

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL
“LISANDRO ALVARADO”

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

ING. SAÚL JABÍN PIÑA ALVARADO

Barquisimeto, 2017.

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
AUTO-ORGANIZADOS Y EMERGENTES (MASOES)**

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

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

Barquisimeto, 2017.

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

Por: ING. SAÚL JABÍN PIÑA ALVARADO

Trabajo de grado aprobado

Dra. Niriaska Perozo
Guédez
Tutora

Prof. José Gregorio Sánchez

Prof. Sandra Lima

Barquisimeto, 25 de Octubre de 2017.

DEDICATORIA

A mi madre María y mi padre Yván.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y padre, por todo su apoyo, esfuerzo y amor, para que logre todas mis metas.

A mi esposa, por toda la ayuda que me brinda en todos mis proyectos y por siempre decirme “Nunca te rindas”.

A mi hermano, mi mejor amigo, que siempre ha estado ahí para apoyarme en lo que necesite.

A mi tutora Niriaska Perozo, por su asesoría durante el desarrollo de este trabajo, consejos y amistad, que me han permitido lograr este objetivo; he aprendido mucho de ella.

A mis compañeros de maestría, buenos amigos que siempre me han apoyado durante el desarrollo de este trabajo.

A todos los amigos y amigas que me han alentado para concluir esta meta y a todas las personas que colaboraron para que así sea.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
1 EL PROBLEMA	4
1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Justificación e Importancia	7
1.4 Alcances y Limitaciones	8
2 MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes de la Investigación	9
2.2 Bases Teóricas	15
2.2.1 Sistemas Multiagente	15
2.2.2 Computación Emocional	19
2.2.3 MASOES	22
2.2.3.1 Niveles de Interacción de MASOES	22
2.2.3.2 Comportamientos de los Agentes	23
2.2.3.3 Componentes de MASOES a Nivel Colectivo	24

	2.2.3.4	Componentes de MASOES a Nivel Individual	25
	2.2.3.5	Modelo Emocional de MASOES	28
3		MARCO METODOLÓGICO	33
	3.1	Tipo de Investigación	33
	3.2	Modalidad	34
	3.3	Fases del Estudio	34
	3.3.1	Fase I Diagnóstico	34
	3.3.2	Fase II Diseño	35
	3.3.3	Fase III Implementación	35
	3.3.4	Fase IV Evaluación	35
4		DISEÑO E INGENIERÍA DE LA PROPUESTA	36
	4.1	Aspectos Arquitecturales de la Propuesta	36
	4.2	Aspectos Propuestos a Nivel Individual	39
	4.2.1	Propuesta de Una Ontología Para MASOES	39
	4.2.2	Comunicación Entre Agentes	42
	4.2.3	Diseño de la Implementación a Nivel Individual	44
	4.3	Aspectos de la Implementación del Componente Conductual	47
	4.3.1	Modelo Afectivo	49
	4.3.2	Base de Conocimiento Conductual	51
	4.3.3	Configurador Emocional	54
	4.3.4	Manejador de Comportamiento	55
	4.3.5	Procesamiento de Estímulo	57
	4.4	Aspectos Propuestos a Nivel Colectivo	58
	4.4.1	Cálculo de la Emoción Social	58
	4.5	Herramienta Computacional Desarrollada	61
	4.5.1	Configuraciones de JADE Para la Ejecución de la Plataforma	62

4.5.2	Agentes del Entorno Propuestos Para MASOES	63
4.5.2.1	Agente Emocional	64
4.5.2.2	Agente Notificador	64
4.5.2.3	Agente Para el Cálculo de la Emoción Social	66
4.5.2.4	Agente Interfaz: Estado del Agente . . .	67
4.5.2.5	Agente Interfaz: Emoción Social	68
4.5.2.6	Agente Interfaz: Para el Envío de Mensajes	69
4.5.2.7	Agente Interfaz: Simulador	70
4.5.3	Servicios Expuestos en Agente DF	72
5	CASOS DE ESTUDIO	73
5.1	Caso de Estudio 1: Emociones a Nivel Social	77
5.1.1	Escenario 1: Baja Dispersión Emocional y Bajo Número de Agentes	77
5.1.2	Escenario 2: Alta Dispersión Emocional y Bajo Número de Agentes	81
5.1.3	Escenario 3: Baja Dispersión Emocional y Alto Número de Agentes	84
5.1.4	Escenario 4: Alta Dispersión Emocional y Alto Número de Agentes	87
5.2	Caso de Estudio 2: Emociones a Nivel Individual . .	90
5.2.1	Escenario 1: Grado de Satisfacción Alto y Acti- vación Alto, Medio y Bajo	90
5.2.2	Escenario 2: Grado de Satisfacción y Activación Medio y Bajo	93
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
1. Arquitectura de MASOES	23
2. Componentes de MASOES a Nivel Colectivo	25
3. Componentes de MASOES a Nivel Individual	28
4. Modelo Afectivo para MASOES	29
5. Estados Emocionales con el Tipo de Comportamiento Asociado	31
6. Arquitectura de JADE Conjuntamente con MASOES	37
7. Comunicación Entre Agentes de JADE	38
8. Ontología para MASOES, Acción Evaluar Estímulo	40
9. Flujo de Comunicación, Acción Evaluar Estímulo	41
10. Ontología para MASOES, Acción Consultar Estado del Agente	41
11. Flujo de Comunicación, Acción Consultar Estado del Agente	42
12. Protocolo de Petición FIPA	43
13. Comunicación Entre Emisor y Receptor Usando Ontologías	44
14. Diseño de la Implementación a Nivel Individual	45
15. Diseño de la Implementación del Componente Conductual	47
16. Representación Gráfica de los Puntos que Conforman los Polígonos de las Emociones	50
17. Flujo de Procesamiento de Estímulo	57
18. Ontología para MASOES, Acciones de Notificación	65
19. Comunicación con el Agente Notificador	65
20. Ontología para MASOES, Acción Consultar Emoción Social	66
21. Comunicación con el Agente Calculador de Emoción Social	67
22. Interfaz Para Observar el Estado Emocional Dado un Agente	68
23. Interfaz Para Observar la Emoción Social del Grupo de Agentes	69
24. Interfaz Para Envío de Mensajes Manualmente	70
25. Interfaz Para la Configuración de Simulaciones	71

26. Emoción Central Final ($EC(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 1 . . .	79
27. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Es- cenario 1	79
28. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 2	82
29. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Es- cenario 2	82
30. Emoción Central Inicial, Caso de Estudio 1 Escenario 3	85
31. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 3	86
32. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Es- cenario 3	86
33. Emoción Central Inicial, Caso de Estudio 1 Escenario 4	88
34. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 4	89
35. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Es- cenario 4	89
36. Variación del Estado Emocional del Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1	91
37. Variación de la Emoción Exhibida por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1	92
38. Variación del Comportamiento Exhibido por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1	92
39. Variación del Estado Emocional del Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 2	94
40. Variación de la Emoción Exhibida por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 2	94
41. Variación del Comportamiento Exhibido por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 2	95

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
1. Comportamientos Según el Estado Emocional del Agente	30
2. Reglas de Priorización de Comportamientos	32
3. Parámetros de Mensajes ACL Usados en la Implementación	44
4. Algoritmo del Modelo Afectivo Para la Selección de Una Emoción	50
5. Conocimiento Relacionado al Agente en la BCC	52
6. Conocimiento Relacionado a las Emociones en la BCC	52
7. Conocimiento Relacionado a las Comportamientos en la BCC	53
8. Ejemplos de Conocimiento de Estímulos en la BCC	53
9. Ejemplo de Consulta a la BCC de un Estímulo	55
10. Algoritmo del Configurador Emocional Para la Actualización del Estado Emocional del Agente	55
11. Ejemplo de Consulta a la BCC del Tipo de Comportamiento Asociado a Una Emoción	56
12. Algoritmo del Manejador de Comportamiento Para la Actualización de la Prioridad de Comportamiento	56
13. Lista de Comandos Para la Ejecución de la Herramienta	62
14. Lista de Configuraciones de JADE Utilizadas Para la Ejecución de la Herramienta Computacional	63
15. Lista de Argumentos Para el Agente Emocional	64
16. Lista de Servicios Expuestos en el Agente DF para la Ontología Pro- puesta para MASOES	72
17. Actores con Algunas de sus Tareas en Wikipedia	74
18. Estímulos Asociados al Usuario Registrado Propuestos para los Casos de Estudio de Wikipedia	76
19. Evolución de la Emoción Social del Grupo de Agentes (<i>Ag</i>), Caso de Estudio 1 Escenario 1	80

20. Evolución de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso de Estudio 1 Escenario 2	83
21. Valor Inicial y Final de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso 1 Escenario 3	85
22. Valor Inicial y Final de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso 1 Escenario 4	88

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
AUTO-ORGANIZADOS Y EMERGENTES (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. Debido a las posibles aplicaciones en el área, actualmente la comunidad científica realiza esfuerzos para aplicar las teorías existentes en sistemas multiagente. Diferentes autores estudian modelos emocionales con el objetivo de mejorar la interacción entre agentes inteligentes, un ejemplo es el modelo afectivo de MASOES, aunque este modelo afectivo ha sido verificado formalmente a nivel de diseño, no ha sido verificado a nivel de implementación. Frente a lo expuesto, el presente trabajo propone una implementación del modelo afectivo de MASOES sobre un sistema multiagente, con la finalidad de brindar un entorno para la interacción entre los procesos emocionales y las diferentes funciones de un agente. Adicionalmente, se propone el cálculo de la Emoción Social, permitiendo describir el estado emocional colectivo de un grupo de agentes emocionales. Para esto, se diseñó y desarrolló un sistema multiagente basado en el marco de trabajo JADE, el cual utiliza el estándar FIPA que permite el desarrollo de agentes universales. Posteriormente, se aplicó lo implementado sobre un caso de estudio utilizando simulaciones para generar emociones a nivel individual y colectivo, y se comparó los resultados a nivel de implementación con los obtenidos por Perozo (2011) a nivel de diseño.

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

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL “LISANDRO ALVARADO”

DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**IMPLEMENTATION OF AN AFFECTIVE MODEL FOR THE
MULTIAGENT ARCHITECTURE FOR SELF-ORGANIZING AND
EMERGENT SYSTEMS (MASOES)**

Author: Ing. Saúl Jabín Piña Alvarado

Supervisor: Dra. Niriaska Perozo Guédez

ABSTRACT

Affective computation is a recent area of the artificial intelligence that aims to improve the interactive processes between emotional agents and the human, both for software and hardware applications. Currently the scientific community makes efforts to apply existing theories in multiagent systems by potential applications in this area. Different authors study emotional models in order to improve interaction between intelligent agents, an example is the affective model of MASOES, although this affective model has been formally verified at the design level, it has not been verified at the implementation level. In light of the above, this paper proposes an implementation of the MASOES affective model on a multiagent system, in order to provide an environment for the interaction between the emotional processes and the different functions of an agent. In addition, the calculation of the Social Emotion is proposed, allowing to describe the collective emotional state of a group of emotional agents. To achieve this, a multiagent system was designed and developed based on the JADE framework, which uses the FIPA standard to develop universal agents. Finally, the implemented was applied on a case of study using simulations to generate individual and collective emotions, and the results were compared at the implementation level with those obtained by Perozo (2011) at the design level.

Keywords: Multiagent System, Affective Computing, Emotional Model, Emotional Interaction, 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. 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 men-

tales 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, además, incorporar emociones a agentes inteligentes es de utilidad, debido 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 y otros, 2007). Un ejemplo es el modelo afectivo de MASOES (*“Multiagent Architecture for Self-Organizing and Emergent Systems”*, en inglés), propuesto por Perozo (2011), es un modelo afectivo dimensional el cual considera un conjunto de emociones positivas y negativas que permiten generar un cambio dinámico de comportamiento en los agentes a nivel individual (Reactivo, Cognitivo) y colectivo (Imitativo), en otras palabras, los agentes exhiben un comportamiento asociado a su estado emocional actual, asimismo, los estímulos internos (Individual) o externos (Colectivo) afectan el estado emocional de los agentes. Esta compuesto por las dimensiones *activacion* y *satisfacción*, la primera representa el grado de activación fisiológica y psicológica del agente, y la segunda el agrado o desagrado exhibido. Este modelo afectivo para MASOES ha sido verificado (Perozo, 2011) 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.

La presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I: se realiza una descripción del problema a abordar y se plantean los objetivos de la investigación, además se incluyen la justificación y el alcance de la investigación.

Capítulo II: comprende la revisión del estado del arte sobre sistemas multiagente y modelos afectivos dimensionales, también se presentan las bases teóricas

que sustentan esta investigación.

Capítulo III: el marco metodológico presenta la naturaleza y las fases para llevar a cabo la investigación.

Capítulo IV: se describe de manera detallada la propuesta planteada a nivel de diseño e implementación.

Capítulo V: expone los casos de estudio realizados y compara los resultados con los obtenidos a nivel de diseño por parte de Perozo (2011).

Finalmente, Capítulo 6: se detallan las conclusiones y hallazgos en la presente investigación, así como posibles trabajos futuros.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. 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 y otros, 2007). Según Perozo y otros (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, surge la arquitectura genérica MASOES y se 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, puesto 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, se propone aplicar el modelo afectivo de MASOES en un sistema multiagente, en el cual se pueda observar el comportamiento exhibido a nivel individual o colectivo de los agentes, como consecuencia de sus estados emocionales. Aunque el modelo afectivo de MASOES ha sido verificado formalmente a nivel de diseño (Perozo, 2011), no ha sido verificado a nivel de implementación, lo que ofrece la oportunidad de continuar esta investigación. Además, dicho modelo puede ser usado en cualquier caso de estudio y arquitectura, no solamente en MASOES, ya que fue diseñado de manera modular. Asimismo, es interesante abordar el problema propuesto por Rodríguez y Ramos (2015) sobre la integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes, donde la construcción interna de los agentes debe asegurar un correcto acoplamiento en-

tre los diferentes componentes y el componente afectivo, dado que este último le proporcionará al agente la capacidad de seleccionar un comportamiento adecuado según el estado emocional presentado. Todo esto con la finalidad de brindar un entorno para la interacción entre los procesos emocionales y las diferentes funciones de un agente, e inclusive en interacciones colectivas, a su vez aportar a la comunidad científica una implementación del reciente modelo afectivo propuesto en MASOES.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar el modelo afectivo de MASOES en un sistema multiagente.

1.2.2. 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 un sistema multiagente a nivel individual y colectivo basado en el modelo afectivo de MASOES y en el marco de trabajo JADE.
4. Implementar el sistema multiagente y el modelo afectivo de MASOES.
5. Aplicar la implementación en un caso de estudio seleccionado.
6. Evaluar los resultados obtenidos a nivel de implementación del modelo afectivo de MASOES con los resultados obtenidos por Perozo (2011) a nivel de diseño.

1.3. 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.

1.4. 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. Asimismo, este trabajo no abarca la implementación de otros componentes de MASOES. Además, se desarrolló una herramienta computacional donde se pueda configurar el caso de estudio y modificar las características del entorno o configuraciones individuales y colectivas de los agentes de manera interactiva.

Por otra parte, se usa el marco de trabajo 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), provee un conjunto de utilitarios para el desarrollo de agentes con comportamientos complejos y se ajusta a las necesidades del presente trabajo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. 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. El presente trabajo de investigación se enfoca en dar solución al primer problema (*la integración de la cognición y las emociones en arquitecturas de agentes*), ya que la arquitectura individual de MASOES describe los componentes y relaciones internas de los agentes emocionales, para producir y priorizar un comportamiento imitativo, cognitivo o reactivo guiado por el componente afectivo.

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”*, 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 y otros, 2013), desarrollo de software libre (Perozo y otros, 2013) y sistemas multirobot (Gil y otros, 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 y otros (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 y otros (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, Clore and Collins”*, en inglés) (Ortony y otros, 1990), 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 plausibilidad 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 plausibilidad, 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.

Dastani y otros (2014), proponen extender el lenguaje de programación de agentes inteligentes llamado “2APL”, con el objetivo de integrar emociones en este. 2APL es un lenguaje de programación lógico que fue desarrollado para apoyar la programación de sistemas multiagente. Entre otras cosas, este lenguaje le permite a los agentes recibir eventos y representar información propia, de otros agentes o del entorno. Posee un conjunto de tres tipos de reglas de razonamiento: el primer tipo de reglas está diseñado para generar planes para alcanzar metas, llamadas reglas de planificación de objetivos o reglas PG (*“Planning Goal”*, en inglés); el segundo permite procesar eventos externos, mensajes y acciones abstractas, llevan el nombre de reglas de llamada de procedimiento o reglas de PC (*“Procedure Call”*,

en inglés); el último tipo permite rehacer los planes fallidos, llamadas reglas de reparación del plan o RP (*“Plan Repair”*, en inglés). Con respecto a la integración de emociones, se utilizó el modelo dimensional de emociones PAD (*“Pleasure, Arousal and Dominance”*, en inglés), específicamente la implementación llamada ALMA, para definir el conjunto de emociones que pueden exhibir los agentes, además, crearon una base de emociones a través de un nuevo tipo de regla para el lenguaje 2APL, llamadas reglas de emoción o ER (*“Emotion Rule”*, en inglés), en las que se definen eventos, acciones u objetos y la intensidad con que afectarán el estado emocional del agente. La intensidad puede ser variada por evento, la idea es que cada evento pueda tener su propio valor y afecte de diferente manera a la emoción. Esta investigación sirve de inspiración para el presente trabajo, ya que guarda similitudes con la arquitectura individual propuesta en MASOES, en la que se tiene una Base de Conocimiento Conductual, un Modelo Afectivo Dimensional y se procesan eventos, acciones u objetos para generar emociones. Además, sirve como base para justificar el uso del lenguaje de programación lógico *Prolog* en la implementación propuesta y así definir el conocimiento asociado a los agentes, emociones, comportamientos, eventos, acciones u objetos que afectarán las emociones.

Rincon y otros (2015), plantea un modelo afectivo en tres dimensiones llamado SEM (*“Social Emotional Model”*, en inglés) basado en el modelo psicológico de estados emocionales PAD (*“Pleasure, Arousal and Dominance”*, 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 y otros (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. El trabajo de Rincon y otros resulta útil ya que sirve como base para la propuesta de Emoción Social descrita en esta investigación.

Otro enfoque interesante es presentado por Yu y otros (2015), que propone una arquitectura denominada EMARL (*“Emotional Multiagent Reinforcement Learning”*, 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 de-

ben 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.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. 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 y otros, 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.

