivos de diseño. Para hablar de agentes inteligentes es necesario que estos estén dotados de mecanismos de razonamiento que

les permiten abordar situaciones de manera inteligente y evolucionar por medio de la experiencia (Perozo, 2011).

Entre las propiedades más resaltantes de los agentes inteligentes se encuentran (Perozo, 2011):

1. **Autonomía.** Los agentes son autónomos en la medida en que actúan sin la intervención humana ni de otros sistemas externos. Sin embargo, un agente inteligente puede crear redes colaborativas con otros agentes según sus necesidades. Esta propiedad está muy relacionada a la proactividad.
2. **Comunicación.** Los agentes tienen la capacidad de comunicarse con otros agentes utilizando un lenguaje basado en ontologías o realizar intervenciones asíncronas a través de comunicación indirecta.
3. **Movilidad.** Es la habilidad del agente de moverse en el ambiente. Esta capacidad posibilita una computación menos centralizada y más distribuida. Un agente puede alojarse en cualquier nodo de la red y realizar sus tareas utilizando los recursos locales, para después volver a su nodo origen llevando la información procesada.
4. **Racionalidad.** Se refiere a que los agentes prefieren ejecutar la acción más prometedora o eficiente para conseguir sus metas.
5. **Inteligencia.** El agente está provisto de diferentes técnicas de inteligencia artificial, que le permiten analizar situaciones dinámicas
6. **Razonamiento.** Es la capacidad que tiene un agente para seleccionar comportamientos acordes a la situación actual, con la finalidad de perseguir, detener o en su defecto abandonar un objetivo, esta propiedad está muy relacionada con la inteligencia.
7. **Sociabilidad.** Los agentes interactúan con otros agentes mediante algún tipo de comunicación y convenios colectivos. Esta propiedad está muy relacionada a la cooperación, colaboración y competencia.

Entre las características más representativas de los SMA se pueden mencionar (Schweitzer y Farmer, 2007):

1. **Modularidad.** En los SMA, una distinción lógica es hecha entre los módulos y sus interacciones. Módulos particulares (entidades, subsistemas) de un sistema son representados por los agentes respectivos. Dependiendo de la granularidad del modelo, cada uno de esos módulos puede estar compuesto de módulos más pequeños. Es diferente desde un punto de vista monolítico, que trata al sistema como un todo. Un punto de vista modular permite la reconfiguración y extensibilidad del SMA de una manera más fácil.
1. **Redundancia.** Un SMA consiste generalmente de un gran número de agentes, muchos de ellos similares en función y diseño. Esto significa, por un lado, que las instancias críticas no son representadas por un solo agente, y por otro lado, que el sistema no se cae si un agente falla de alguna manera, brindándole robustez al sistema.
2. **Descentralización.** Un SMA no es regido por un control centralizado. En lugar de eso, las competencias y capacidades, entre otras cosas, son distribuidas entre los diversos agentes. Esto les permite “crear” un control “bottom-up”, de una manera auto-organizada, como resultado de la interacción entre los diferentes agentes.
3. **Comportamiento Emergente.** En un SMA, la interacción entre los agentes puede producir un comportamiento nuevo (y estable) en el nivel global de todo el sistema. Esto representa una nueva cualidad que resulta del comportamiento agregado de los agentes, y por lo tanto, no puede ser reducido a los agentes individuales. Además, debido a los efectos no lineales, es frecuentemente difícil predecir las propiedades emergentes del sistema a partir de las propiedades individuales.

4. **Funcionalidad.** Aunque cada agente puede tener sus propias funciones (o “comportamientos”), la funcionalidad del sistema como un todo, por ejemplo, la resolución de un problema, no es asignado a agentes específicos sino que resulta de la interacción de los diferentes agentes.
5. **Adaptación.** La modularidad, la descentralización y la funcionalidad emergente son las bases para que el SMA se adapte a situaciones cambiantes. Aquí el exceso de capacidad provista por los agentes redundantes pueden jugar un rol importante también. Como en la evolución natural, esta asegura una reserva que puede ser utilizada en situaciones imprevistas, es decir, para la exploración de nuevas posibilidades u oportunidades, sin perder la funcionalidad del sistema. La adaptación (algunas veces llamada aprendizaje colectivo) también necesita que el sistema pueda olvidar/desaprender sus viejos estados, e interacciones, entre otras cosas, para adaptarse a nuevas situaciones.

Dependiendo de la manera de abordar la construcción del agente, existen algunas arquitecturas clásicas o comunes (Perozo, 2011):

1. **Arquitecturas Reactivas.** Proponen un enfoque conductista, siguiendo un modelo estímulo-respuesta, y están formadas generalmente por agentes puramente reactivos.
2. **Arquitecturas Deliberativas.** Contiene un modelo del mundo simbólico y explícitamente representado. La toma de decisiones se realiza por medio de razonamiento simbólico. Está formada por agentes basados en metas o en la utilidad.
3. **Arquitecturas Híbridas.** Surgen a partir de numerosas alternativas que intentan combinar lo mejor de las arquitecturas deliberativas y reactivas.