2. **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.
3. **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.
4. **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.
5. **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.
6. **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 fun-

cionalidad 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.

2.2.2. Computación Emocional

El concepto fue introducido por Picard (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, 2008).

Según Causa y Sosa (2008), 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.

2.2.3. *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 (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.

2.2.3.1. *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.

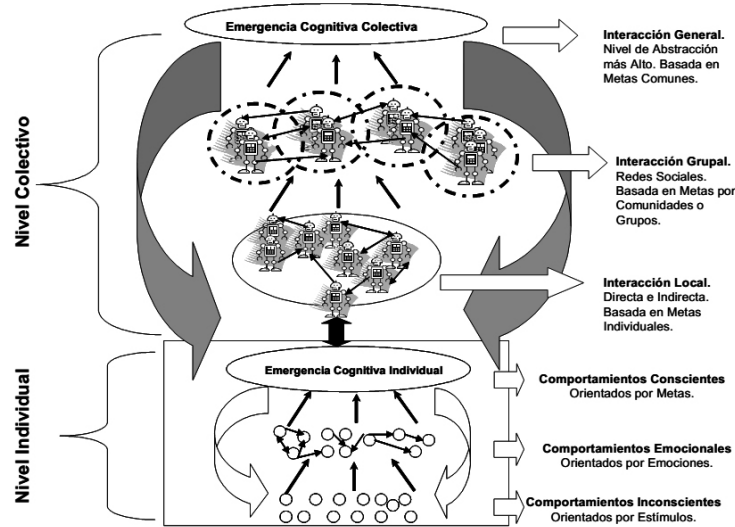


Figura 1. Arquitectura de MASOES.

Fuente: Perozo (2011).

2.2.3.2. *Comportamientos de los Agentes*

1. Comportamiento Inconsciente o reactivo, según estímulos.
2. Comportamiento Emocional, orientado por las emociones.
3. 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.

2.2.3.3. Componentes de MASOES a Nivel Colectivo

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

1. **Conjunto de reglas:** especifican las interacciones entre los agentes usando solamente información local.
2. **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.
3. **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).
4. **Base de Conocimiento Colectivo:** es la memoria social o colectiva a la que todos los agentes tienen acceso.
5. **Retroalimentación positiva:** para promover la creación de estructuras y cambios en el sistema.
6. **Retroalimentación negativa:** para compensar la retroalimentación positiva y ayudar a estabilizar el patrón de comportamiento colectivo.

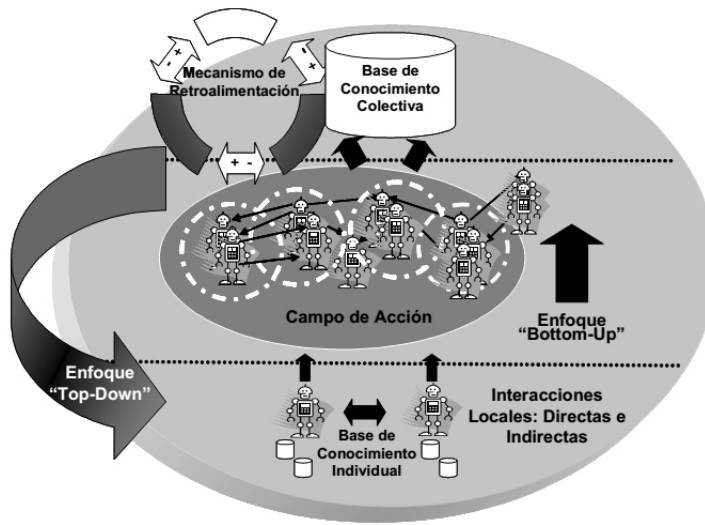


Figura 2. Componentes de MASOES a Nivel Colectivo.

Fuente: Perozo (2011).

2.2.3.4. 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... en-

tonces) 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.

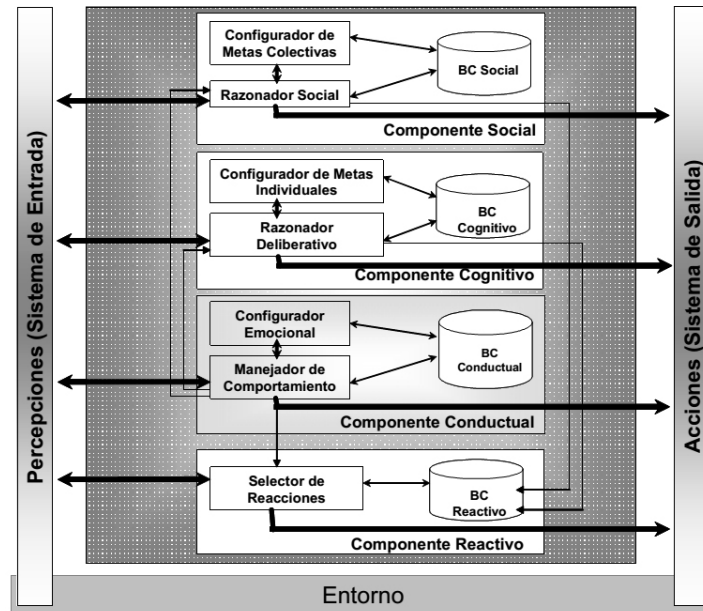


Figura 3. Componentes de MASOES a Nivel Individual.

Fuente: Perozo (2011).

2.2.3.5. 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).

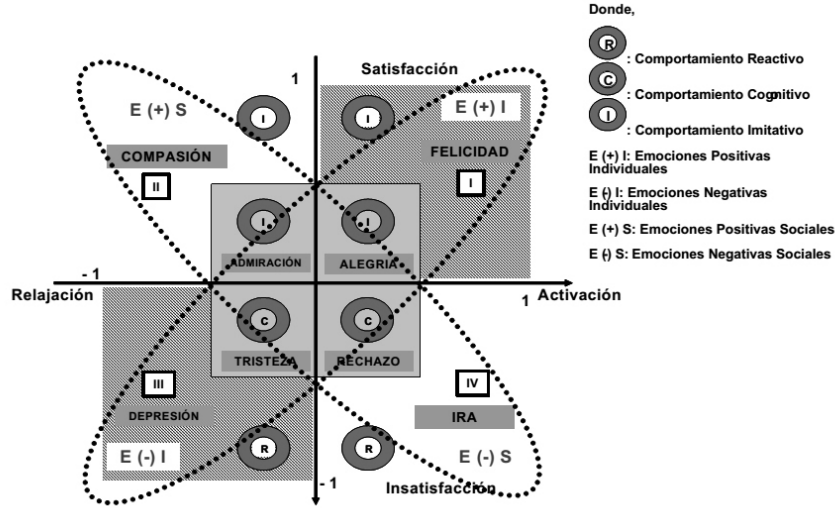


Figura 4. Modelo Afectivo para MASOES.

Fuente: 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).

Tabla 1. Comportamientos Según el Estado Emocional del Agente.

Emoción	Tipo de Emoción	Comportamiento
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

Fuente: Perozo (2011).

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).

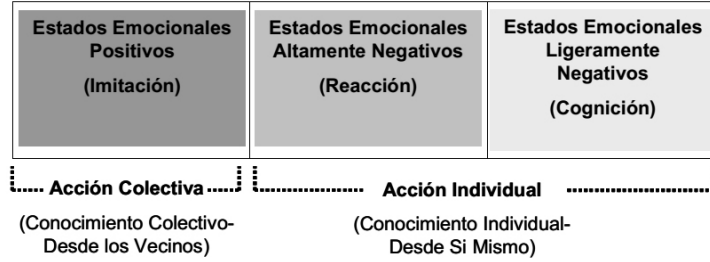


Figura 5. Estados Emocionales con el Tipo de Comportamiento Asociado.

Fuente: Perozo (2011).

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). Así, para asociar los estados emocionales a un comportamiento determinado, se tienen las siguientes reglas (ver tabla 2):

Tabla 2. Reglas de Priorización de Comportamientos.

Regla 1:	Si el <i>Estado Emocional</i> es <i>Positivo</i> entonces priorizar <i>Comportamiento Imitativo</i>
Regla 2:	Sino Si el <i>Estado Emocional</i> es <i>Ligeramente Negativo</i> entonces priorizar <i>Comportamiento Cognitivo</i>
Regla 3:	Sino Si el <i>Estado Emocional</i> es <i>Altamente Negativo</i> entonces priorizar <i>Comportamiento Reactivo</i>
Fuente: Perozo (2011).	

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 la tabla 1, como una acción resultante de la emoción detectada en la fase anterior. 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 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. 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), 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.

3.2. 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.

3.3. Fases del Estudio

3.3.1. 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.

3.3.2. Fase II Diseño

Posteriormente, se diseñará un sistema multiagente a nivel individual y colectivo tomando como base el modelo afectivo propuesto en MASOES y el marco de trabajo JADE. 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.

3.3.3. Fase III Implementación

Se llevará a cabo la implementación del diseño propuesto utilizando un la librería JADE 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. Además, se desarrollará la configuración del caso de estudio a evaluar.

3.3.4. Fase IV Evaluación

En la última fase de la investigación, se diseñarán los casos de estudio basados en simulaciones para la generación de emociones colectivas e individuales y se compararán los resultados obtenidos a nivel de implementación con los resultados obtenidos por Perozo (2011) a nivel de diseño.

CAPÍTULO 4

DISEÑO E INGENIERÍA DE LA PROPUESTA

En este capítulo se describen los aspectos relacionados a la implementación del modelo afectivo de MASOES propuesto por Perozo (2011).

En primer lugar, se explican los aspectos arquitecturales de la implementación, relevantes para entender el funcionamiento de la plataforma. En segundo lugar, se exponen a nivel de implementación los componentes individuales y colectivos de los agentes emocionales, descritos a nivel de diseño por Perozo (2011). Por último, se detalla lo referente a la herramienta computacional desarrollada.

4.1. Aspectos Arquitecturales de la Propuesta

Como paradigma de software para el desarrollo de la implementación, se seleccionó la Programación Orientada a Agentes (POA). Este paradigma propuesto por Shoham (1993), esencialmente modela una aplicación como una colección de componentes llamados agentes (Bellifemine y otros, 2007). Permite llevar a cabo la materialización a nivel de aplicación de los sistemas multiagente. La POA y la Programación Orientada a Objetos (POO) son compatibles, la primera puede ser vista como una especialización de la segunda (Shoham, 1993), además, dependiendo del lenguaje de programación pueden mezclarse.

Por otra parte, se usó JADE (*“Java Agent DEvelopment”*, en inglés), uno de los marcos de trabajo con paradigma de POA más populares, implementado en el lenguaje de programación Java. JADE provee bibliotecas de clases para la creación de agentes mediante la herencia y la sobrescritura de comportamientos. Incluye un

conjunto de herramientas gráficas para la monitorización y administración de los agentes. Además de ser un marco de trabajo, JADE se considera una plataforma, debido a que contiene un entorno en el que los agentes se ejecutan y se controla su ciclo de vida. Una de las características más importantes de JADE es que cumple con las especificaciones estándar FIPA (*“Foundation for Intelligent Physical Agents”*, en inglés), las cuales representan una colección de normas que tienen como objetivo promover la interoperabilidad de agentes heterogéneos y los servicios que pueden representar. La figura 6 muestra la arquitectura de la plataforma JADE.

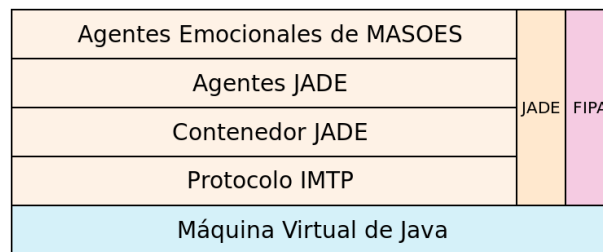


Figura 6. Arquitectura de JADE Conjuntamente con MASOES.

Fuente: Piña (2017).

La capa que conforma la base de la arquitectura es la máquina virtual de Java y es la que permite instanciar la plataforma, sobre ella se encuentra Jade, compuesta a su vez por:

Protocolo IMTP (*“Instant Message Transfer Protocol”*, en inglés). Protocolo utilizado por los agentes para comunicarse entre sí localmente o en una red de computadores, a través de mensajes estandarizados por FIPA (ver figura 7).

Contenedor JADE. Proporciona todos los servicios necesarios para alojar y ejecutar agentes.

Agentes JADE. Son entidades de software que poseen proceso propio, comportamiento, ciclo de vida y son capaces de recibir y enviar mensajes.

La capa superior corresponde a la implementación de los agentes emocionales propuestos para MASOES. Dicha capa funciona como una extensión del marco de

trabajo de JADE. Proporciona un agente emocional que contiene la implementación del componente conductual y el modelo afectivo de MASOES.

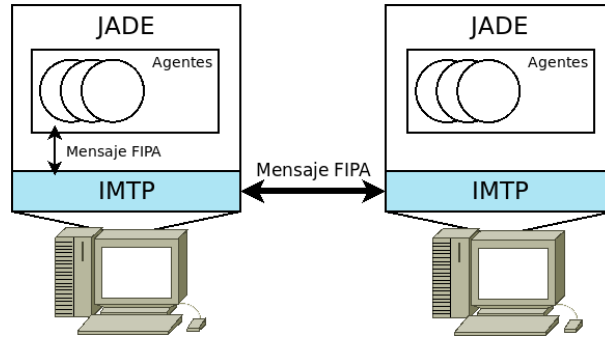


Figura 7. Comunicación Entre Agentes de JADE.

Fuente: Piña (2017).

Cuando se inicia el contenedor principal, dos agentes especiales son automáticamente instanciados por JADE, cuyos roles están definidos por FIPA y utilizan la especificación “FIPA Agent Management” para la comunicación a través de mensajes (FIPA, 2002b):

Agente AMS (“*Agent Management System*”, en inglés). El AMS controla la plataforma. Es el único que puede crear y destruir a otros agentes, destruir contenedores y detener la plataforma. Se encarga de asignarle un código a cada agente, y posee el servicio de páginas blancas, es decir, un registro de todos los agentes. Cuando un agente desea conocer la existencia de otro en el entorno, se comunica con el AMS.

Agente DF (“*Directory Facilitator*”, en inglés). El DF proporciona un directorio que anuncia los servicios disponibles en la plataforma. Un agente dentro del entorno puede notificarle al agente DF cual es su rol y publicar sus servicios (acciones), dándose a conocer a otros.

4.2. Aspectos Propuestos a Nivel Individual

En esta sección se describe una propuesta de ontología para MASOES y la implementación interna de los agentes emocionales. Además, se explica cómo ocurre el proceso de comunicación entre los agentes.

4.2.1. *Propuesta de Una Ontología Para MASOES*

JADE requiere para la comunicación entre los agentes, la definición de una ontología. En JADE una ontología es la definición de los conceptos y relaciones entre ellos, que forman parte del conocimiento de un agente o una sociedad de agentes. Tanto el emisor como el receptor deben atribuir el mismo significado a estos elementos para que la comunicación sea efectiva (Bellifemine y otros, 2007).

La necesidad de utilizar ontologías viene dada por la complejidad inherente a las aplicaciones desarrolladas en el contexto de los sistemas multiagente, haciendo que se presenten las siguientes dificultades: abundancia de comunicación entre agentes, interoperabilidad de sistemas y plataformas, y problemas semánticos.

JADE incorpora funcionalidades para codificar y decodificar las ontologías, utilizando las especificaciones FIPA (FIPA, 2001, 2002d). Para construir una ontología se debe definir los siguientes elementos:

- *Acciones*: son actividades que pueden llevar a cabo los agentes.
- *Conceptos*: representan las entidades que forman parte de la ontología.
- *Predicados*: son expresiones que relacionan los conceptos. Son necesarios porque en un mensaje nunca se podrá enviar directamente conceptos, solo predicados o acciones, los conceptos estarían encapsulados por estos dos últimos.

Los elementos anteriormente expuestos, son proporcionados por JADE en forma de abstracciones, de manera que puedan ser extendidas para definir una ontología de manera personalizada. Los predicados deben heredar de *Predicate*, así

mismo los conceptos de *Concept* y las acciones de *AgentAction*. Además, este marco de trabajo provee la clase *AID* que representa el identificador único del agente, que debe ser utilizado para asignar un emisor y receptor de un mensaje, también puede ser incluido en las ontologías para representar a un agente.

En este trabajo se define la ontología “masoes” para la comunicación entre agentes emocionales. Dicha ontología se centra en poder expresar dos acciones clave: evaluar un estímulo y consultar el estado emocional.

En la figura 8 se observa las entidades que conforman la acción evaluar estímulos. Para solicitarle a un agente que evalúe un estímulo se le debe enviar una acción *EvaluarEstimulo*, internamente esta contiene el concepto *Estimulo* que puede ser de tres tipos, *Objeto*, *Accion* o *Evento*. El agente en cuestión responderá con un predicado de tipo *EstadoDeAgente*, el cual encapsula los conceptos *EstadoDeEmocion* y *EstadoDeComportamiento*, y representa el nuevo estado emocional del agente luego de evaluar el estímulo. Para apreciar de mejor manera el flujo de comunicación se incluye la figura 9.

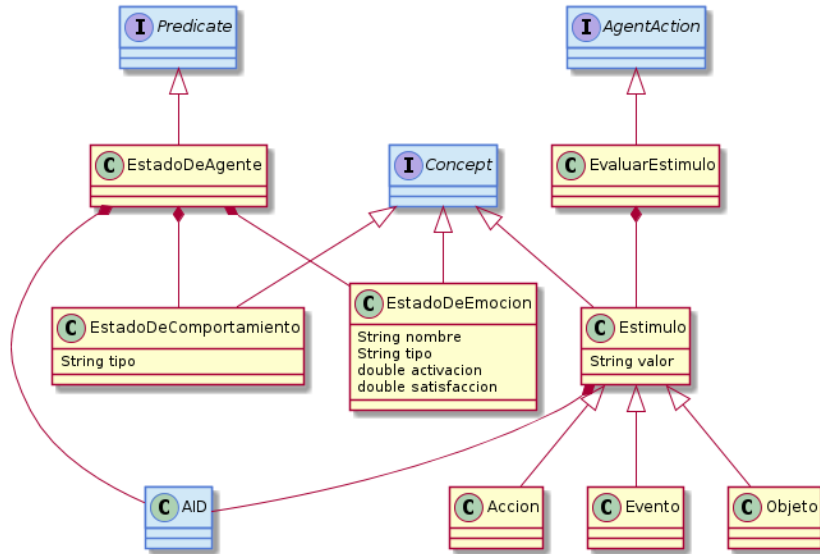


Figura 8. Ontología para MASOES, Acción Evaluar Estímulo.