Computación Emocional

El concepto fue introducido por Rosalind Piccard (1995), y el objetivo de la línea de investigación es lograr una interacción humano/computadora más eficiente. La afectividad es una dimensión significativa del comportamiento y la comunicación humana. Lograr que las computadoras puedan comprender nuestras emociones y a la vez que puedan “expresar” (o simular) emociones propias, sería un paso importante para establecer un cambio cualitativo en la interactividad. La Computación Afectiva (*“Affective Computing”*, en inglés) o Computación Emocional es una disciplina de la Inteligencia Artificial que intenta desarrollar métodos computacionales orientados a reconocer emociones humanas y generar emociones sintéticas (Causa y Sosa, 2007).

Según Causa y Sosa (2007), la computación afectiva se ocupa en resolver las siguientes problemáticas:

1. El reconocimiento de emociones (y de expresiones emotivas) humanas por parte de una computadora. El objetivo es captar aquellos signos relacionados con la expresión de emociones y lograr interpretar estados emocionales en función de dichos signos. Este es un tema muy complejo en el que es difícil obtener precisión. De hecho, no existe una terminología universalmente consensuada a la hora de referirse a estos fenómenos.
2. La simulación (o generación) de estados y expresiones emocionales con computadoras. Se intenta que las computadoras puedan simular procesos emocionales en base a ciertos modelos. Aquí se puede reflexionar respecto a si una computadora puede realmente tener emociones, pero, esta disciplina sólo intenta simular dichos procesos de forma tal que resulten verosímiles, dejando de lado estas controversias.

Con respecto a los agentes inteligentes, hay muchas razones para incorporar las emociones (Jiang y otros, 2007). Las emociones pueden hacer a los agentes más atractivos y creíbles para que puedan desempeñar un mejor papel en diversos sistemas interactivos que involucren simulación. Las emociones pueden jugar un papel funcional en el comportamiento de los seres humanos y los animales, particularmente en sistemas sociales complejos, las emociones pueden modificar el comportamiento físico de los agentes: un agente feliz se mueve más rápido, mientras que un agente triste es más lento. Por otra parte, los estados emocionales pueden afectarse según el éxito o el fracaso de metas, o de manera inversa el estado emocional puede afectar el cumplimiento de los objetivos. Además, las emociones pueden influir en los procesos de supervivencia del agente, evitando situaciones riesgosas o que no cumplan con sus objetivos.

Específicamente, podemos mencionar algunos roles potenciales para las emociones en los agentes artificiales (Maria y Zitar, 2007):

1. Selección de Acciones. Que hacer próximamente en base al estado emocional actual.
2. Adaptación. Cambios en el comportamiento a corto y largo plazo debido a los estados emocionales.
3. Regulación Social. Comunicación o intercambio de información con otros vía expresiones emocionales.
4. Integración Sensorial. Filtrado de datos en función del estado de las emociones y el entorno.
5. Mecanismos de Alarma. Reacciones, como reflejos rápidos, en situaciones críticas que interrumpen otros procesos.
6. Motivación. Creando motivos como parte de un mecanismo de imitación-emoción.
7. Manejo de Metas. Creación de nuevas metas o repriorización de las existentes.

8. Aprendizaje. Evaluaciones emocionales en el aprendizaje por refuerzo.
9. Centrar la atención. Selección de datos a procesar basados en la evaluación emocional.
10. Control de Memoria. Acceso, recuperación y disminución de elementos en memoria según estados emocionales.
11. Procesamiento estratégico. Selección de diferentes métodos de búsqueda basada en el estado emocional general.
12. Auto-modelo. Emociones como representaciones de cómo experimenta una situación un agente.

MASOES

La arquitectura multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados llamada MASOES (*“Multiagent Architecture for Self-Organizing and Emergent Systems”*, en inglés), propuesta por Perozo (2008, 2011), es una herramienta para el diseño no formal de sistemas, que produzcan un estado auto-organizado el cual emerja de las interacciones locales entre los agentes y de los cambios que se dan en el entorno. En esta arquitectura, cada agente puede cambiar su comportamiento dinámicamente, guiado por su estado emocional, para satisfacer dinámicamente los objetivos del sistema a través de la auto-organización de sus actividades.

Niveles de Interacción de MASOES

La emergencia cognitiva colectiva es obtenida a través de tres diferentes tipos de interacción (ver figura 1):

1. **Interacción Local.** Es el dinamismo e influencia (interdependencia) estrictamente entre agentes (directa, a través de alguna forma de comunicación),

o entre agentes y el entorno (indirecta, usando un campo de acción que permite la delimitación de un área común siguiendo un mismo conjunto de reglas).

2. **Interacción Grupal.** Es originada por el dinamismo de las interacciones locales para favorecer la creación de redes sociales o grupos estructurados de acuerdo a un objetivo colectivo, apoyando la gestión del conocimiento de una manera comunitaria y colaborativa.
3. **Interacción General.** Es el resultado de la interacción de la comunidad de agentes involucrados en el sistema conforme a los objetivos comunes.

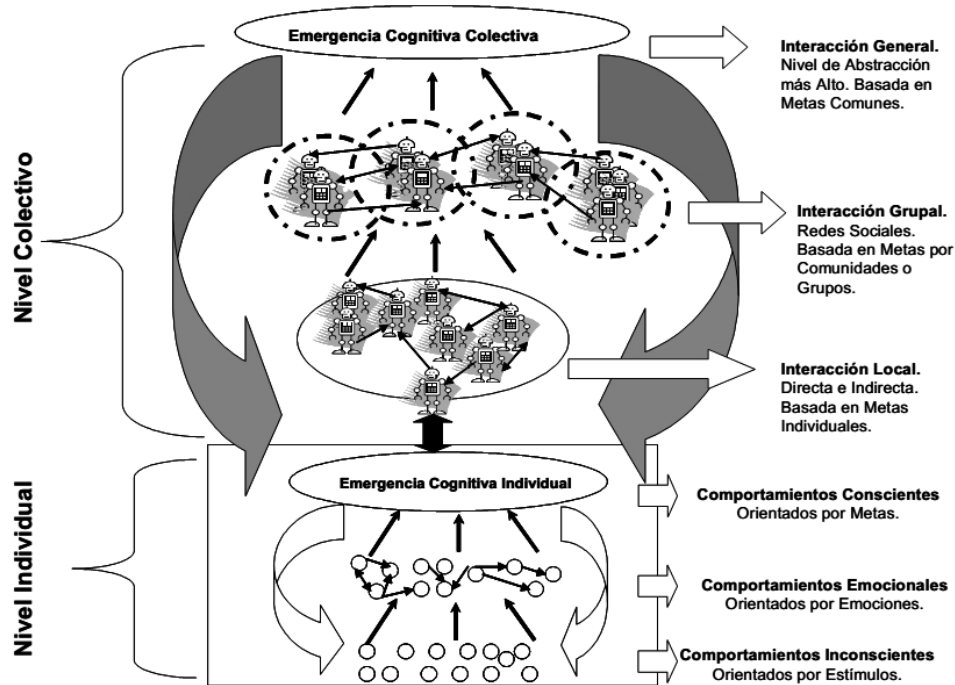


Figura 1. Arquitectura MASOES, (Perozo, 2011).

Comportamientos de Los Agentes

- Comportamiento Inconsciente o reactivo, según estímulos.
- Comportamiento Emocional, orientado por las emociones.

- Comportamiento Consciente, que se activan o inhiben en función de sus objetivos.

Las emociones son usadas como un mecanismo de toma de decisiones para evaluar si el comportamiento reactivo, cognitivo o imitativo es más conveniente o no para una situación dada de acuerdo a los intereses individuales y colectivos.

Componentes de MASOES a Nivel Colectivo

Los componentes a nivel colectivo son los siguientes (ver figura 2):

- **Conjunto de reglas:** especifican las interacciones entre los agentes usando solamente información local.
- **Entorno:** es un elemento importante para las interacciones indirectas entre los agentes y para la recolección de la información generada por la sociedad de agentes.
- **Campo de Acción:** es delimitada por los agentes, a través de marcas dejadas en el entorno, generalmente para coordinar sus comportamientos. En general, existen dos tipos de coordinación entre agentes: coordinación por comunicación directa y coordinación dentro de campos de acción (comunicación indirecta).
- **Base de Conocimiento Colectivo:** es la memoria social o colectiva a la que todos los agentes tienen acceso.
- **Retroalimentación positiva:** para promover la creación de estructuras y cambios en el sistema.
- **Retroalimentación negativa:** para compensar la retroalimentación positiva y ayudar a estabilizar el patrón de comportamiento colectivo.

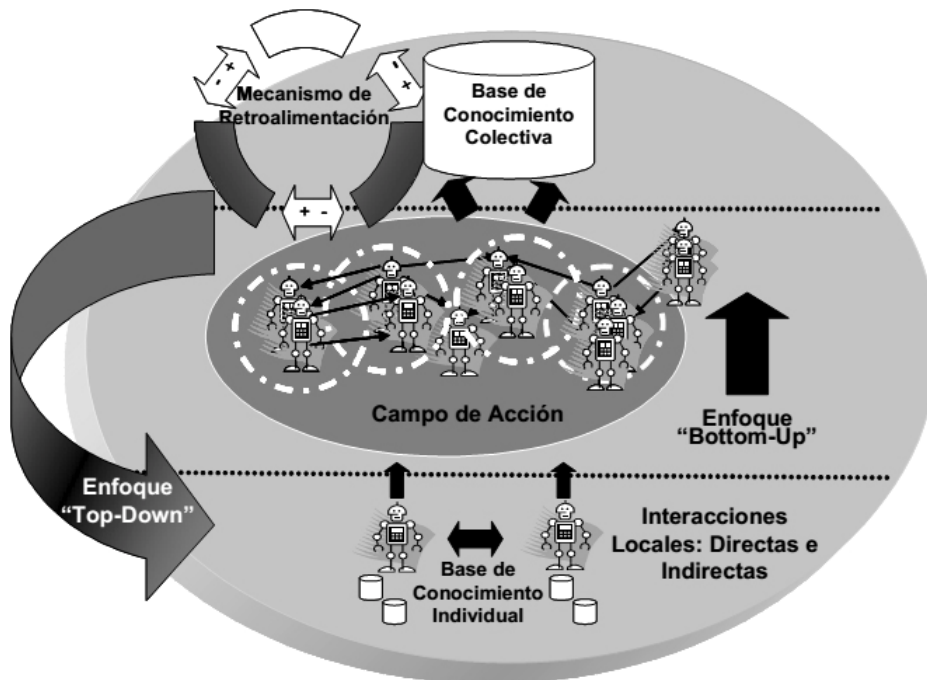


Figura 2. Componentes de MASOES Nivel Colectivo, (Perozo, 2011).