Fuente: Piña (2017).

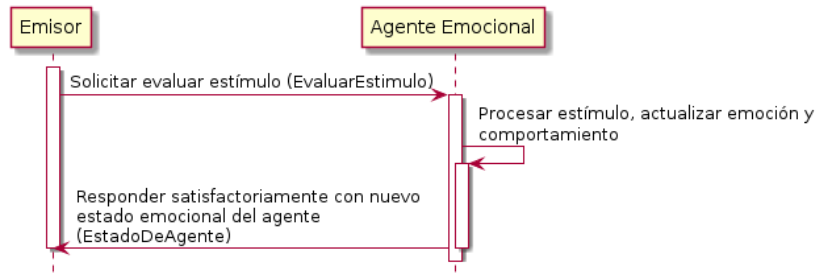


Figura 9. Flujo de Comunicación, Acción Evaluar Estímulo.

Fuente: Piña (2017).

Con respecto a la acción consultar estado emocional se tiene el diagrama de la figura 10. Es posible conocer el estado emocional de un agente enviando la acción *ConsultarEstadoEmocional*, a diferencia de la acción anterior, esta no tiene ningún concepto. El agente receptor responderá con un predicado de tipo *EstadoDeAgente* y no modificará su estado emocional actual. El flujo de comunicación se puede ver en la figura 11.

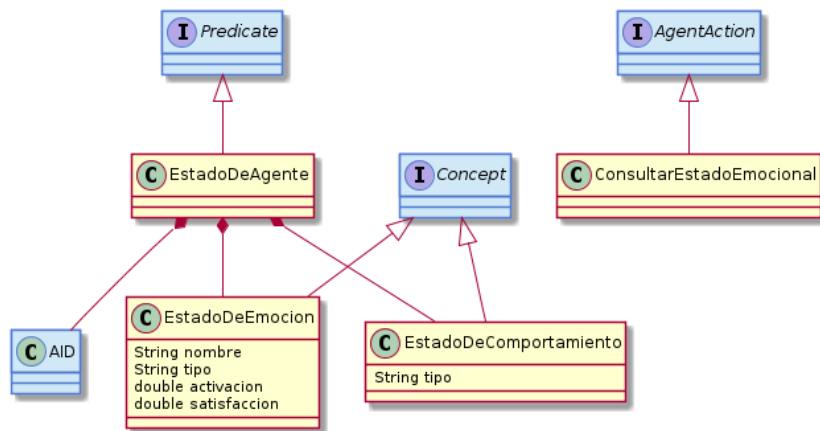


Figura 10. Ontología para MASOES, Acción Consultar Estado del Agente.

Fuente: Piña (2017).

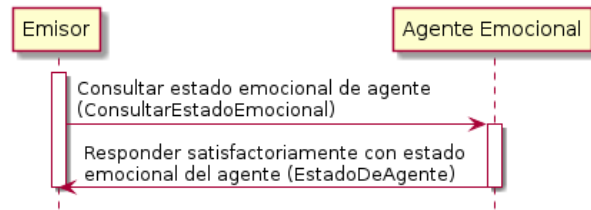


Figura 11. Flujo de Comunicación, Acción Consultar Estado del Agente.

Fuente: Piña (2017).

4.2.2. Comunicación Entre Agentes

Los elementos más importantes en la comunicación entre agentes son:

Acto comunicativo o performativa. Definido en FIPA (2002c), se refiere al acto de comunicar en un determinado momento una acción.

Lenguaje. Se utilizó el lenguaje “fipa-sl” (“*FIPA Semantic Language (SL)*”, en inglés), es un lenguaje estandarizado en FIPA (2002d), entendible por el humano, ya que utiliza una codificación en texto plano.

Protocolo. La especificación FIPA declara diferentes protocolos para distintas acciones o situaciones. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el protocolo “fipa-request” definido en FIPA (2000). Este protocolo dicta el procedimiento que deben seguir los agentes al recibir un mensaje y que performativas deben ser usadas para cada acción. En la figura 12, se aprecia el diagrama de secuencia de las interacciones entre el emisor y el receptor. El emisor envía una petición al receptor (performativa “request”), luego el receptor puede aceptar (performativa “agree”) o rechazar la petición (performativa “refuse”). En caso que el agente acepte la petición, enviará al emisor una respuesta afirmativa (performativa “inform”) si la acción se ejecutó correctamente o fallida (performativa “failure”) si ocurrió un error.

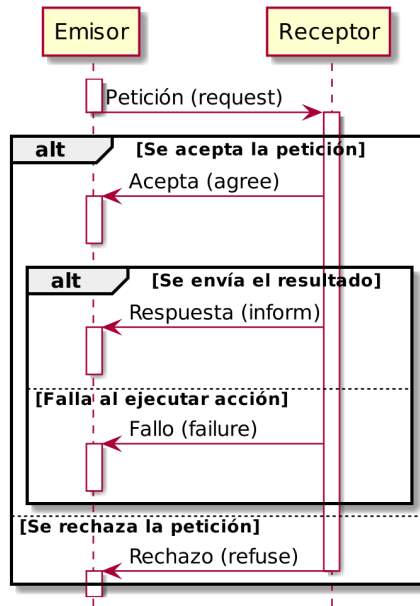


Figura 12. Protocolo de Petición FIPA.

Fuente: FIPA (2000).

Ontología. Es la definición de los conceptos y relaciones entre ellos, que forman parte del conocimiento de un agente o una sociedad de agentes. Una ontología es esencial para lograr una comunicación efectiva en un grupo de agentes. Los elementos que componen una ontología de JADE (Conceptos, Acciones y Predicados) juegan diferentes papeles en la comunicación. Como se muestra en la figura 13, el contenido que envía un agente emisor es de tipo *AgentAction* y recibirá como respuesta un contenido de tipo *Predicate*. Los elementos de tipo *Concept* pueden ser utilizados tanto por las acciones como por los predicados, para transmitir una información.

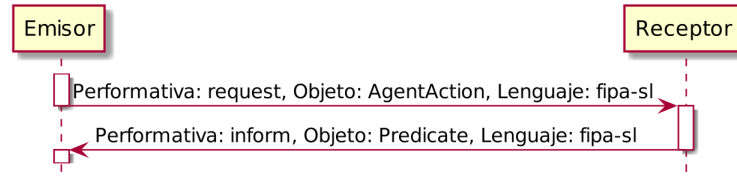


Figura 13. Comunicación Entre Emisor y Receptor Usando Ontologías.

Fuente: Piña (2017).

Mensaje ACL (“*Agent Communication Language*”, en inglés). Es una estructura común de transporte de información propuesta por FIPA (2002a), es implementada por JADE. En la tabla 3, se listan los parámetros utilizados en la implementación para la comunicación entre agentes emocionales, deben ser provistos en un mensaje para que la comunicación se logre efectuar.

Tabla 3. Parámetros de Mensajes ACL Usados en la Implementación.

Parámetro	Descripción
performative	Acto comunicativo
sender	Emisor
receiver	Receptor
content	Contenido del mensaje
conversation-id	Identificación única de la conversación
language	Lenguaje de codificación del contenido (fipa-sl)
ontology	Ontología del contenido (masoes)
protocol	Protocolo que rige la comunicación (fipa-request)

Fuente: Piña (2017).

4.2.3. *Diseño de la Implementación a Nivel Individual*

El diseño a nivel individual de la propuesta abarca las entidades vinculadas al agente emocional, y que permiten responder a las solicitudes de otros agentes

a través de acciones. La implementación se llevó a cabo de manera que pueda ser extendida o mejorada, y para ser utilizada en sistemas multiagentes con diferentes dominios. Uno de los aspectos relevantes de la implementación es que es no limitativa, en otras palabras, los agentes emocionales pueden comunicarse con cualquier otro agente no emocional o heterogéneo localmente o a través de una red de computadores e interactuar con ellos. Por otra parte, la implementación permite que el procesamiento de un estímulo por un agente pueda hacerse de manera individual, invocando su propio componente conductual, o recibiendo un estímulo desde otros agentes o el entorno. En la figura 14 se muestra el diseño a nivel individual de la implementación.

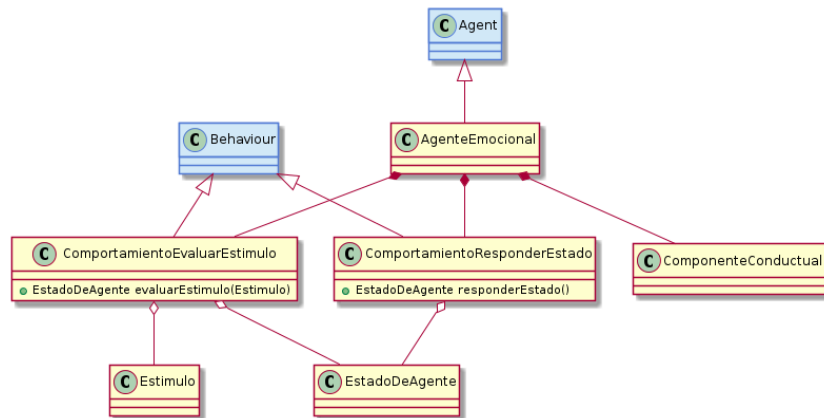


Figura 14. Diseño de la Implementación a Nivel Individual.

Fuente: Piña (2017).

A continuación, se definen cada una de las entidades involucradas a nivel individual:

Agent. Es la clase principal de JADE, todos los tipos de agentes deben heredar de ella, e incluye otros aspectos relevantes, tales como, el envío y recepción de mensajes, y manejo de comportamientos. Además, posee un hilo de ejecución propio, y está bajo las especificaciones FIPA. Es la unidad básica en la POA.

Behaviour. Pertenece a JADE, esta clase representa los comportamientos,

acciones, actividades o tareas que puede realizar un agente, debe ser heredada, y sobrescrito su método *action*. Un agente puede contener uno o muchos comportamientos, y estos, pueden ser detenidos o reanudados según la necesidad del mismo. Además, pueden ser agregados desde otros comportamientos, o programados para ser ejecutados en momentos específicos. Se agregan a través del método *addBehaviour* de la clase *Agent*. Las implementaciones más usadas (también provistas por JADE) son: *OneShotBehaviour* (para ejecutar una acción una sola vez), *CyclicBehaviour* (para un comportamiento repetitivo) y *FSMBehaviour* (para generar un comportamiento compuesto basado en máquinas de estado finito).

AgenteEmocional. Es la especialización de la clase original *Agent* de JADE, desarrollado de manera que contenga el modelo afectivo de MASOES. Se debe heredar de este agente en el caso de que se desee contruir un agente emocional.

ComportamientoResponderEstado. Esta es una de las acciones básicas para el agente emocional, se encarga de responder con la información del estado actual del agente a otro que la haya solicitado. Este comportamiento se lleva a cabo cuando el agente emocional recibe una solicitud de acción de tipo *ConsultarEstadoEmocional*.

ComportamientoEvaluarEstimulo. Es la acción más importante del agente emocional, debido a que es la que recibe un estímulo e invoca las funciones del componente conductual, modificando el estado emocional del agente. Se activa al recibir una solicitud de acción *EvaluarEstimulo*.

ComponenteConductual. Representa el componente conductual descrito en MASOES, encapsula el configurador emocional, el manejador de comportamiento y la base de conocimiento conductual (ver sección 4.3).

EstadoDeAgente. Clase utilizada por *ComportamientoResponderEstado* para encapsular información relacionada al estado emocional del agente (ver sección 4.2.1).

Estimulo. Representa un objeto, evento o acción de un agente, a ser evaluado por el configurador emocional (ver sección 4.2.1).

4.3. Aspectos de la Implementación del Componente Conductual

El componente conductual es parte de la arquitectura individual del agente emocional propuesto en MASOES (ver figura 3). Lo constituyen la Base de Conocimiento Conductual, el Configurador Emocional y el Manejador de Comportamiento. Favorece la adaptación de cada agente con su entorno, ya que es el que debe establecer cual comportamiento (cognitivo, reactivo o imitativo) tiene la prioridad más alta para responder frente a una situación. Para esto utiliza el modelo afectivo de MASOES (ver figura 4), el cual relaciona un estado emocional a un tipo de comportamiento (ver tabla 1). En esencia encapsula la implementación del Modelo Afectivo de MASOES.

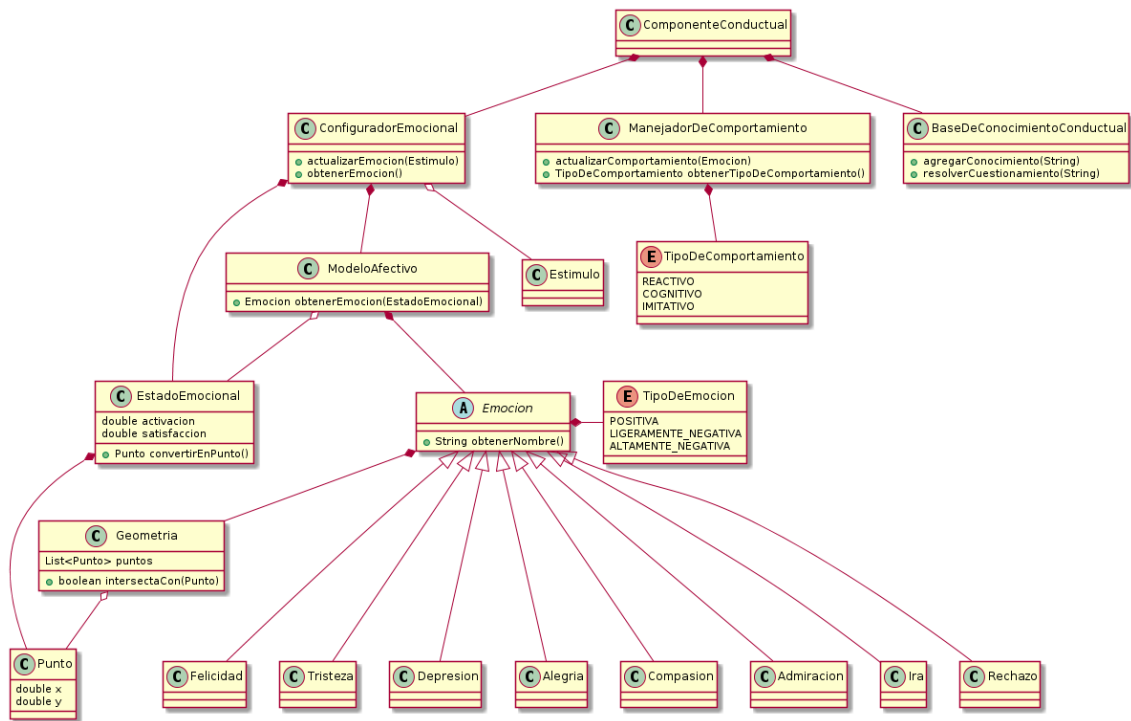


Figura 15. Diseño de la Implementación del Componente Conductual.

Fuente: Piña (2017).

A continuación, se definen cada una de las entidades que forman parte del

componente conductual (ver figura 15):

BaseDeConocimientoConductual. Contiene el conocimiento asociado con la gestión de las emociones y comportamientos. Posee el método *agregarConocimiento* y *resolverCuestionamiento*.

EstadoEmocional. Clase que encapsula el valor de la activación y satisfacción del agente, además, puede convertir dichos valores en un punto en el plano.

ModeloAfectivo. Es el que contiene la implementación del modelo afectivo de MASOES (ver figura 4), permite obtener la emoción asociada a un estado emocional.

ConfiguradorEmocional. Encapsula el estado emocional actual del agente, recibe un estímulo para realizar la actualización de la emoción a través del *ModeloAfectivo*.

ManejadorDeComportamiento. Basándose en las reglas de selección de comportamiento de MASOES (ver tabla 2) y la emoción actual obtenida del configurador emocional, puede actualizar la prioridad de comportamientos del agente emocional.

ComponenteConductual. Representa el componente conductual descrito en MASOES, encapsula el configurador emocional, el manejador de comportamiento y la base de conocimiento conductual (ver figura 3).

TipoDeComportamiento. Es un enumerado que contiene los tres tipos de comportamiento descritos en MASOES por Perozo (2011): cognitivo, reactivo e imitativo.

TipoDeEmocion. Es un enumerado que lista los tipos de emociones definidos en MASOES por Perozo (2011): positiva, ligeramente negativa o altamente negativa (ver tabla 1).

Emocion. Esta entidad es la representación de las emociones del modelo afectivo de MASOES, es la clase padre de las emociones: (*Felicidad, Compasion, Ira, Alegria, Depression, Tristeza, Admiracion y Rechazo*).

Geometria. La clase geometría contiene el conjunto de puntos que componen

el polígono de la emoción en el plano \mathbb{R}^2 . Es de gran importancia debido a que es ella lo que verifica si el estado emocional del agente se encuentra dentro del polígono el cual representa.

Punto. Representación de un punto en el plano \mathbb{R}^2 , utilizado por la clase *Geometria* con la finalidad de crear el polígono de la emoción.

Estimulo. Visto en la sección 4.2.1, contiene la información del objeto, evento o acción que debe evaluar el componente conductual.

4.3.1. *Modelo Afectivo*

Como se dijo anteriormente (ver figura 4), el modelo afectivo de MASOES está compuesto por 8 emociones, distribuidas en los 4 cuadrantes del plano cartesiano, las cuales son representadas geométricamente como polígonos regulares o irregulares. El eje de las abscisas o x representa la activación, donde $-1 \leq x \leq 1$, y el eje de la ordenadas o y la satisfacción, donde $-1 \leq y \leq 1$. En la implementación del modelo afectivo los puntos que conforman los polígonos de las emociones son los siguiente:

- Alegría = $\{(0,0), (0,0.5), (0.5,0.5), (0.5,0)\}$
- Felicidad = $\{(0,0.5), (0,1.0), (1.0,1.0), (1.0,0), (0.5,0), (0.5,0.5)\}$
- Admiración = $\{(0,0), (0,0.5), (-0.5,0.5), (-0.5,0)\}$
- Compasión = $\{(0,0.5), (0,1), (-1,1), (-1,0), (-0.5,0), (-0.5,0.5)\}$
- Tristeza = $\{(0,0), (0,-0.5), (-0.5,-0.5), (-0.5,0)\}$
- Depresión = $\{(0,-0.5), (0,-1), (-1,-1), (-1,0), (-0.5,0), (-0.5,-0.5)\}$
- Rechazo = $\{(0,0), (0,-0.5), (0.5,-0.5), (0.5,0)\}$
- Ira = $\{(0,-0.5), (0,-1), (1,-1), (1,0), (0.5,0), (0.5,-0.5)\}$

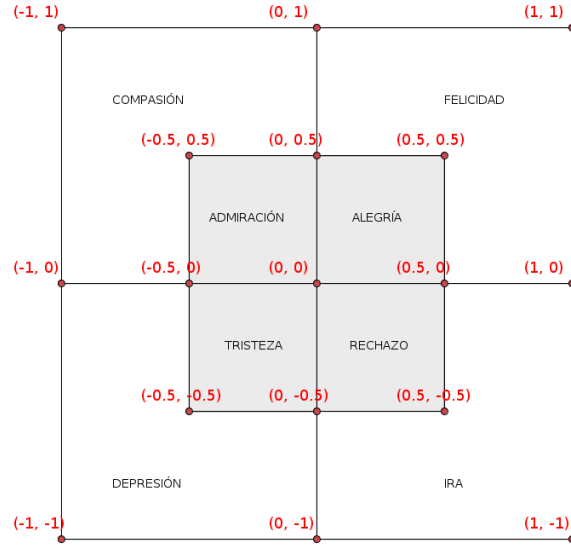


Figura 16. Representación Gráfica de los Puntos que Conforman los Polígonos de las Emociones.

Fuente: Piña (2017).

Con respecto a la selección de la emoción por parte del modelo afectivo al recibir un estado emocional, se tiene el algoritmo de la tabla 4, básicamente se verifica por cada emoción si el punto en el plano proporcionado por el estado emocional esta contenido dentro del pólígono de la emoción.

Tabla 4. Algoritmo del Modelo Afectivo Para la Selección de Una Emoción.

Entrada: estado emocional del agente
Para cada emoción \in conjunto de emociones hacer:
Si el punto en \mathbb{R}^2 del estado emocional esta contenido en el polígono de la emoción entonces:
devolver emoción
Fin si
Fin para

Fuente: Piña (2017).

4.3.2. Base de Conocimiento Conductual

La Base de Conocimiento Conductual (BCC), es la responsable de la gestión del conocimiento de las emociones y comportamientos del agente emocional. Está implementada en el lenguaje de programación lógico *Prolog*, el cual es utilizado de manera extendida para servir como base de conocimiento, debido a que maneja hechos y reglas, además posee un motor de inferencia que permite extraer conocimiento a través de cuestionamientos. Este lenguaje ha sido empotrado en Java por medio del uso de bibliotecas de clases que permiten dicha asociación.

En *Prolog*, un *hecho* es una cláusula que representa una relación entre objetos. Ejemplo de hecho en *Prolog*: “`capital(francia, paris).`”, la interpretación es: La capital de Francia es París. En general, la sintaxis es “`relacion(objeto1, objeto2, ..., objeton).`”. La relación se conoce como *predicado* y los objetos como *argumentos*.

Una *regla* consta de dos partes, la cabeza y un cuerpo, ambos unidos por los símbolos “`:-`”, los cuales se leen como “si” (la cabeza es verdad si el cuerpo es verdad). La cabeza está compuesta por un solo hecho, y el cuerpo puede estar constituido por uno o varios hechos, ejemplo: “`cabeza :- hecho1, hecho2, ..., hechon.`”. Ejemplo de regla en *Prolog*: “`hijoDe(A,B) :- padreDe(B,A).`”, y su interpretación es: A es hijo de B si B es padre de A.

El conocimiento gestionado por la BCC puede ser de cuatro tipos, conocimiento sobre *el agente, las emociones, las reglas de prioridad de los comportamientos y los estímulos*. Con respecto al agente, en la tabla 5 se observan las cláusulas que definen el conocimiento en relación a sí mismo y a los demás.

Tabla 5. Conocimiento Relacionado al Agente en la BCC.

Cláusula	Descripción
1. <code>yo(agenteEmocional).</code>	Definición del agente actual. Se utiliza como ejemplo el nombre <code>agenteEmocional</code>
2. <code>otro(A) :- not yo(A).</code>	Definición de otro agente. <code>A</code> es una variable que representa el nombre del agente

Fuente: Piña (2017).

La tabla 6, muestra los hechos del conocimiento asociado a los tipos de emociones. La estructura de la regla para definir un tipo de emoción se compone del predicado, en este caso `tipo_emocion` y los parámetros: emoción y tipo de emoción. Dicho conocimiento es definido por MASOES en la tabla 1.

La base de conocimiento conductual también contiene las reglas definidas por MASOES en las que se asocia un estado emocional a un tipo de comportamiento. Así, para las reglas de asociación de comportamiento (ver tabla 2), se define el conjunto de cláusulas de la tabla 7, donde `E` representa la emoción.

Tabla 6. Conocimiento Relacionado a las Emociones en la BCC.

Cláusula	Descripción
1. <code>tipo_emocion(admiracion, positiva).</code>	La admiración es positiva
2. <code>tipo_emocion(compasion, positiva).</code>	La compasión es positiva
3. <code>tipo_emocion(felicidad, positiva).</code>	La felicidad es positiva
4. <code>tipo_emocion(alegria, positiva).</code>	La alegría es positiva
5. <code>tipo_emocion(rechazo, ligeramente_negativa).</code>	El rechazo es ligeramente negativa
6. <code>tipo_emocion(tristeza, ligeramente_negativa).</code>	La tristeza es ligeramente negativa
7. <code>tipo_emocion(ira, altamente_negativa).</code>	La ira es altamente negativa
8. <code>tipo_emocion(depresion, altamente_negativa).</code>	La depresión es altamente negativa

Fuente: Piña (2017).

Tabla 7. Conocimiento Relacionado a las Comportamientos en la BCC.

Cláusula	Descripción
1. <code>prioridad_comportamiento(E, imitativo)</code> <code>:- tipo_emocion(E, positiva).</code>	El comportamiento es imitativo si la emoción E es positiva
2. <code>prioridad_comportamiento(E, cognitivo)</code> <code>:- tipo_emocion(E, ligeramente_negativa).</code>	El comportamiento es cognitivo si la emoción E es ligeramente negativa
3. <code>prioridad_comportamiento(E, reactivo) :-</code> <code>tipo_emocion(E, altamente_negativa).</code>	El comportamiento es reactivo si la emoción E es altamente negativa

Fuente: Piña (2017).

Para agregar estímulos a la BCC, es necesario que el agente asigne a cada uno de ellos un *Parámetro de Activación* (P_a) y un *Parámetro de Satisfacción* (P_s), estos valores incrementarán o decrementarán la activación y satisfacción del agente. La estructura para definir un estímulo se compone del predicado **estimulo** y los argumentos: nombre del agente, nombre del estímulo, P_a y P_s . En la tabla 8, se muestran algunos ejemplos de definiciones de estímulos.

Tabla 8. Ejemplos de Conocimiento de Estímulos en la BCC.

Cláusula	Descripción
1. <code>estimulo(A, saludar, 0.01, 0.01) :- otro(A).</code>	Para el agente A el estímulo saludar aumentará la activación en 0.01 y la satisfacción en 0.01 si el estímulo fue enviado por otro agente
2. <code>estimulo(A, despertar, 0.02, -0.1) :- yo(A).</code>	Para el agente A el estímulo despertar aumentará la activación en 0.02 y disminuirá la satisfacción en 0.1 si el evento fue generado por el mismo agente

Fuente: Piña (2017).

4.3.3. *Configurador Emocional*

Este elemento tiene la responsabilidad de evaluar los estímulos y actualizar la emoción del agente. Para esto se definen las siguientes ecuaciones de actualización para la activación y la satisfacción:

$$A'(ag_i) = A_i + P_A \quad (1)$$

Donde $A'(ag_i)$ representa el nuevo valor de activación del agente ag_i , A_i es la activación actual y P_A se define como el parámetro de activación obtenido de la BCC, y esta comprendido en el intervalo: $-1 \leq P_A \leq 1$.

$$S'(ag_i) = S_i + P_S \quad (2)$$

Donde $S'(ag_i)$ representa el nuevo valor de satisfacción del agente ag_i , S_i es la satisfacción actual y P_S es el parámetro de satisfacción obtenido de la BCC, y se encuentra en el intervalo: $-1 \leq P_S \leq 1$.

Para obtener el estímulo, el configurador emocional hará un cuestionamiento a la BCC, para ello se consulta un hecho utilizando los símbolos “?-” con el siguiente formato en lenguaje *Prolog*:

```
?- estimulo(nombreAgente, nombreEstimulo, PA, PS).
```

Las variables “PA” y “PS”, son las incógnitas a conocer. En el siguiente ejemplo (ver tabla 9), se puede observar como se consulta el evento saludar en la BCC y el formato de la respuesta de ésta. El algoritmo de actualización del estado emocional del agente se muestra en la tabla 10.

Tabla 9. Ejemplo de Consulta a la BCC de un Estímulo.

Cláusula	Descripción
1. <code>yo(agenteA).</code>	Definición del agente actual
2. <code>otro(A) :- not yo(A).</code>	Regla que define a otros agentes
3. <code>estimulo(A, saludar, 0.01, 0.01) :- otro(A).</code>	Definición del estímulo saludar
4. <code>?- estimulo(agenteB, saludar, PA, PS).</code>	Consulta del estímulo saludar enviado por el agenteB
5. <code>PA = 0.01</code>	Respuesta obtenida sobre el parámetro de activación
6. <code>PS = 0.01</code>	Respuesta obtenida sobre el parámetro de satisfacción

Fuente: Piña (2017).

Tabla 10. Algoritmo del Configurador Emocional Para la Actualización del Estado Emocional del Agente.

Entrada: estímulo y BCC
Consultar en la BCC si el estímulo existe
Si existe conocimiento del estímulo entonces:
$PA \leftarrow$ obtener PA desde BCC
$PS \leftarrow$ obtener PS desde BCC
$Activación \leftarrow Activación + PA$
$Satisfacción \leftarrow Satisfacción + PS$
Estado Emocional \leftarrow Crear nuevo Estado Emocional a partir de los nuevos valores de Activación y Satisfacción
Emoción \leftarrow Consultar emoción en Modelo Afectivo a partir del nuevo Estado Emocional
Fin si
Fuente: Piña (2017).

4.3.4. Manejador de Comportamiento

El Manejador de Comportamiento se encarga de actualizar la prioridad del comportamiento a ejecutar por el agente, se basa en la reglas de prioridad definidas en MASOES (ver tabla 2) y el estado emocional actual.

Tiene como entrada la emoción dada por el configurador emocional. Para ob-

tener el tipo de comportamiento asociado a la emoción, este componente consulta la BCC, con el siguiente formato en lenguaje *Prolog*:

```
?- prioridad_comportamiento(nombreEmocion, TIPO).
```

Este cuestionamiento retorna el valor de la variable “TIPO”, que puede ser “imitativo”, “cognitivo” y “reactivo”.

El siguiente ejemplo (ver tabla 11) muestra el resultado de preguntarle a la BCC el tipo de comportamiento asociado a la emoción admiración.

Tabla 11. Ejemplo de Consulta a la BCC del Tipo de Comportamiento Asociado a Una Emoción.

Cláusula	Descripción
1. tipo_emocion(admiracion, positiva).	Define que la Admiración es una emoción positiva
2. prioridad_comportamiento(E, imitativo) :- tipo_emocion(E, positiva).	Regla que define el comportamiento imitativo para una emoción E
3. ?- prioridad_comportamiento(admiracion, TIPO).	Se consulta a la BCC cual es el comportamiento asociado a la admiración
4. TIPO = imitativo	Respuesta obtenida

Fuente: Piña (2017).

Para la actualización de la prioridad del comportamiento se implementó el algoritmo de la tabla 12.

Tabla 12. Algoritmo del Manejador de Comportamiento Para la Actualización de la Prioridad de Comportamiento.

Entrada: emoción provista por el configurador emocional
Consultar en la BCC la prioridad del comportamiento
Si existe comportamiento asociado a la emoción entonces:
Comportamiento \leftarrow obtener comportamiento desde BCC
Fin si

Fuente: Piña (2017).

4.3.5. Procesamiento de Estímulo

En el siguiente diagrama de flujo (ver figura 17), se expone el procedimiento implementado en la propuesta para realizar la gestión del estímulo desde que se genera o recibe hasta que se actualiza el comportamiento del agente.

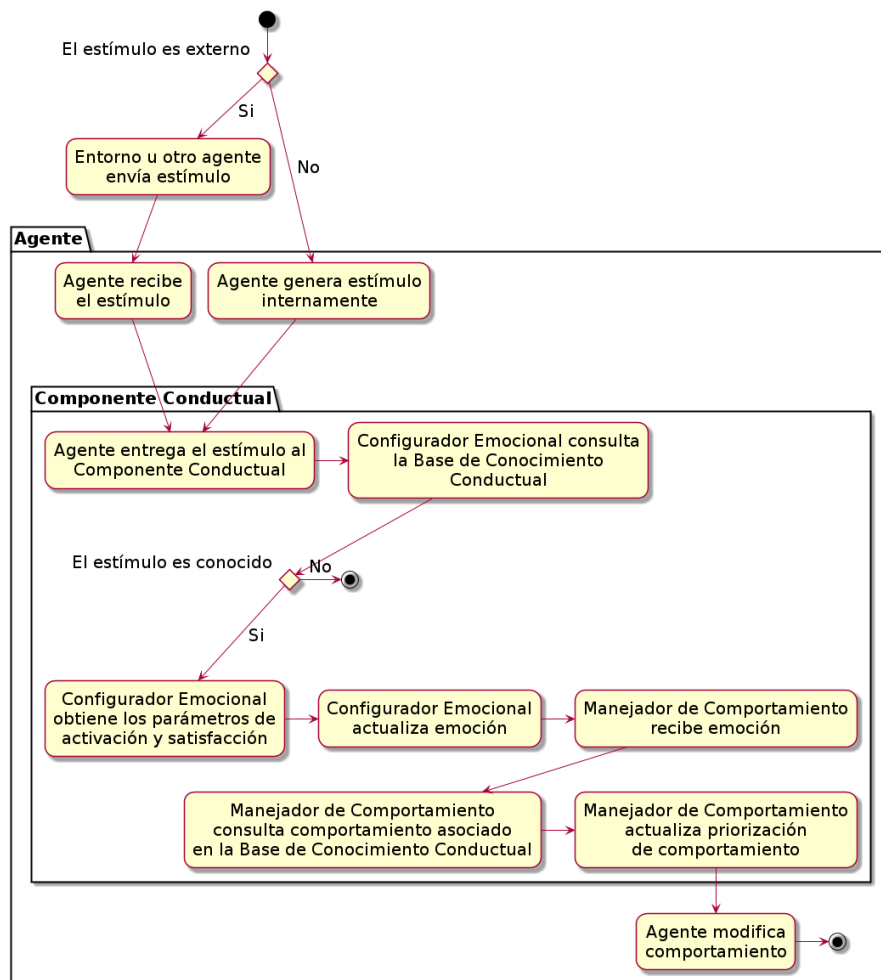


Figura 17. Flujo de Procesamiento de Estímulo.

Fuente: Piña (2017).

El flujo puede iniciarse al recibir del entorno u otro agente un estímulo, o al ser generado internamente, posterior a eso, el agente delega la responsabilidad

a su componente conductual, cuando el estímulo no es conocido, el componente conductual detiene su ejecución, el flujo termina y se mantiene la emoción y comportamiento actual, si el estímulo es conocido el componente consultará en su BCC los parámetros de activación y satisfacción y actualizará la emoción. Luego, el manejador de comportamiento consulta la BCC para obtener la prioridad asociada a la nueva emoción que exhibe el agente, y actualiza la prioridad del comportamiento (reactivo, cognitivo o imitativo). Finalmente, el agente modifica su comportamiento.

4.4. Aspectos Propuestos a Nivel Colectivo

4.4.1. Cálculo de la Emoción Social

Rincon y otros (2015) proponen un modelo de emoción social basado en el modelo psicológico de estados emocionales PAD (*“Pleasure, Arousal and Dominance”*, en inglés). PAD es un modelo que representa el estado emocional de un agente en tres dimensiones, placer, excitación y dominio. Este modelo utiliza las emociones individuales de cada entidad de un grupo de agentes, para calcular la *emoción social*, la cual se compone de tres valores: *emoción central*, *distancia máxima con respecto a la emoción central* y *dispersión emocional*. Basado en lo definido por Rincon y otros (2015), a continuación se expone la propuesta para el cálculo de la *emoción social*:

Como está definido en MASOES (Perozo, 2011), la emoción individual es un vector en \mathbb{R}^2 y esta representada por la ecuación 3.

$$E(ag_i) = (A_i, S_i) \quad (3)$$

Donde ag_i es un agente, A_i es la activación del agente y S_i es la satisfacción

del agente.

La **Emoción Social** está representada por un conjunto de tres valores (ver ecuación 4).

$$ES(Ag) = \{EC(Ag), m(Ag), \sigma(Ag)\} \quad (4)$$

Donde Ag representa al grupo de agentes en estudio, $EC(Ag)$ se refiere a la emoción central exhibida por el grupo de agentes, $m(Ag)$ es el estado emocional más alejado de la EC , $\sigma(Ag)$ representa la dispersión emocional entorno a la EC .

La **Emoción Central** dada por la ecuación 5, se define como la emoción promedio (ver ecuación 6) que exhibe un grupo de agentes Ag , este concepto se introduce debido a que dos grupos de agentes pueden tener la misma EC para agentes muy cercanos o muy alejados de ella, de esta manera se puede hacer una mejor interpretación de la EC .

$$EC(Ag) = (\bar{A}(Ag), \bar{S}(Ag)) \quad (5)$$

Donde Ag representa al grupo de agentes en estudio, \bar{A} es el promedio de activación y \bar{S} el promedio de satisfacción del grupo en estudio.

$$\begin{aligned} \bar{A}(Ag) &= \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}, \forall ag_i \in Ag \\ \bar{S}(Ag) &= \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \forall ag_i \in Ag \end{aligned} \quad (6)$$

Donde Ag representa al grupo de agentes en estudio, A_i es la activación y S_i la satisfacción del agente i , para $1 \leq i \leq n$.