Componentes de MASOES a Nivel Individual

La arquitectura a nivel individual tiene 4 componentes: Conductual (procesos emocionales y de cambio de comportamiento o comportamientos orientados por emociones), Reactivo (procesos reactivos o comportamientos inconscientes); Cognitivo (procesos deliberativos o comportamientos conscientes); y Social (procesos sociales o comportamiento social) (ver figura 3).

1. **Componente Conductual.** Favorece la adaptación de cada agente con su entorno ya que crea un modelo interno del mundo exterior que regula su comportamiento de una manera consciente y emocional. Cada proceso de toma de decisiones en el agente estará basado en sus objetivos individuales y colectivos, su estado emocional, y el conocimiento adquirido de manera

individual y colectiva. Los tipos de comportamiento a considerar son imitar, reaccionar y razonar, los cuales están enlazados a los componentes social, reactivo y cognitivo, respectivamente. Entre los elementos que lo conforman está el Configurador Emocional encargado de manipular las emociones del agente. En este caso, las emociones son consideradas como señales y evaluaciones que informan, modifican y reciben retroalimentación de los procesos reactivos, cognitivos y sociales (de otros agentes), es en este sub-componente donde estará el modelo afectivo. También está el Manejador de Comportamiento o Conductual, que se encarga de activar, inhibir y priorizar algunos comportamientos en el agente basado en el estado emocional actual, las metas del agente, su situación social (situación de sus vecinos más cercanos), y el entorno en general. Además, maneja todos los mecanismos responsables del cambio dinámico de comportamiento, ya que su objetivo principal es determinar y sugerir un único tipo de comportamiento cada vez para evitar conflictos en tiempo de ejecución. El conocimiento asociado con la gestión de las emociones, comportamientos y experiencias emocionales pasadas, es almacenado en la Base de Conocimiento (BC) Conductual. El rol de las emociones es determinar el comportamiento del agente según su estado emocional, para ello se asocian las clases de emociones a considerar con los tipos de comportamiento que puede presentar el agente.

2. **Componente Reactivo.** Encargado de producir el comportamiento reactivo del agente. Las reacciones son reglas asociadas a los estados emocionales ya que, se quiere tener algunas reglas activas y otras no, de acuerdo al estado emocional del agente y a la actividad que desarrolla en un momento determinado. Para ello tiene un Selector de Reacciones que selecciona entre las diferentes rutinas de comportamiento existentes, es decir, las que serán ejecutadas por el componente reactivo de acuerdo con el estado emocional del agente. Además, posee una BC Reactivo que es la base de conocimiento

reactivo para almacenar el conjunto de reglas gestionadas por el componente reactivo.

3. **Componente Cognitivo.** Es el responsable de producir el comportamiento cognitivo a través de diversos mecanismos cognitivos (aprendizaje y razonamiento), y procesos de toma de decisión (intencional o deliberativa, entre otras). Posee un Configurador de Metas Individuales para la configuración de los objetivos individuales y de las prioridades del agente; un Deliberador como responsable de los mecanismos cognitivos (aprendizaje, razonamiento) y de la toma de decisión intencional o deliberativa, entre otras; y una BC Cognitiva.
4. **Componente Social.** Debe promover conciencia en los agentes sobre el trabajo y la experiencia de los otros agentes. Específicamente, aprovecha la experiencia de los otros (aprendizaje social), es decir, evita el aprendizaje de cosas que ya han aprendido sus vecinos. Este componente conecta el aprendizaje colectivo colaborativo con el aprendizaje individual. Para ello tiene un Configurador de Metas Colectivas para la configuración de los objetivos colectivos y de las prioridades de los agentes. También tiene una BC Social para almacenar, entre otras cosas, el conocimiento sobre las decisiones tomadas por sus vecinos, es decir los agentes más cercanos. Finalmente posee un Razonador Social para seleccionar que acción debe ser imitada y de cual agente, basado en las metas colectivas y la utilidad obtenida en casos anteriores. La idea principal es que cada agente pueda aprender del colectivo.
5. **Otros Elementos Generales.** Tiene un Sistema de Entrada que provee a los agentes de información sobre el mundo donde viven. Este sistema pasa las percepciones recibidas de manera paralela al componente reactivo, conductual, cognitivo y social. Todos los componentes interactúan recíprocamente con esa entrada, pero es el componente conductual el que debe establecer cual componente tiene la prioridad más alta para responder. Posee también un conjunto de Acciones, que son las reglas de condición-

acción (si... entonces) usadas en un proceso deliberativo (ellas reflejan el comportamiento reactivo y/o cognitivo). Finalmente, tiene un Sistema de Salida para elegir la acción del componente indicado por el manejador conductual, en el caso que existan varias respuestas.

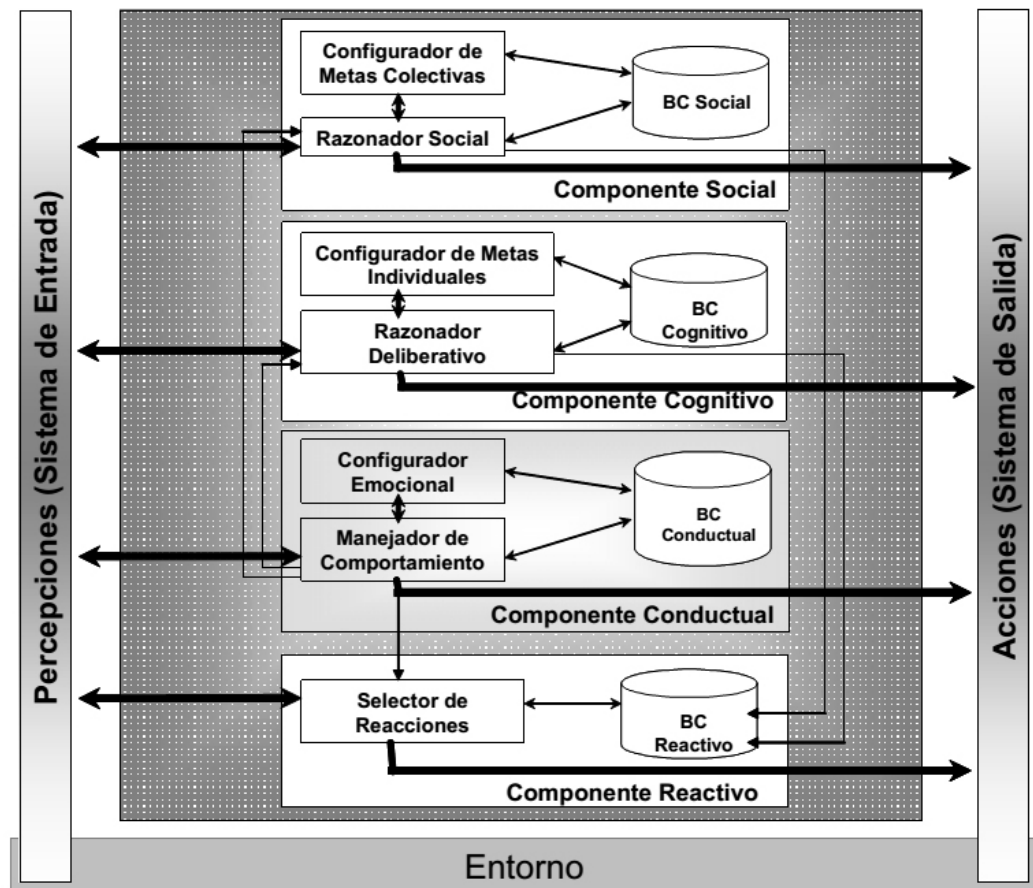


Figura 3. Componentes de MASOES Nivel Individual, (Perozo, 2011).

Modelo Emocional de MASOES

El modelo afectivo (o emocional) propuesto por Perozo considera un conjunto de emociones positivas y negativas generadas desde un nivel individual o colectivo,

para de esta manera promover un comportamiento individual (Reactivo, Cognitivo) o colectivo (Imitativo) en los agentes y así, aumentar su grado de satisfacción y por consecuencia, el nivel de auto-organización y emergencia general en el sistema. Este modelo afectivo está representado por un espacio bidimensional, donde el eje x representa el nivel de Activación, Excitación o Relajación del agente (mide el grado de activación fisiológica y psicológica del agente en el intervalo $[-1, 1]$), y el eje y representa el nivel de satisfacción, agrado o desagrado, también en el intervalo $[-1, 1]$ (ver figura 4).

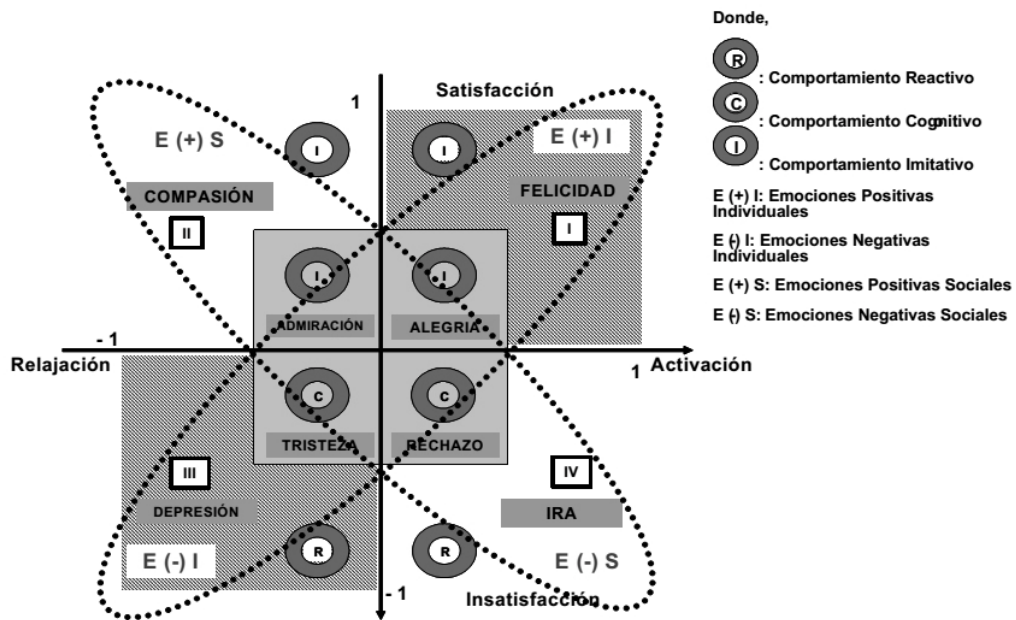


Figura 4. Modelo Afectivo para Masoes (Perozo, 2011).