La **Distancia Máxima** con respecto a la EC (ver ecuación 7), permite saber si existen agentes con estados emocionales muy lejanos o cercanos a la emoción

central. Se define como la distancia máxima euclidiana (ver ecuación 8) con respecto a la emoción central.

$$m(Ag) = (m_A(Ag), m_S(Ag)) \quad (7)$$

Donde Ag representa al grupo de agentes en estudio, $m_A(Ag)$ es la activación más alejada (máxima activación) y $m_S(Ag)$ es la satisfacción más alejada (máxima satisfacción).

$$\begin{aligned} m_A(Ag) &= \max \left(\sqrt{(A_i - \bar{A}(Ag))^2} \right), \forall ag_i \in Ag \\ m_S(Ag) &= \max \left(\sqrt{(S_i - \bar{S}(Ag))^2} \right), \forall ag_i \in Ag \end{aligned} \quad (8)$$

Donde Ag es el grupo de agentes, A_i es la activación y $S_i(Ag)$ la satisfacción del agente ag_i , \bar{A} es el promedio de activación y $\bar{S}(Ag)$ el promedio de satisfacción del grupo en estudio.

Para una mejor comprensión de la diversidad de emociones en el grupo de agentes, surge la **Dispersión Emocional** entorno a la EC representada por la ecuación 9 y se define como la desviación estándar con respecto a la emoción central (ver ecuación 10).

$$\sigma(Ag) = (\sigma_A(Ag), \sigma_S(Ag)) \quad (9)$$

Donde $\sigma_A(Ag)$ es la desviación estándar de la activación y $\sigma_S(Ag)$ es la desviación estándar de la satisfacción del grupo de agentes Ag .

$$\begin{aligned}\sigma_A(Ag) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A}(Ag))^2}{n}}, \forall ag_i \in Ag \\ \sigma_S(Ag) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}(Ag))^2}{n}}, \forall ag_i \in Ag\end{aligned}\tag{10}$$

Donde Ag es el grupo de agentes, A_i es la activación y S_i la satisfacción del agente ag_i , para $1 \leq i \leq n$, $\bar{A}(Ag)$ es el promedio de activación y $\bar{S}(Ag)$ el promedio de satisfacción del grupo en estudio.

Si $\sigma(Ag) \gg 0$, el grupo tiene una alta dispersión emocional, es decir, los miembros del grupo tienen diferentes estados emocionales (muy heterogéneos).

Si $\sigma(Ag) \cong 0$, el grupo tiene una dispersión emocional baja, esto significa que los individuos tienen estados emocionales similares (muy homogéneos).

4.5. Herramienta Computacional Desarrollada

El código fuente desarrollado para este trabajo de investigación se encuentra disponible bajo la licencia GPL (“*General Public License*”, en inglés), y se puede acceder a través de la dirección <http://bit.ly/UnaImplementacionDeMASOES>. Se utilizó Java como lenguaje de programación en su versión 8.

Las librerías empleadas para el desarrollo de la herramienta computacional se nombran a continuación:

- JADE 4.4.0 como plataforma para el desarrollo de los agentes de software.
- JTS 1.13 para los cálculos geométricos asociados al modelo afectivo.
- Miglayout 5.0 para el desarrollo de las interfaces de usuario.
- TuProlog 3.2 como intérprete del lenguaje Prolog dentro de Java.
- jFreeChart 1.0.19 para la creación de gráficos en tiempo real.
- junit 4.12, Mockito 1.10.19 y PowerMock 1.6.5 en combinación para pruebas unitarias y funcionales.

- `commons-cli 1.3.1` como interpretador de comandos, utilizado en los agentes emocionales para extraer argumentos.
- `jackson 2.9.0` para exportar e importar una configuración a través de archivos de texto.

La herramienta proporciona diversos comandos que permiten llevar a cabo diferentes tareas, se listan en la tabla 13:

Tabla 13. Lista de Comandos Para la Ejecución de la Herramienta.

Comando	Descripción
<code>make help</code>	Muestra la ayuda
<code>make unit-test</code>	Ejecuta las pruebas unitarias
<code>make fuctional-test</code>	Ejecuta las pruebas funcionales
<code>make test</code>	Ejecuta las pruebas unitarias y funcionales a la vez
<code>make run</code>	Levanta la plataforma sin agentes instanciados
<code>make simulation</code>	Levanta la plataforma con los agentes necesarios para llevar a cabo una simulación

Fuente: Piña (2017).

4.5.1. Configuraciones de JADE Para la Ejecución de la Plataforma

Se proporciona el archivo `jade.properties` en la ruta del proyecto con la finalidad de registrar las configuraciones necesarias para la ejecución de la plataforma, dichos valores se muestran en la tabla 14:

Tabla 14. Lista de Configuraciones de JADE Utilizadas Para la Ejecución de la Herramienta Computacional.

Configuración	Valor por Omisión	Descripción
<code>gui</code>	<code>true</code>	Le indica a JADE si la ejecución será en modo interfaz de usuario (<code>true</code>) o en modo servidor (<code>false</code>).
<code>port</code>	1099	Se refiere al puerto que utilizara JADE para conectar diferentes contenedores de agentes localmente o a través de una red. El protocolo usado es JICP (<i>“JADE Inter Container Protocol”</i> , en inglés)
<code>jade_mtp_http_port</code>	7778	Puerto utilizado por JADE para la transmisión de mensajes de agentes localmente o a través de una red. El protocolo usado es IMTP (<i>“Instant Message Transfer Protocol”</i> , en inglés)
<code>jade_domain_df_autocleanup</code>	<code>true</code>	Le indica al agente DF de JADE que debe limpiar los servicios de un agente en caso de que sea eliminado (<code>true</code>), de esta manera se asegura que no haya información inconsistente en el DF.
<code>platform-id</code>	<code>masoes</code>	Debido a que se puede instanciar diferentes plataformas localmente o en una red, es necesario asignar un identificador único a cada una.

Fuente: Piña (2017).

4.5.2. Agentes del Entorno Propuestos Para MASOES

El entorno está constituido por diversos agentes emocionales y no emocionales, con la finalidad de cumplir diversos roles necesarios para el funcionamiento de la implementación, por esta razón se proponen los siguientes agentes.

4.5.2.1. *Agente Emocional*

En la sección 4.2 se vió el diseño del agente emocional a nivel individual. A continuación se listan los argumentos (opcionales) que pueden ser enviados al agente al momento de ser instanciado en la plataforma:

Tabla 15. Lista de Argumentos Para el Agente Emocional.

Argumento	Descripción
a	Activación: Asigna la activación inicial del agente emocional
s	Satisfacción: Asigna la satisfacción inicial del agente emocional
k	Importar Conocimiento: Permite importar al agente conocimiento desde una cadena de caracteres
kp	Importar Conocimiento Desde Archivo de Texto: Ruta del archivo de texto con el conocimiento sobre los estímulos para el agente

Fuente: Piña (2017).

4.5.2.2. *Agente Notificador*

El Agente Notificador tiene como responsabilidad notificar a todos los agentes de las acciones, objetos o eventos que van aconteciendo en el sistema. Se desarrolló para este trabajo de investigación con el objetivo de comunicar una acción, objeto o evento al resto de agentes del campo de acción.

En la figura 18, se observan las entidades de la ontología propuesta para MASOES, que permiten la interacción con este agente. Cualquier agente puede enviar una notificación de tipo objeto, acción o evento, cuando la acción se haya completado el agente notificador enviará una respuesta tipo *Done*, esta entidad es provista por JADE e indica que la solicitud fue realizada satisfac-

toriamente.

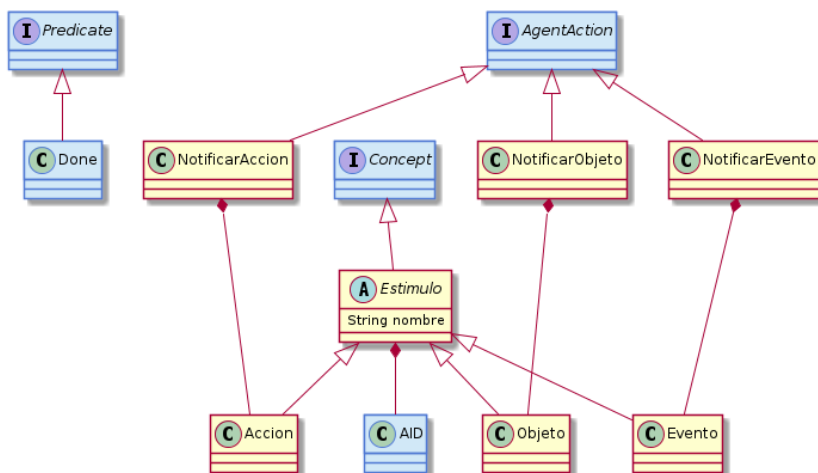


Figura 18. Ontología para MASOES, Acciones de Notificación.

Fuente: Piña (2017).

A través del diagrama de la figura 19, se explica el procedimiento que realiza este agente para comunicar un estímulo. En primer lugar, recibe una petición de acción, luego solicita la lista de agentes emocionales al DF, por último, envía un estímulo a cada agente de la lista y responde con un objeto *Done* al agente emisor.

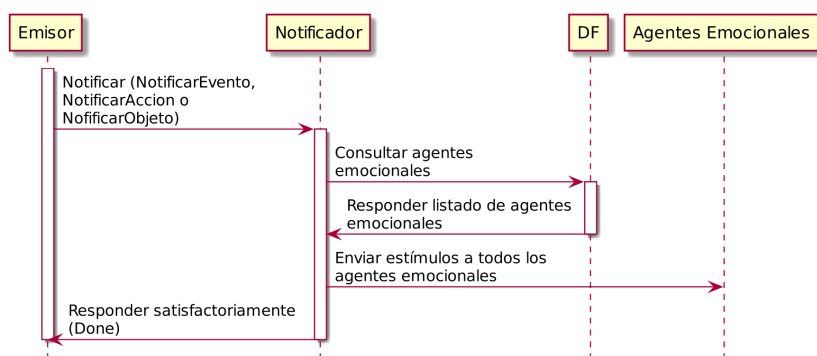


Figura 19. Comunicación con el Agente Notificador.

Fuente: Piña (2017).

4.5.2.3. Agente Para el Cálculo de la Emoción Social

Se propone un agente que encapsula el cálculo de la emoción social propuesta en este trabajo. Se incluyen entidades en la ontología de MASOES que permiten la interacción con otros agentes. Para que un agente pueda conocer la emoción social debe enviar una solicitud de tipo *ConsultarEmocionSocial*, el agente calculador enviará una respuesta de tipo *EmocionSocial* con los valores de la emoción central, dispersión emocional y distancia máxima (ver figura 20).

En el diagrama de la figura 21, se ilustra el procedimiento de comunicación entre agentes, se incluye las entidades ontológicas usadas en dicha comunicación. Este agente debe consultar al DF el listado de agentes emocionales en la plataforma, posteriormente, solicita el estado emocional a cada uno de ellos y procede a calcular la emoción social.

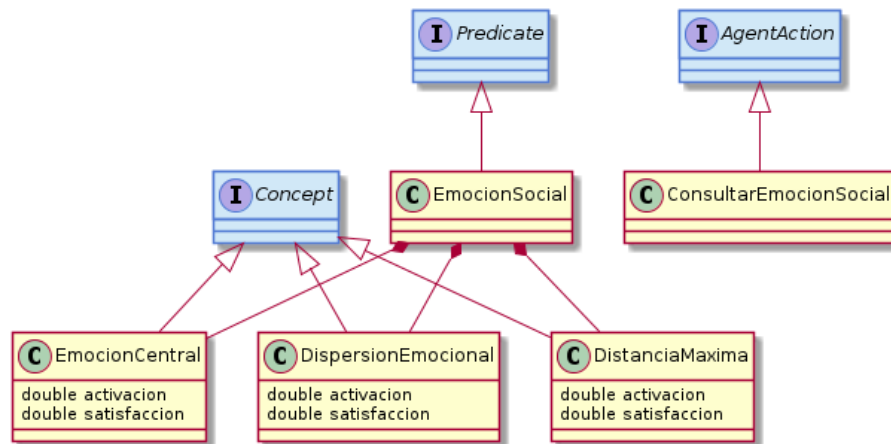


Figura 20. Ontología para MASOES, Acción Consultar Emoción Social.

Fuente: Piña (2017).

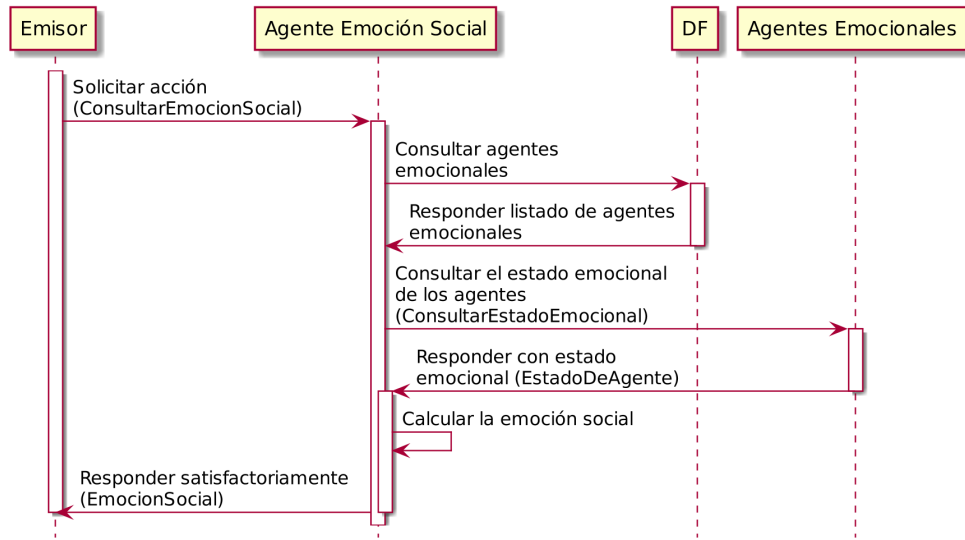


Figura 21. Comunicación con el Agente Calculador de Emoción Social.

Fuente: Piña (2017).

4.5.2.4. *Agente Interfaz: Estado del Agente*

Es posible observar el estado emocional de un agente en tiempo de ejecución a través de la interfaz “Estado del Agente” (ver figura 22). Esta incluye el gráfico del modelo afectivo de MASOES y la información correspondiente al estado emocional. Se debe crear en la plataforma un agente de tipo: `gui.agentstate.AgentStateGuiAgent`, dándole como argumento el nombre del agente el cual se desea observar su estado emocional.

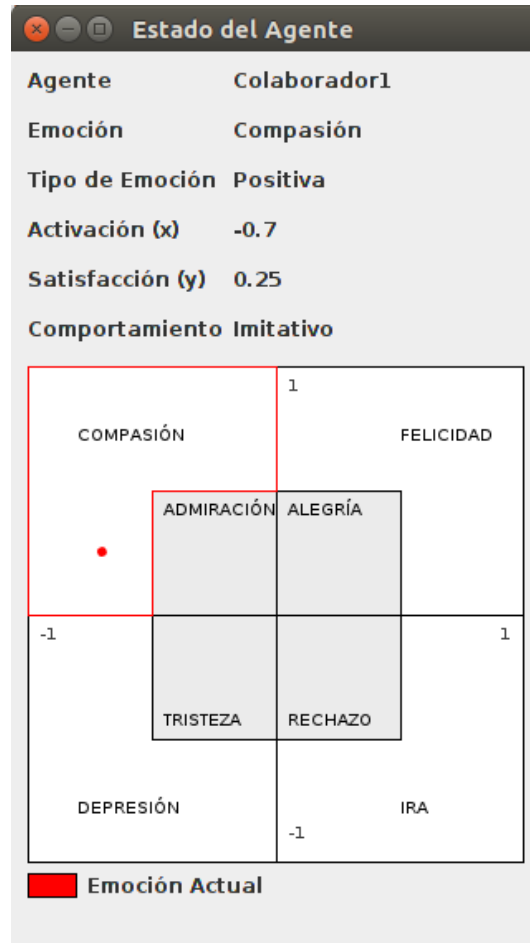


Figura 22. Interfaz Para Observar el Estado Emocional Dado un Agente.

Fuente: Piña (2017).

4.5.2.5. *Agente Interfaz: Emoción Social*

Se proporciona la interfaz “Emoción Social” para poder observar la emoción social actual en tiempo de ejecución (ver figura 23), dicha interfaz se conectara automáticamente con el agente descrito en la sección 4.5.2.3. Esta incluye el gráfico del modelo afectivo de MASOES y la información correspondiente a la emoción social. Se debe instanciar en la plataforma un agente

de tipo: `gui.socialemotion.SocialEmotionGuiAgent`.

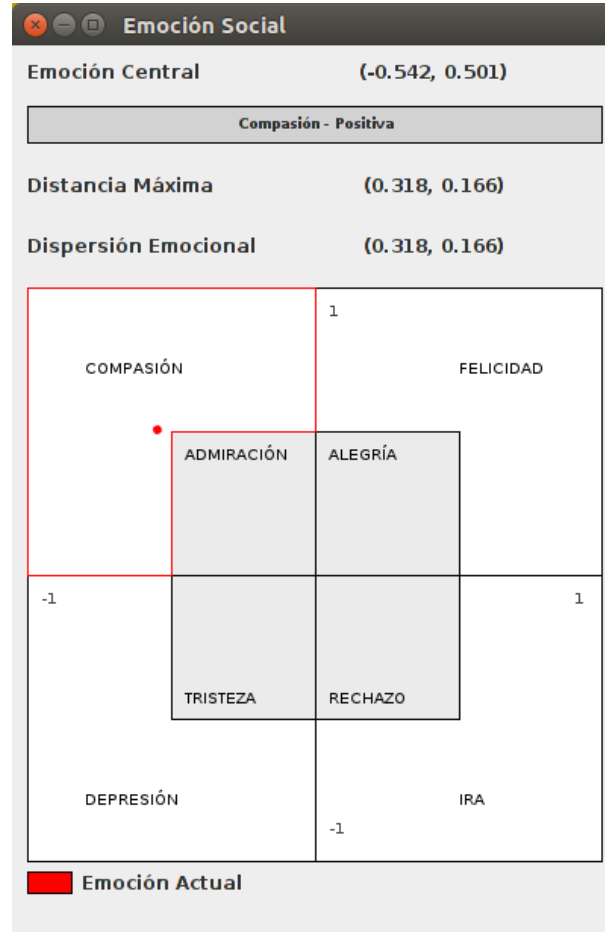


Figura 23. Interfaz Para Observar la Emoción Social del Grupo de Agentes.

Fuente: Piña (2017).

4.5.2.6. *Agente Interfaz: Para el Envío de Mensajes*

En la figura 24 se muestra la ventana para envío de mensajes manualmente, es desarrollada con la finalidad de observar los mensajes que se envían y reciben en una conversación entre dos agentes. Se instancia a través de la clase: `gui.requester.RequesterGuiAgent`.

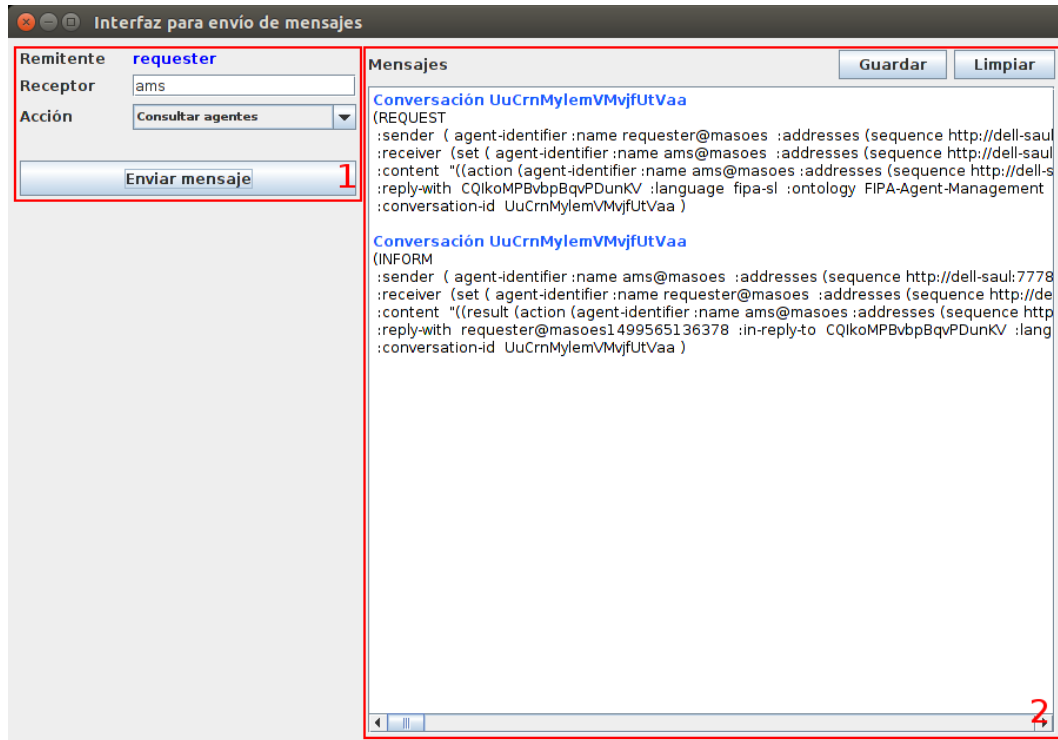


Figura 24. Interfaz Para Envío de Mensajes Manualmente.

Fuente: Piña (2017).

Dicha interfaz se compone de dos secciones:

1. **Acciones:** Permite configurar el mensaje que se enviará, contiene un conjunto de mensajes o acciones preconfiguradas.
2. **Mensajes:** Muestra los mensajes enviados y recibidos, además, proporciona dos botones que permiten guardar los mensajes en un archivo de texto y limpiar la ventana.

4.5.2.7. *Agente Interfaz: Simulador*

La interfaz de usuario denominada simulador (ver figura 25), permite definir los tipos de agentes y estímulos para un determinado caso de estudio, además provee la posibilidad de establecer una configuración inicial para ca-

da agente (como el estado emocional y estímulos asociados a dicho agente) e instancia los agentes en la plataforma.

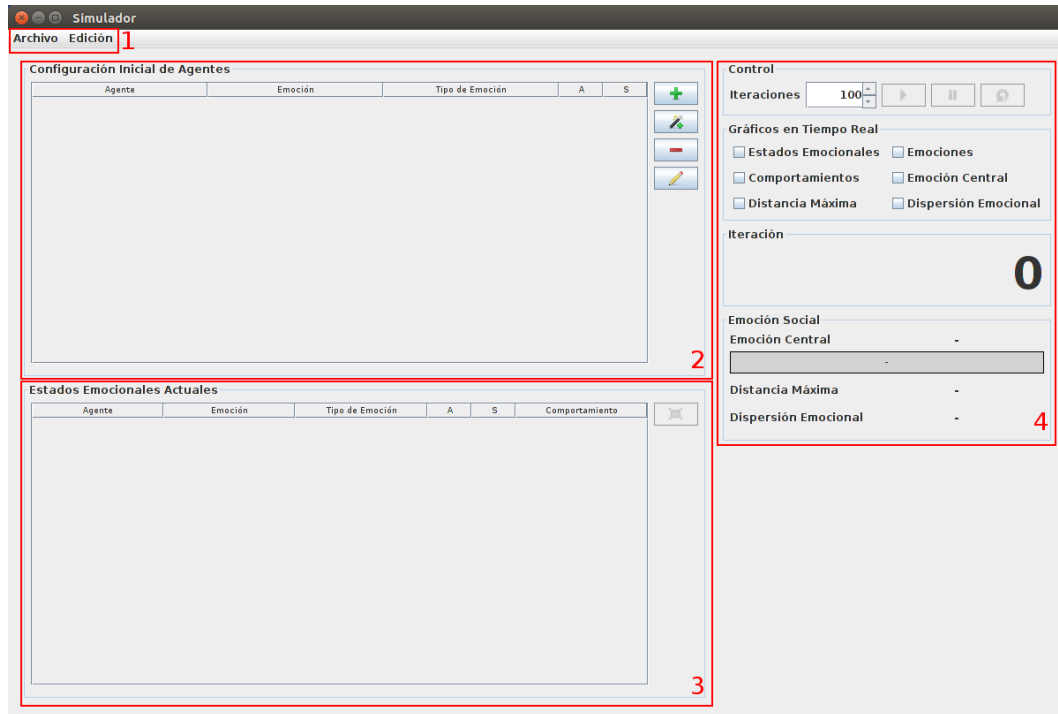


Figura 25. Interfaz Para la Configuración de Simulaciones.

Fuente: Piña (2017).

Las secciones que la componen son:

1. **Barra de Menú:** En el menú *Archivo* se proveen las opciones exportar e importar configuración. A través del menú *Edición* se pueden definir los tipos de agentes y estímulos necesarios para la simulación.
2. **Configuración Inicial de Agentes:** permite establecer los parámetros de cada agente en la simulación.
3. **Estados Emocionales Actuales:** esta tabla muestra los estados emocionales del grupo de agentes en tiempo de ejecución de la simulación.
4. **Información General de la Simulación:** en esta sección se puede controlar la simulación, activar o desactivar gráficos en tiempo real, asig-

nar el número de iteraciones deseados y ver la iteración y la emoción social actual.

4.5.3. *Servicios Expuestos en Agente DF*

Para que los agentes dentro de la plataforma JADE descubran las acciones que pueden llevar a cabo los demás, se publican los siguientes servicios (ver tabla 16). Cada agente al ser creado en JADE notificará sus servicios al DF, es importante destacar que dichos servicios concuerdan con las acciones en la ontología propuesta para MASOES.

Tabla 16. Lista de Servicios Expuestos en el Agente DF para la Ontología Propuesta para MASOES.

Agente	Servicio
Agente Emocional	<i>EvaluarEstimulo</i>
	<i>ConsultarEstadoEmocional</i>
Agente Notificador	<i>NotificarObjeto</i>
	<i>NotificarAccion</i>
	<i>NotificarEvento</i>
Agente Calculador de Emoción Social	<i>ConsultarEmocionSocial</i>

Fuente: Piña (2017).

CAPÍTULO 5

CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se presentan los casos de estudio realizados, a fin de verificar que la implementación del modelo afectivo de MASOES genere correctamente emociones a nivel individual y colectivo. Se utilizaron como base de comparación los resultados obtenidos a nivel de diseño por Perozo y otros (2012), en el caso de estudio Wikipedia.

Wikipedia es una enciclopedia de contenido libre que todos pueden editar. Esta enciclopedia es el resultado de un trabajo colectivo, donde cada artículo es el producto de múltiples contribuciones, que son mejoras y extensiones de un borrador inicial (Perozo, 2011). Es posible gracias al esfuerzo de colaboradores en todo el mundo, que de forma voluntaria contribuyen con artículos y construyen una reputación en la comunidad. La reputación de un colaborador incrementará a medida que realice aportes a la comunidad, y disminuirá cuando dichos aportes sean editados por otros, en otras palabras, un colaborador gana reputación cuando sus aportes son preservados en el tiempo, y pierde reputación cuando su trabajo va desapareciendo debido a las ediciones de otros wikipedistas. Diferentes investigaciones sobre la reputación y confiabilidad en Wikipedia (Anthony y otros, 2009; Javanmardi y otros, 2009; De Alfaro y otros, 2011), concuerdan que no solo los usuarios con mayor reputación son los más propensos a colaborar, sino que también generan contenido de mejor calidad.

En el modelo realizado por Perozo (2011) se expone un conjunto de agentes que cumplen diversos roles y tareas de manera individual o colectiva. Los wikipedistas (agentes) interactúan en un espacio común (entorno web) usando el mismo editor

y obedeciendo el mismo conjunto de reglas. Dicho conjunto de agentes se describen a continuación (ver tabla 17):

Tabla 17. Actores con Algunas de sus Tareas en Wikipedia.

Actor	Descripción	Tareas
Desarrollador	Es un agente implicado en el mantenimiento de los servidores y/o el desarrollo del software de Wikipedia. Además, ellos conceden los privilegios del sistema a los administradores y burócratas.	Crear portales sobre tópicos específicos. Desarrollar código para mejorar MediaWiki. Hacer páginas de documentación o tutoriales. Crear plantillas y algoritmos. Mantener los Servidores. Conceder privilegios a administradores y burócratas. Bloquear y desbloquear IP's. Participar en la votación por candidatos a artículos sobresalientes, país de la semana y administrador.
Burócrata	Es una clase especial de administrador que es capaz de nombrar o eliminar a otros administradores y burócratas. La existencia de los burócratas es para aliviar las tareas de los desarrolladores.	Nombrar y eliminar a otros burócratas y operadores del sistema.
Administrador	Estos agentes poseen las mismas responsabilidades que los agentes burócratas, y son, además, capaces de cambiar el rol de cualquier agente dado. Además, ellos son los últimos árbitros en cualquier conflicto de Wikipedia	Nombrar y eliminar a otros administradores, operadores del sistema y burócratas. Arbitrar en conflictos serios, sobre la gestión de contenido en Wikipedia.
Operador del Sistema o Sysop (<i>"System Operator"</i> , en inglés)	Es un wikipedista que puede acceder a algunas funciones restringidas del software de Wikipedia. Casi todos los poderes de estos administradores son completamente reversibles por cualquier otro sysop (incluyendo la supresión y bloqueo de las direcciones IP) u operador del sistema.	Borrar páginas e imágenes. Ver y recuperar páginas borradas e imágenes. Bloquear y desbloquear IP de usuarios anónimos. Bloquear y desbloquear a usuarios registrados. Proteger o bloquear una página así como las funciones inversas. Editar en páginas protegidas o bloqueadas. Revertir páginas rápidamente. Editar el espacio de nombres de MediaWiki. Mediar conflictos. Cerrar debates para borrado. Combatir el vandalismo. Participar en la votación por candidatos a artículos sobresalientes, país de la semana y operadores del sistema.

Usuario Registrado	Es un agente que ha creado su nombre de usuario con su contraseña. Puede tener una lista con sus contribuciones. También, puede tener una página con información personal, facilitar un correo electrónico de contacto, y tener “una página de discusión” desde donde otros usuarios pueden comentarle cosas o establecer diálogos. Las contribuciones de un usuario registrado son identificadas con su apodo (“ <i>Nickname</i> ”, en inglés) en el archivo histórico de artículos.	Adquirir experiencia en el empleo de técnicas para la sintaxis y edición de artículos. Mantener su página personal. Interactuar recíprocamente con otros usuarios a través de su página de discusión. Personalizar los aspectos de apariencia de la Wikipedia y el ambiente de edición de artículos. Vigilar ciertos artículos (incorporados a su propia lista de seguimiento) para comprobar los cambios introducidos en ellos y participar cuando él lo considere necesario. Transferir un artículo (necesario para fusionar páginas). Editar página de discusión o artículo. Solicitar borrado de artículo. Combatir el vandalismo. Demostrar su buena fe, haciendo contribuciones útiles durante un tiempo. Participar en la votación por candidatos a artículos sobresalientes, país de la semana y operadores del sistema. Verificar derechos de autor.
Usuario “Bot”	Estos agentes son como “robots de software” que funcionan tanto automáticamente como manualmente para hacer tareas repetitivas. Además, son usuarios que han sido creados por cualquier usuario registrado o administrativo en Wikipedia.	Actualizar y mejorar las páginas por tópicos para reducir los enlaces redundantes. Creación de nuevas páginas basadas en información ya desarrollada, y revisión de ortografía.
Usuario Anónimo	Estos agentes no se han registrado en el sistema con un nombre de usuario y una contraseña. Pueden editar casi cualquier artículo o página de discusión pero no tiene algunas funcionalidades. Sus intervenciones son identificadas en el archivo histórico del artículo por su IP de acceso.	Adquirir experiencia en el empleo de técnicas para la sintaxis y edición de artículos. Editar página de discusión o artículo. Solicitar borrado de artículo. Combatir vandalismo. Verificar Derechos de autor.

Fuente: Perozo (2011).

Para llevar a cabo los casos de estudio se selecciona como agente al *Usuario Registrado*, debido a que es el actor que concentra la mayoría de contribuciones en Wikipedia. Además, se proponen los estímulos de la tabla 18, estos se basan en las tareas y responsabilidades que se asocian a la reputación de dicho agente.

A cada estímulo se le asigna un valor de P_a y P_s según el impacto previsto sobre el agente.

Tabla 18. Estímulos Asociados al Usuario Registrado Propuestos para los Casos de Estudio de Wikipedia.

Estímulo	P_a	P_s	Descripción
Aumento de Reputación			
Artículo Nuevo	0.05	0.05	Es un estímulo que desencadena una emoción positiva, debido a que los aportes realizados son valorados por la comunidad, favoreciendo un comportamiento imitativo
Nueva Edición	0.03	0.04	Los agentes que más previenen el vandalismo son los usuarios registrados, las nuevas ediciones en artículos de la comunidad pueden estimular un comportamiento imitativo en este agente para que se mantenga revisando y aportando contribuciones
Artículo Sobresaliente	0.08	0.08	Es un mecanismo para motivar y premiar las contribuciones sobresalientes de los Wikipedistas, por ende este estímulo incrementaría de gran manera la activación y la satisfacción del agente
Decremento de Reputación			
Guerra de Ediciones	-0.08	-0.08	Una Guerra de ediciones es definida por Wikipedia como 3 ediciones de texto por un usuario particular en un artículo dado dentro de 24 horas, entre las ediciones de otros usuarios. Participar en una guerra de ediciones puede hacer que este agente exhiba emociones negativas
Artículo Borrado	-0.06	-0.06	Este estímulo favorece las emociones negativas, ya que, este agente puede experimentar desánimo al sentir que su trabajo ha sido en vano
Artículo Modificado	-0.02	-0.03	Cuando un artículo propuesto es editado por otros puede hacer que este agente experimente una disminución de su satisfacción debido a que su contribución no fue tan buena

Fuente: Piña (2017).

5.1. Caso de Estudio 1: Emociones a Nivel Social

El objetivo para este caso de estudio es verificar la correcta generación de la Emoción Social ($ES(Ag)$) de un grupo de agentes e interpretar los resultados obtenidos sobre la Emoción Central ($EC(Ag)$), Distancia Máxima ($m(Ag)$) y Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$). Para ello se plantean escenarios con baja dispersión emocional (agentes con emociones muy homogéneas) y alta dispersión emocional (agentes con emociones muy heterogéneas).

Los valores obtenidos de la emoción social son muy importantes, ya que, con ellos se puede describir el estado emocional colectivo de un grupo de agentes emocionales. Aunque la emoción central puede dar una idea sobre en que cuadrante del modelo afectivo se conglomeran la mayor cantidad de agentes, son la distancia máxima y la dispersión emocional las que ayudan a determinar realmente la variación entre los diferentes estados emocionales existentes en un grupo de agentes. Es importante resaltar la diferencia entre dispersión emocional y distancia máxima, aunque ambas utilizan la emoción central como base de cálculo, el objetivo de la primera es expresar la variación entre los diferentes estados emocionales presentes en un grupo de agentes y la segunda busca identificar el estado emocional más alejado del grupo.

5.1.1. *Escenario 1: Baja Dispersión Emocional y Bajo Número de Agentes*

Con la finalidad de observar y de verificar el cálculo de la emoción social, se acota la simulación de este escenario a 10 iteraciones y a la instanciación de 3 agentes de tipo Usuario Registrado. Estos agentes son inicializados con la emoción Alegría (ver tabla 19, iteración 0). En cada iteración se selecciona aleatoriamente un estímulo para ser enviado a cada agente. En la tabla 19, se presenta la evolución y el resultado final de la $ES(Ag)$, por cada iteración se muestra el estímulo enviado

a cada uno de los agentes, el estado emocional (Activación “A” y Satisfacción “S”), emoción y comportamiento que dio como resultado. Además, se incluyen por iteración los valores de la Emoción Social (Emoción Central “ $EC(Ag)$ ”, Distancia Máxima “ $m(Ag)$ ” y Dispersión Emocional “ $\sigma(Ag)$ ”).

Para este escenario, se supone que los Usuarios Registrados reciben solo estímulos positivos que pueden aumentar su reputación (ver tabla 18), los usuarios podrían experimentar un alto grado de satisfacción y activación, que se traduciría en emociones positivas individuales (Felicidad), lo que conllevaría a un comportamiento imitativo, de acuerdo al modelo afectivo de MASOES. Con respecto a la emoción social, también se vería afectada de manera positiva a la par con los agentes emocionales, además, según lo propuesto en este trabajo, el cálculo de la dispersión emocional ($\sigma(Ag)$) del grupo de agentes debe ser cercano a cero, debido a que los estados emocionales de estos se encontrarían muy próximos entre sí.