El modelo afectivo está dividido en cuatro fases:

Fase I (Configurador Emocional): Clasificación de las emociones. En el modelo afectivo propuesto se consideran emociones positivas y negativas generadas desde un nivel individual o colectivo, a fin de contribuir a la generación de un

comportamiento emergente y auto-organizado en el sistema a partir de la interacción local de los agentes. Los tipos de emociones consideradas, y el espacio afectivo definido para MASOES, son mostrados en la Figura 4. El espacio afectivo ha sido dividido en 4 cuadrantes, donde el cuadrante I (alegría, felicidad) y III (tristeza, depresión) representan las emociones positivas y negativas dirigidas por la obtención de metas o logros personales (nivel individual); y los cuadrantes II (admiración, compasión) y IV (rechazo-aversión, ira-odio) representan las emociones positivas y negativas de tono claramente social o interpersonal, dirigidas por las acciones de los otros agentes o cambios en el entorno (nivel colectivo).

Fase II (Manejador de Comportamiento): Asociación de las emociones al tipo de comportamiento. Para esta asociación, se le asigna a cada estado emocional del modelo afectivo propuesto uno de los tres comportamientos considerados: Imitativo, Cognitivo y Reactivo, de acuerdo a las reglas que se establecen (ver tabla 1). Para establecer estas reglas, se considera: las emociones negativas pueden predisponer las estrategias de resolución de problemas en los seres humanos hacia un procesamiento local que va de lo individual a lo colectivo (procesamiento más sistemático), mientras que las emociones positivas pueden conducir a enfoques globales que van de lo colectivo a lo individual (procesamiento más aproximativo).

Por otra parte, según MASOES cada agente puede interactuar local o grupalmente. De esta manera, si se trata de una emoción positiva el agente asumirá un comportamiento imitativo, para llevar a cabo una acción colectiva (que va del conocimiento colectivo al conocimiento individual) que le permita interactuar grupalmente según los objetivos colectivos establecidos. En caso de una emoción negativa, el agente asumirá un comportamiento reactivo o cognitivo, para llevar a cabo una acción individual (que va del conocimiento individual al conocimiento colectivo) que le permita interactuar localmente según los objetivos del agente (ver figura 5).

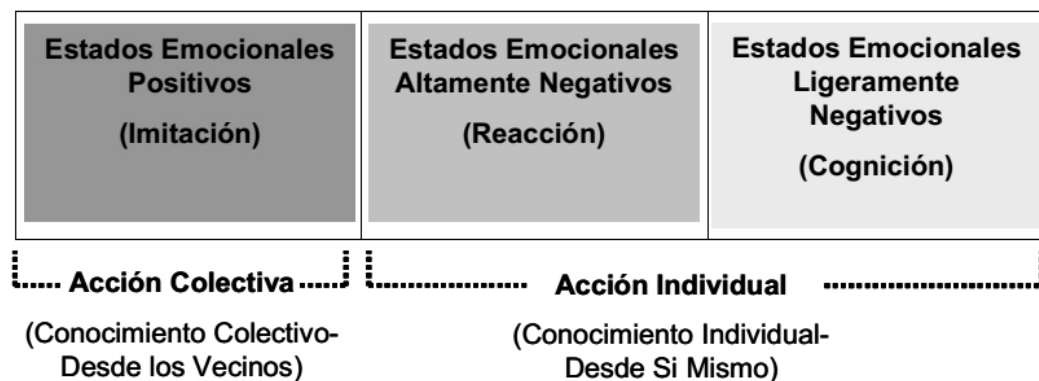


Figura 5. Estados Emocionales con su Comportamiento Asociado, (Perozo, 2011).

Tabla 1. Comportamientos Según el Estado Emocional del Agente, (Perozo, 2011).

| EMOCIÓN | TIPO DE EMOCIÓN | COMPORTAMIENTO ASOCIADO |
|------------|----------------------|-------------------------|
| Felicidad | Positivo | Imitación |
| Alegría | Positivo | Imitación |
| Compasión | Positivo | Imitación |
| Admiración | Positivo | Imitación |
| Tristeza | Ligeramente Negativo | Cognitivo |
| Rechazo | Ligeramente Negativo | Cognitivo |
| Depresión | Altamente Negativo | Reactivo |
| Ira | Altamente Negativo | Reactivo |

Las emociones positivas (tales como: la alegría, la felicidad, la compasión y la admiración) conducen a un comportamiento imitativo con la idea de reproducirlo que nos hace sentir bien a nosotros y al colectivo, mientras que las emociones negativas (tales como: la tristeza y rechazo) nos motivan a un comportamiento cognitivo que

nos lleva a reflexionar sobre la situación actual considerando los objetivos individuales y/o colectivos, o nos induce a un comportamiento reactivo hacia otros en estados altamente negativo como la ira y depresión, para solo responder de forma inmediata a la situación actual (ver tabla 1).

Fase III (Configurador Emocional): Determinación de la emoción actual.

1. Evaluación de un evento, acción u objeto para determinar el grado de satisfacción y activación, y luego, el estado emocional afectado. Para esta evaluación se requiere información del mundo, tal como implicaciones de los eventos para los agentes, los gustos o preferencias de los agentes con respecto a objetos u otros agentes, entre otras cosas. La intensidad de la emoción afectada viene dada por el grado de satisfacción y activación del agente, luego de la evaluación realizada. Es necesario utilizar variables para cuantificar el grado de satisfacción y activación del agente.

2. Modificación del actual estado emocional, si es necesario. Esta transición de un estado a otro debe ser coherente y coordinada.

Fase IV (Manejador de Comportamiento): Determinación del tipo de comportamiento. Se modifica el comportamiento actual si es necesario, de acuerdo al estado emocional actual y el Tabla 1, como una acción resultante de la emoción detectada en la Fase III. De esta manera, las emociones son la expresión dinámica y fluctuante del estado afectivo del individuo, y así, permiten cambiar dinámicamente el tipo de comportamiento del agente de acuerdo a su situación actual.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación

El presente estudio se enmarca dentro de la línea de investigación de Inteligencia Artificial, más específicamente en el área de Sistemas Multiagente y la Computación Emocional, además, se clasifica como tipo investigación de campo, ya que el “Manual para la Elaboración del Trabajo Conducente a Grado Académico de Especialización, Maestría y Doctorado” de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (2002) la define como:

“...la aplicación del método científico en el tratamiento de un sistema de variables y sus relaciones, las cuales conducen a conclusiones y al enriquecimiento de un campo del conocimiento o disciplina inherente a la especialidad, con la sustentación de los experimentos y observaciones realizadas.”

Por otra parte, la investigación estará apoyada en un diseño de tipo documental para profundizar en los conocimientos del área de estudio, conocer el estado del arte en este campo de investigación y aprovechar la experiencia de otros investigadores en trabajos similares. Se usará como base investigaciones previas como la realizada por Perozo (2011, 2012), en la cual propone y describe el modelo afectivo para MASOES. A su vez, se hará un estudio más extenso del estado del arte a partir de la

introducción de MASOES hacia el presente, lo que permitirá contrastar los avances en el área con la propuesta original.

Modalidad

La investigación se establece bajo la modalidad de Proyecto Especial, el “Manual para la Elaboración y Presentación del Trabajo Especial de Grado, Trabajo de Grado y Tesis Doctoral del Decanato de Ciencias de la Salud” de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (2011), lo define como:

“...creaciones que involucran el desarrollo del ingenio y la creatividad del investigador o investigadora. El objetivo del proyecto especial es básicamente la creación de un producto tangible que permita solucionar problemas o necesidades colectivas que trascienden el ámbito de las organizaciones e instituciones. Se inscriben dentro de este tipo de investigación la producción de software...”

En este sentido, debido a la necesidad presentada por la Unidad de Inteligencia Artificial de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, se propone implementar el modelo afectivo de MASOES en un sistema multiagente, como modelo viable para la resolución de problemas asociados a modelos de agencia, seleccionando un caso de estudio para su evaluación que contribuirá en ir completando la implementación de MASOES en general.

Fases del Estudio

Fase I Diagnóstico

Se comenzará haciendo una revisión bibliográfica para establecer las teorías fundamentales que sustenten el estudio. En esta fase, se realizará el levantamiento de información y desarrollo del estado del arte sobre los sistemas multiagente, computación emocional y MASOES, para así poder hacer un diagnóstico de la situación actual presentada en el área sobre estos temas e identificar aportes recientes. Luego, se procederá a seleccionar los estudios más relevantes, para ser descritos.

Fase II Diseño

Posteriormente, se diseñará una arquitectura multiagente a nivel individual y colectivo tomando como base el modelo afectivo propuesto en MASOES. Además, se procederá a listar y analizar todas las tareas necesarias para llevar a cabo la implementación, incluyendo los aspectos relacionados al prototipo de software como lo serían: interfaz gráfica de usuario, entrada y salidas de datos, entre otros aspectos técnicos asociados al desarrollo de software, como pruebas unitarias.

Fase III Implementación

Se llevará a cabo la implementación del diseño propuesto utilizando un simulador y la librería JADE (“*JAVA Agent DEvelopment Framework*”, en inglés) para el desarrollo de los agentes. En esta fase se incluyen aspectos relacionados al desarrollo de software, como programación de pruebas y utilización de patrones de

desarrollo. Por otra parte, se aplicará la arquitectura en un caso de estudio seleccionado.