En este caso, la $EC(Ag)$ fue igual a: (0.737, 0.763) que corresponde a la emoción Felicidad (ver figura 26), con una $\sigma(Ag)$ con valores muy cercanos a cero, tanto para la activación como para la satisfacción: (0.077, 0.078), en otras palabras, el grupo de agentes exhibe emociones muy homogéneas. También, la $m(Ag)$ expresa que los estados emocionales de los agentes se encuentran muy cercanos: (0.107, 0.103). Asimismo, la tabla 19 muestra un incremento gradual en la satisfacción y activación de los agentes, pasando de la Alegría a la Felicidad, igualmente para la $EC(Ag)$. Por otra parte, se observa que la dispersión emocional tuvo poca variación (ver figura 27) durante la simulación. Los resultados obtenidos evidencian que para un grupo de agentes con estados emocionales muy cercanos, el cálculo de la $ES(Ag)$ cumple con lo propuesto en este trabajo.

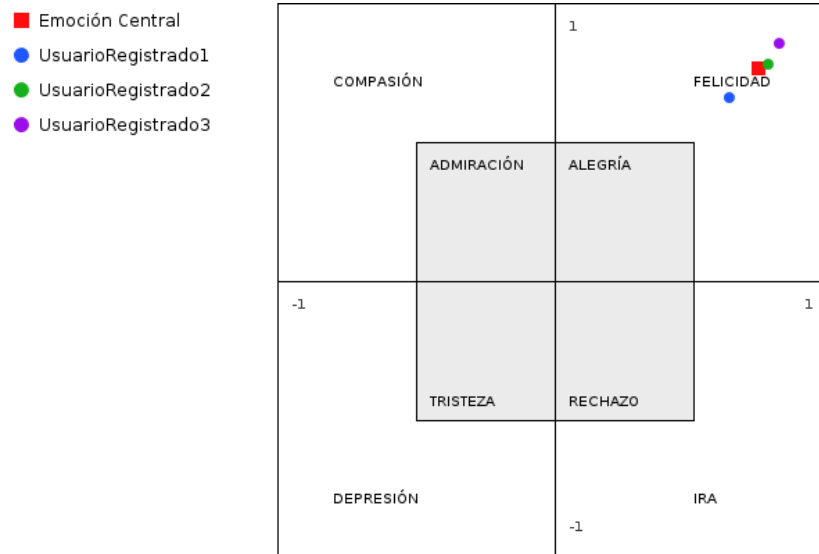


Figura 26. Emoción Central Final ($EC(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 1.

Fuente: Piña (2017).

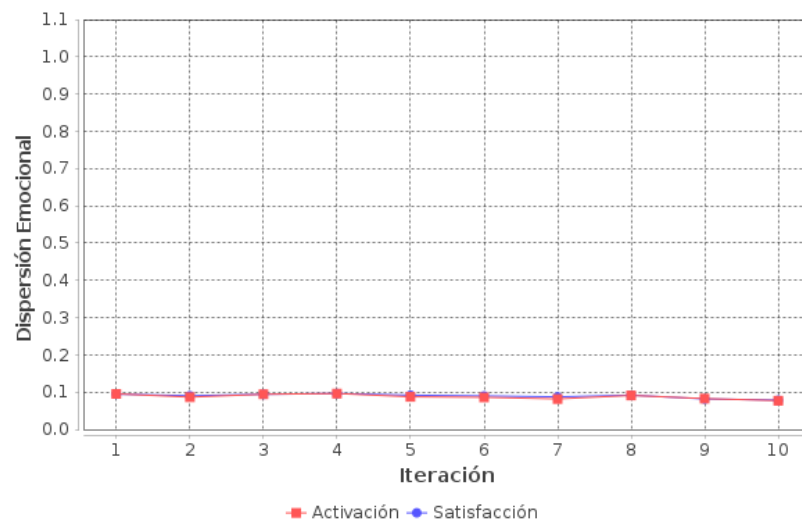


Figura 27. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 1.

Fuente: Piña (2017).

Tabla 19. Evolución de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso de Estudio 1 Escenario 1.

Iteración	Agentes						EC(Ag)			m(Ag)			σ(Ag)		
	Nombre	Estímulo	A	S	Emoción	Comportamiento	A	S	Emoción	A	S	A	S	A	S
0	UsuarioRegistrado1		0.1	0.1	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2		0.2	0.2	Alegría	Imitativo	0.2	0.2	Alegría	0.1	0.1	0.082	0.082	0.082	0.082
	UsuarioRegistrado3		0.3	0.3	Alegría	Imitativo									
1	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.15	0.15	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Nueva Edición	0.23	0.24	Alegría	Imitativo	0.253	0.257	Alegría	0.127	0.123	0.095	0.095	0.095	0.095
	UsuarioRegistrado3	Artículo Sobresaliente	0.38	0.38	Alegría	Imitativo									
2	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.2	0.2	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.28	0.29	Alegría	Imitativo	0.297	0.303	Alegría	0.113	0.117	0.087	0.087	0.087	0.09
	UsuarioRegistrado3	Nueva Edición	0.41	0.42	Alegría	Imitativo									
3	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.23	0.24	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.33	0.34	Alegría	Imitativo	0.34	0.35	Alegría	0.12	0.12	0.094	0.094	0.094	0.094
	UsuarioRegistrado3	Artículo Nuevo	0.46	0.47	Alegría	Imitativo									
4	UsuarioRegistrado1	Artículo Sobresaliente	0.31	0.32	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.38	0.39	Alegría	Imitativo	0.41	0.42	Alegría	0.13	0.13	0.096	0.096	0.096	0.096
	UsuarioRegistrado3	Artículo Sobresaliente	0.54	0.55	Felicidad	Imitativo									
5	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.36	0.37	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.43	0.44	Alegría	Imitativo	0.453	0.467	Alegría	0.117	0.123	0.087	0.087	0.087	0.092
	UsuarioRegistrado3	Nueva Edición	0.57	0.59	Felicidad	Imitativo									
6	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.39	0.41	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Sobresaliente	0.51	0.52	Felicidad	Imitativo	0.5	0.52	Felicidad	0.11	0.11	0.086	0.086	0.086	0.09
	UsuarioRegistrado3	Nueva Edición	0.6	0.63	Felicidad	Imitativo									
7	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.44	0.46	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Sobresaliente	0.59	0.6	Felicidad	Imitativo	0.553	0.577	Felicidad	0.113	0.117	0.082	0.082	0.082	0.087
	UsuarioRegistrado3	Nueva Edición	0.63	0.67	Felicidad	Imitativo									
8	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.47	0.5	Alegría	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.64	0.65	Felicidad	Imitativo	0.597	0.623	Felicidad	0.127	0.123	0.091	0.091	0.091	0.092
	UsuarioRegistrado3	Artículo Nuevo	0.68	0.72	Felicidad	Imitativo									
9	UsuarioRegistrado1	Artículo Sobresaliente	0.55	0.58	Felicidad	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Sobresaliente	0.72	0.73	Felicidad	Imitativo	0.667	0.693	Felicidad	0.117	0.113	0.083	0.083	0.083	0.082
	UsuarioRegistrado3	Artículo Nuevo	0.73	0.77	Felicidad	Imitativo									
10	UsuarioRegistrado1	Artículo Sobresaliente	0.63	0.66	Felicidad	Imitativo									
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	0.77	0.78	Felicidad	Imitativo	0.737	0.763	Felicidad	0.107	0.103	0.077	0.077	0.077	0.078
	UsuarioRegistrado3	Artículo Sobresaliente	0.81	0.85	Felicidad	Imitativo									

Fuente: Piña (2017).

5.1.2. *Escenario 2: Alta Dispersión Emocional y Bajo Número de Agentes*

En este escenario, se supone un grupo con 3 usuarios registrados, el primero de ellos solo recibe estímulos que favorecen la emociones positivas, ya que, incrementan la reputación del mismo, el segundo usuario contribuye a Wikipedia recibiendo diferentes estímulos que propician emociones tanto positivas como negativas, y el último propone y desarrolla contenido, pero recibe rechazo por el aporte realizado (estímulos que favorecen emociones negativas) (ver tabla 18). De acuerdo al modelo afectivo de MASOES, estos agentes exhibirían diferentes emociones, ya que, son expuestos a estímulos que contribuyen a la generación de emociones positivas y negativas, además, según la definición de emoción social propuesta en este trabajo, el grupo de agentes presentaría una dispersión emocional elevada.

Al igual que el escenario anterior, se presenta una tabla (ver tabla 20) que muestra la evolución y el resultado final de la $ES(Ag)$. En esta simulación, se obtuvo como resultado una $EC(Ag)$ igual a: $(-0.07, -0.05)$ que corresponde a la emoción Tristeza (ver figura 28). Con respecto a la $\sigma(Ag)$, se obtuvieron valores alejados de cero, tanto para la activación como para la satisfacción: $(0.49, 0.523)$ (ver figura 29), así como la $m(Ag)$: $(0.61, 0.65)$. De estos resultados se puede interpretar, que el grupo de agentes en cuestión exhibe emociones muy heterogéneas, y que existen estados emocionales muy alejados de la emoción central. Es importante mencionar en la interpretación, que la $EC(Ag)$ representa de una mejor manera al grupo de agentes a medida que la $\sigma(Ag)$ es más cercana a cero. Ciertamente, el objetivo de la $EC(Ag)$ es dar una idea de la tendencia de la emoción que exhibe el grupo de agentes, pero para este caso aunque la $EC(Ag)$ es Tristeza, solo un agente expresa dicha emoción, y se debe a que el grupo tiene una dispersión emocional alejada de cero.

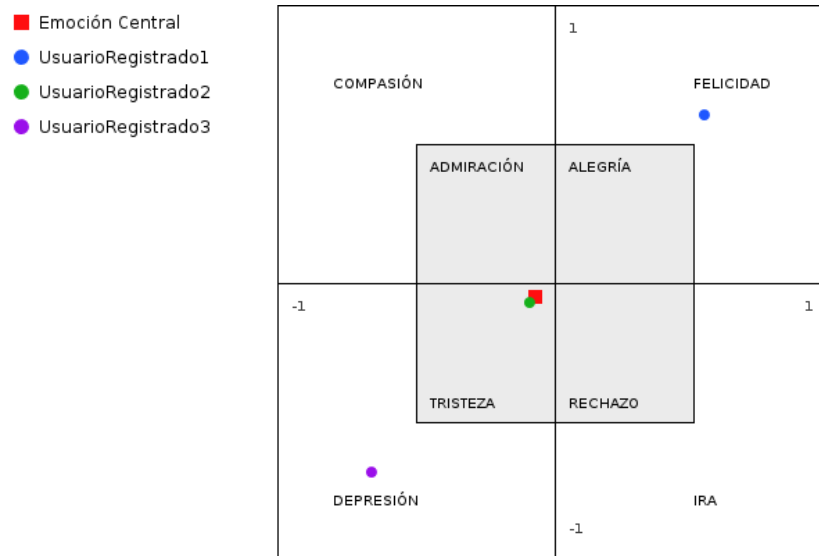


Figura 28. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 2.

Fuente: Piña (2017).

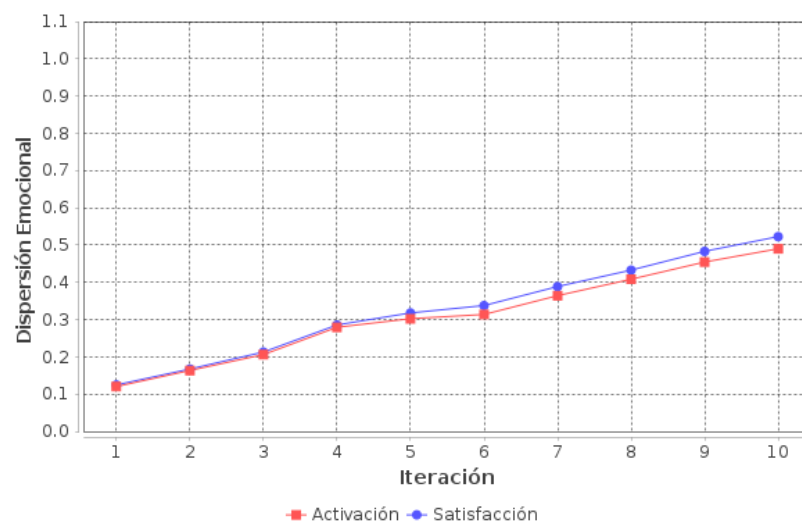


Figura 29. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 2.

Fuente: Piña (2017).

Tabla 20. Evolución de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso de Estudio 1 Escenario 2.

Iteración	Agentes										EC(Ag)			m(Ag)			σ(Ag)		
	Nombre	Estímulo	A	S	Emoción	Comportamiento	A	S	Emoción	A	S	A	S	A	S				
0	UsuarioRegistrado1		0.1	0.1	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2		0	0	Admiración	Imitativo	0	0	Admiración	0.1	0.1	0.082	0.082	0.082	0.082				
	UsuarioRegistrado3		-0.1	-0.1	Tristeza	Cognitivo													
1	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.13	0.14	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Artículo Borrado	-0.06	-0.06	Tristeza	Cognitivo	-0.03	-0.027	Tristeza	0.16	0.167	0.12	0.125	0.125	0.125				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.16	-0.16	Tristeza	Cognitivo													
2	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.18	0.19	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Artículo Nuevo	-0.01	-0.01	Tristeza	Cognitivo	-0.017	-0.013	Tristeza	0.203	0.207	0.163	0.167	0.167	0.167				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.22	-0.22	Tristeza	Cognitivo													
3	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.21	0.23	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Artículo Sobresaliente	0.07	0.07	Alegría	Imitativo	0	0.007	Admiración	0.28	0.287	0.206	0.213	0.213	0.213				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.28	-0.28	Tristeza	Cognitivo													
4	UsuarioRegistrado1	Artículo Sobresaliente	0.29	0.31	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Artículo Sobresaliente	0.15	0.15	Alegría	Imitativo	0.027	0.033	Alegría	0.387	0.393	0.279	0.286	0.286	0.286				
	UsuarioRegistrado3	Guerra de Ediciones	-0.36	-0.36	Tristeza	Cognitivo													
5	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.32	0.35	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Nueva Edición	0.18	0.19	Alegría	Imitativo	0.04	0.05	Alegría	0.42	0.44	0.302	0.318	0.318	0.318				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Modificado	-0.38	-0.39	Tristeza	Cognitivo													
6	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.35	0.39	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Artículo Borrado	0.12	0.13	Alegría	Imitativo	0.023	0.033	Alegría	0.423	0.453	0.314	0.338	0.338	0.338				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Modificado	-0.4	-0.42	Tristeza	Cognitivo													
7	UsuarioRegistrado1	Artículo Sobresaliente	0.43	0.47	Alegría	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Guerra de Ediciones	0.04	0.05	Alegría	Imitativo	0.003	0.013	Alegría	0.463	0.493	0.364	0.389	0.389	0.389				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.46	-0.48	Tristeza	Cognitivo													
8	UsuarioRegistrado1	Artículo Nuevo	0.48	0.52	Felicidad	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Guerra de Ediciones	-0.04	-0.03	Tristeza	Cognitivo	-0.027	-0.017	Tristeza	0.507	0.537	0.408	0.433	0.433	0.433				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.52	-0.54	Depresión	Reactivo													
9	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.51	0.56	Felicidad	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Guerra de Ediciones	-0.12	-0.11	Tristeza	Cognitivo	-0.07	-0.057	Tristeza	0.58	0.617	0.455	0.483	0.483	0.483				
	UsuarioRegistrado3	Guerra de Ediciones	-0.6	-0.62	Depresión	Reactivo													
10	UsuarioRegistrado1	Nueva Edición	0.54	0.6	Felicidad	Imitativo													
	UsuarioRegistrado2	Nueva Edición	-0.09	-0.07	Tristeza	Cognitivo	-0.07	-0.05	Tristeza	0.61	0.65	0.49	0.523	0.523	0.523				
	UsuarioRegistrado3	Artículo Borrado	-0.66	-0.68	Depresión	Reactivo													

Fuente: Piña (2017).

5.1.3. *Escenario 3: Baja Dispersión Emocional y Alto Número de Agentes*

Como MASOES es una arquitectura que permite modelar sistemas emergentes y auto-organizados con alta densidad de agentes, se plantea este escenario con el objetivo de verificar el cálculo de la $ES(Ag)$, con alto número de agentes y baja dispersión emocional. Se configura una simulación con 50 agentes emocionales y 20 iteraciones, e inicializan los estados emocionales de manera aleatoria en todo el modelo afectivo, y no para una sola emoción. En cada iteración se envían intencionalmente para todos los agentes, estímulos que favorecen una emoción positiva (incrementan la reputación de los wikipedistas).

En la tabla 21, se presentan la $ES(Ag)$ inicial y final. Con respecto a los valores iniciales, se observa que la $EC(Ag)$ exhibe Alegría, con $m(Ag)$ y $\sigma(Ag)$ iguales a: (0.98, 1.119) y (0.59, 0.624), respectivamente. De esto se puede interpretar, que el grupo de agentes tiene una alta dispersión emocional (emociones muy heterogéneas) al iniciar la simulación, la figura 30 muestra una representación gráfica del estado inicial. Los valores finales obtenidos muestran una disminución en la dispersión emocional, se obtuvo una $EC(Ag)$ igual a Felicidad: (0.764, 0.829) (ver figura 31), con $m(Ag)$ igual a: (0.697, 0.755) y una $\sigma(Ag)$ de (0.305, 0.293). Es importante resaltar, que para realizar una interpretación adecuada de la $ES(Ag)$, es necesario analizar sus componentes ($EC(Ag)$, $m(Ag)$ y $\sigma(Ag)$), sobre todo la $\sigma(Ag)$. Para este caso, aunque la $EC(Ag)$ inicial fue Alegría, pocos agentes mostraban dicha emoción, pero al finalizar la simulación, la mayoría de los agentes si exhibían Felicidad tal como la $EC(Ag)$, y se debe a una disminución en la $\sigma(Ag)$, en otras palabras, los estados emocionales de los agentes se aproximaron, esto puede ser apreciado en figura 32. Los valores resultantes develan la importancia que representa la $\sigma(Ag)$ para la propuesta de $ES(Ag)$ presentada en este trabajo.

Otro aspecto interesante en la simulación, es que en los estados emocionales finales algunos de los agentes tuvieron una activación o satisfacción igual a 1, esto

se debe a que solo recibieron estímulos que propician emociones positivas y sus estados emocionales llegaron al límite del modelo afectivo.

Tabla 21. Valor Inicial y Final de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso 1 Escenario 3.