Fase IV Evaluación

En la última fase de la investigación, se diseñarán los casos de pruebas basados en simulaciones y se compararán los resultados obtenidos a nivel de implementación con los resultados obtenidos a nivel de diseño. Adicionalmente, esta fase comprende, una etapa de ajustes, ya que se desea determinar que configuración del sistema permite obtener los mejores resultados.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Recursos

Para esta investigación será necesario solamente el uso de recursos de software de código abierto, por otra parte, la investigación se limitará a la simulación del caso de estudio seleccionado, por ende no será necesario incurrir en gastos monetarios adicionales. Se tiene previsto el uso a nivel software y hardware los siguientes recursos:

- Lenguaje de programación Java.
- Librería GPL JADE (“*JAVA Agent DEvelopment Framework*”, en inglés).
- IDE Eclipse Mars.
- Sistema Operativo GNU/Linux.
- Computadora con los siguientes requerimientos mínimos: procesador Intel i5, 4GB de memoria RAM y 80GB de disco duro, monitor, ratón, teclado y tarjeta de red. Es importante destacar que el investigador posee un computador con estas características.

Cronograma de Actividades

| ACTIVIDAD | AÑO 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|--|--|--|--------|--|--|--|------------|--|--|---------|--|--|-----------|--|--|
| | JULIO | | | | AGOSTO | | | | SEPTIEMBRE | | | OCTUBRE | | | NOVIEMBRE | | |
| Estudio de los aspectos teóricos relevantes y revisión exhaustiva del estado del arte en las líneas de investigación computación emocional y sistemas multiagente | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de la arquitectura del sistema multiagente basado en el modelo afectivo de MASOES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación de las herramientas computacionales definitivas a utilizar en implementación de arquitectura | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Implementación de la arquitectura propuesta | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación, descripción y desarrollo del caso de estudio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de los resultados obtenidos en caso de estudio a nivel de implementación con respecto a los obtenidos a nivel de diseño | | | | | | | | | | | | | | | | | |

BIBLIOGRAFÍA

- Bond, A. H., & Gasser, L. (Eds.). (1989). *Readings in distributed artificial intelligence*. California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Ashton, K. (2009). That “internet of things” thing. *RFiD Journal*. 22(7), 97-114.
- Balaji, P. G., & Srinivasan, D. (2010). An introduction to multi-agent systems. En *Innovations in multi-agent systems and applications*. (pp. 1-27). Springer Berlin Heidelberg.
- Causa, E., & Sosa, A. (2007). *La computación afectiva y el arte interactivo*. Proyecto Biopus. Disponible en: http://www.biopus.com.ar/txt/textos/Computacion_Afectiva_Y_Arte_Interactivo-Emiliano_Causa-Andrea_Sosa.pdf . (Consulta: Junio, 2016).
- Cuevas, J. (2015). *Emociones: calculemos. Las promesas de la computación afectiva*. (Trabajo de Maestría). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Filosofía, Madrid, España.
- Dias, J., Mascarenhas, S., & Paiva, A. (2014). Fatima modular: Towards an agent architecture with a generic appraisal framework. En *Emotion Modeling*. (pp. 44-56). Springer International Publishing.
- Gil, A., Aguilar, J., Rivas, R., Dapena, E., & Hernandez, K. (2015). Architecture for Multi-robot Systems with Emergent Behavior. En *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* (p. 41). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).

- Jennings, N. R., Sycara, K., & Wooldridge, M. (1998). A roadmap of agent research and development. *Autonomous agents and multi-agent systems*, 1(1), 7-38.
- Jiang, H., Vidal, J. M., & Huhns, M. N. (2007). EBDI: an architecture for emotional agents. En *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems* (p. 11). ACM.
- Maria, K. A., & Zitar, R. A. (2007). Emotional agents: A modeling and an application. *Information and Software Technology*, 49(7), 695-716.
- Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. (1990). *The cognitive structure of emotions*. Cambridge, USA: Cambridge University Press.
- Perozo, N., Aguilar, J., & Terán, O. (2008). Proposal for a multiagent architecture for self-organizing systems (MA-SOS). En *Proceedings of the International Conference on Intelligence and Security Informatics* (pp. 434-439). Springer Berlin Heidelberg.
- Perozo, N. (2011). *Modelado multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados*. (Tesis Doctoral). Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., & Molina, H. (2012). An affective model for the multiagent architecture for self-organizing and emergent systems (MASOES). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 35(1), 1-11.
- Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., & Molina, H. (2013). Self-organization and Emergence phenomena in Wikipedia and Free Software Development using

MASOES. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado*, 7(1), 51-72.

Picard, R. W. (1995). *Affective computing*. Cambridge, USA: MIT Press.

Rincon, J. A., Julian, V., & Carrascosa, C. (2015). Social emotional model. En *Proceedings of the International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 199-210). Springer International Publishing.

Rodríguez, L. F., & Ramos, F. (2015). Computational models of emotions for autonomous agents: major challenges. *Artificial Intelligence Review*, 43(3), 437-465.

Rusell, S., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno*. Madrid, España: Pearson Educación, S. A.

Schweitzer, F., & Farmer, J. D. (2007). *Brownian agents and active particles: collective dynamics in the natural and social sciences*. Berlin, Alemania: Springer Science & Business Media.

Weiser, M. (1993). Ubiquitous computing. *Computer*, 26(10), 71-72.

Weiss, G. (1999). *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. Cambridge, USA: MIT press.

Yu, C., Zhang, M., Ren, F., & Tan, G. (2015). Emotional Multiagent Reinforcement Learning in Spatial Social Dilemmas. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 26(12), 3083-3096.