	$EC(Ag)$		$m(Ag)$	$\sigma(Ag)$
Inicial	(0.001, 0.125)	Alegría	(0.98, 1.119)	(0.59, 0.624)
Final	(0.764, 0.829)	Felicidad	(0.697, 0.755)	(0.305, 0.293)

Fuente: Piña (2017).

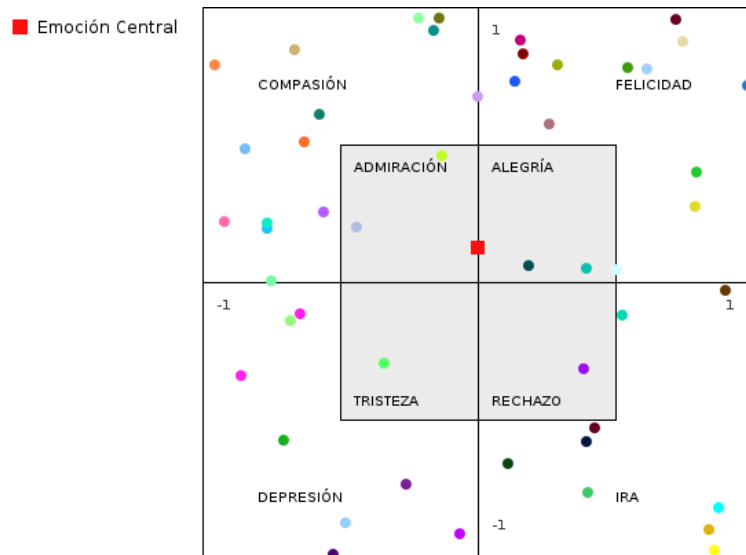


Figura 30. Emoción Central Inicial, Caso de Estudio 1 Escenario 3.

Fuente: Piña (2017).

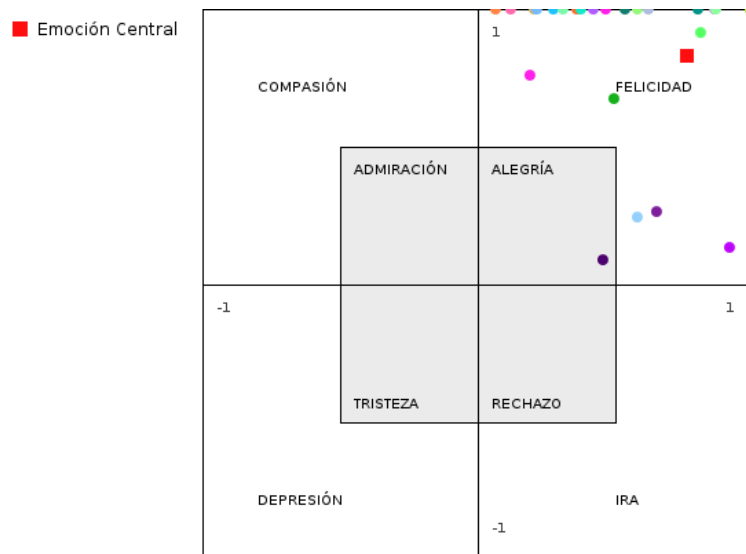


Figura 31. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 3.
Fuente: Piña (2017).

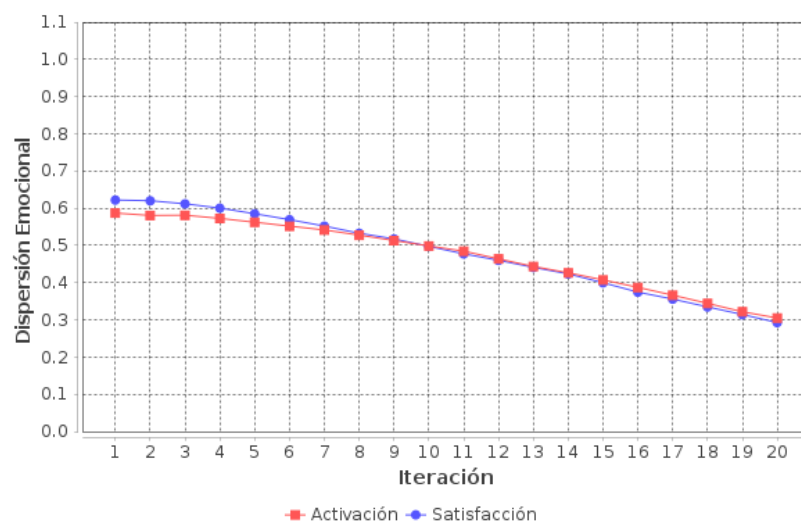


Figura 32. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 3.
Fuente: Piña (2017).

5.1.4. *Escenario 4: Alta Dispersión Emocional y Alto Número de Agentes*

Siguiendo la misma idea que el escenario anterior, para este se configura una simulación con 50 agentes emocionales y 20 iteraciones, e inicializan los estados emocionales de manera aleatoria en todo el modelo afectivo, no obstante, se envían estímulos que incrementan la reputación al 50 % de los wikipedistas (25 agentes) y estímulos que decrementan la reputación al otro 50 %, con el objetivo de verificar la generación de la $ES(Ag)$ en un grupo con alto número de agentes y alta $\sigma(Ag)$.

Los resultados obtenidos (ver tabla 22), muestran que la $EC(Ag)$ se modificó ligeramente pasando de (-0.138, -0.142) a (-0.076, -0.067), manteniéndose en Tristeza, lo interesante en este escenario es el resultado obtenido en la $\sigma(Ag)$, como se muestra en la figura 35, se incrementó tanto para la activación como para la satisfacción, debido a que los estados emocionales se fueron distanciando (muy heterogéneos), aun así la $EC(Ag)$ se mantuvo en Tristeza. Una de las conclusiones para esto, es que el número de agentes no influye en el resultado de la $EC(Ag)$, más la $\sigma(Ag)$ si es un factor importante a tomar en cuenta a la hora de hacer una interpretación. Además, se puede observar en la figura 33 como los estados emocionales de los agentes se distribuyen por todo el modelo afectivo al iniciar la simulación, y al finalizarla los agentes se concentraron en los cuadrantes 1 (Alegría y Felicidad) y 4 (Tristeza y Depresión) como se muestra en la figura 34, es decir, dos grupos. Esto abre una oportunidad de investigación futura, en la que se puedan generar más de una $ES(Ag)$ dependiendo del número de agrupaciones de estados emocionales exhibidos.

De igual manera que el escenario anterior, para algunos de los agentes se obtuvo una activación o satisfacción igual a 1 o -1 en el resultado final, esto se debe a que solo recibieron un tipo de estímulos, que incrementa o decrementa la reputación, y los estados emocionales llegaron al valor mínimo o máximo permitido según el modelo afectivo de MASOES.

Tabla 22. Valor Inicial y Final de la Emoción Social del Grupo de Agentes (Ag), Caso 1 Escenario 4.

	$EC(Ag)$		$m(Ag)$	$\sigma(Ag)$
Inicial	(-0.138, -0.142)	Tristeza	(1.051, 1.115)	(0.598, 0.652)
Final	(-0.076, -0.067)	Tristeza	(1.076, 1.067)	(0.831, 0.743)

Fuente: Piña (2017).

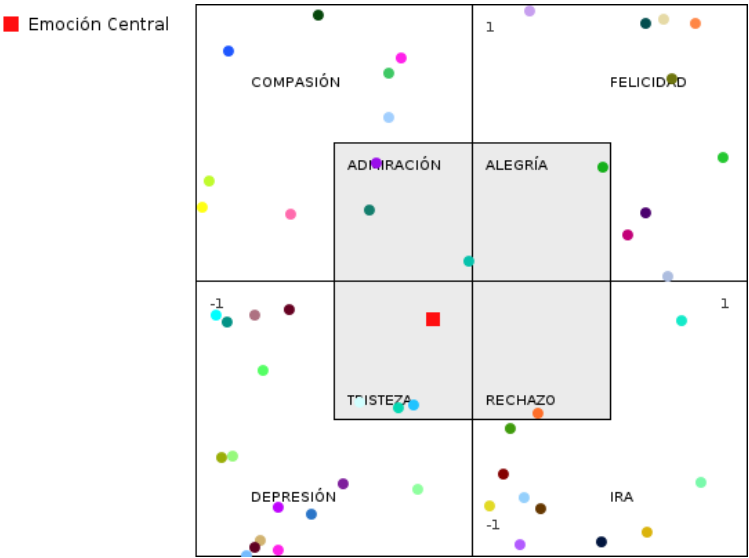


Figura 33. Emoción Central Inicial, Caso de Estudio 1 Escenario 4.

Fuente: Piña (2017).

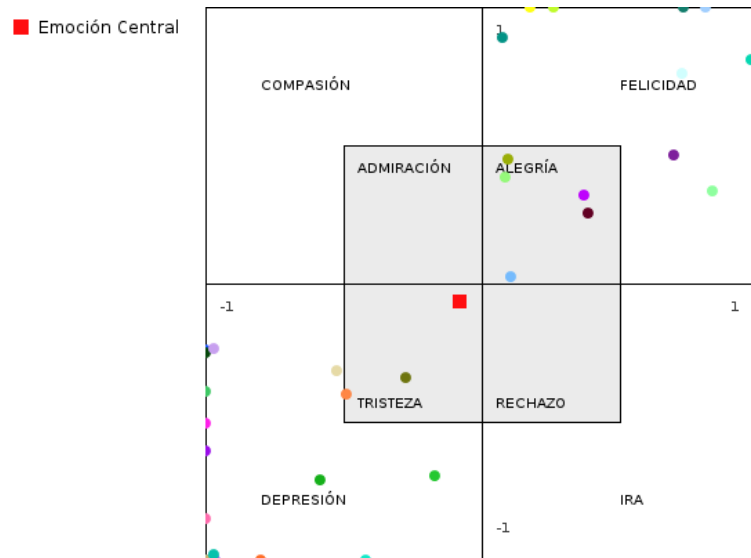


Figura 34. Emoción Central Final, Caso de Estudio 1 Escenario 4.

Fuente: Piña (2017).

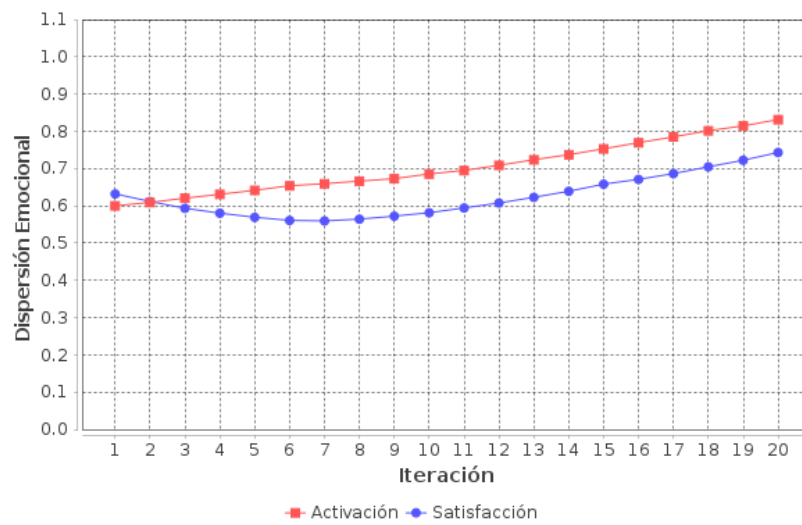


Figura 35. Evolución de la Dispersión Emocional ($\sigma(Ag)$), Caso de Estudio 1 Escenario 4.

Fuente: Piña (2017).

5.2. Caso de Estudio 2: Emociones a Nivel Individual

El objetivo de este caso de estudio es verificar que el modelo afectivo propuesto en MASOES a nivel de implementación, genere correctamente emociones positivas y negativas individualmente en los agentes emocionales. A través de dos escenarios atómicos, se generarán emociones y se comparará los resultados con los obtenidos a nivel de diseño en Perozo y otros (2012). Para esto se realiza una simulación en ambos escenarios con un agente de tipo Usuario Registrado y 20 iteraciones.

5.2.1. *Escenario 1: Grado de Satisfacción Alto y Activación Alto, Medio y Bajo*

Para este escenario, un colaborador propone y desarrolla un contenido, recibiendo un incremento de reputación por la calidad del aporte realizado. Este usuario podría experimentar un alto grado de satisfacción y activación, que se traduciría en emociones positivas individuales, lo que conllevaría a un comportamiento imitativo para tratar de repetir esta experiencia, de acuerdo al modelo afectivo de MASOES. Esto se debe a que según el espacio afectivo definido (ver figura 4), al permanecer alto el grado de satisfacción del agente y variar el grado de activación, se siguen promoviendo las emociones positivas, bien sean individuales o sociales (cuadrantes 1 y 2 del espacio afectivo bidimensional). Por lo dicho anteriormente, se seleccionan solo estímulos que incrementan la reputación del agente (ver tabla 18). Se inicializa el agente con un satisfacción igual a 1, ya que, se tiene como objetivo observar la evolución del estado emocional siendo afectado únicamente por la activación, y se asigna una activación baja de -0.6, estos valores corresponden a la emoción Compasión.

Sobre los resultados, en la figura 36 se observa que aunque la satisfacción se mantiene constante, la activación se incrementó. A su vez, en la figura 37, se refleja que la emoción asociada al estado actual del agente fue modificándose a

medida que la activación iba en incremento, pasando de compasión a felicidad y la figura 38, muestra que el agente se mantuvo con un comportamiento imitativo.

Los resultados obtenidos permiten verificar que la implementación cumple con lo elaborado a nivel de diseño (Perozo y otros, 2012), al permanecer alto el grado de satisfacción del agente y variar el grado de activación, se siguen promoviendo las emociones positivas, bien sean individuales o sociales. En otras palabras, a pesar de variar el grado de activación y producir emociones menos o más intensas, el agente mantuvo su comportamiento imitativo.

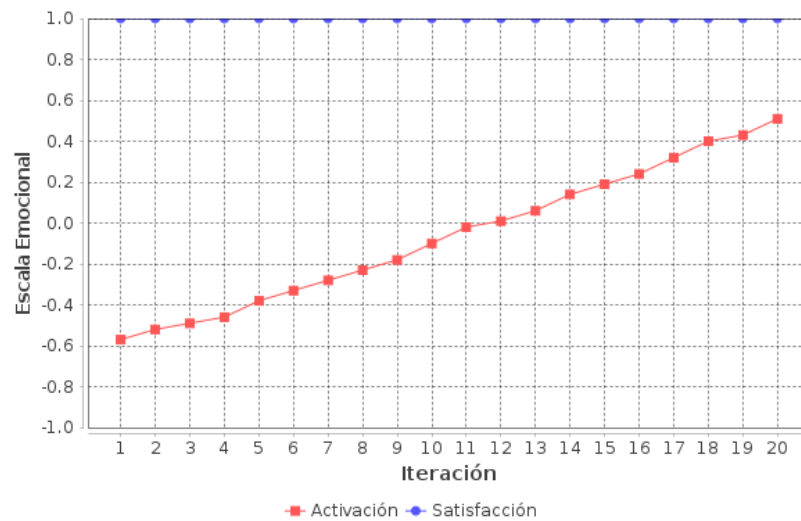


Figura 36. Variación del Estado Emocional del Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1.

Fuente: Piña (2017).

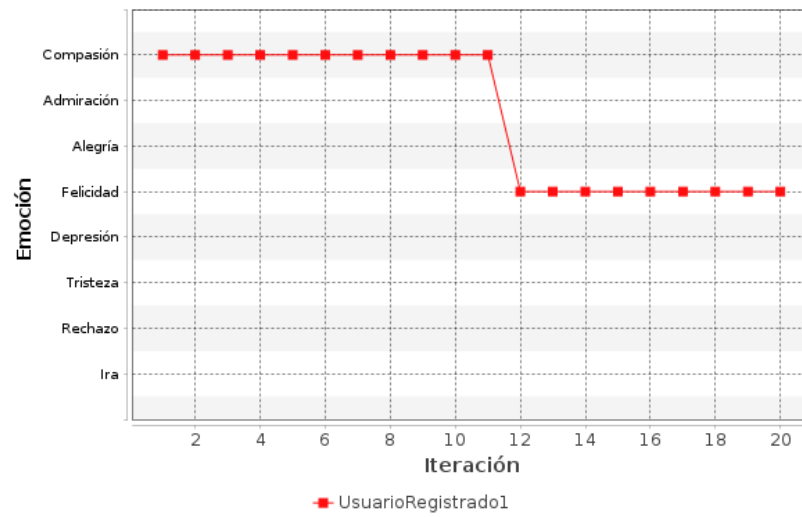


Figura 37. Variación de la Emoción Exhibida por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1.
Fuente: Piña (2017).

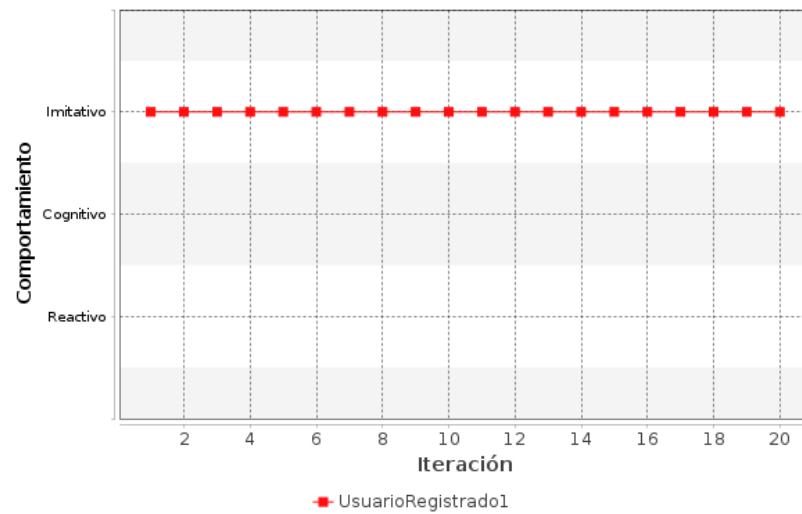


Figura 38. Variación del Comportamiento Exhibido por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 1.
Fuente: Piña (2017).

5.2.2. *Escenario 2: Grado de Satisfacción y Activación Medio y Bajo*

A diferencia de lo anterior, en este escenario un usuario registrado propone y desarrolla un contenido, el cual amerita modificaciones por la comunidad, recibiendo un decremento de reputación por el aporte realizado. Este usuario podría experimentar disminución del grado de satisfacción y activación, provocándole emociones negativas y activando un comportamiento cognitivo o reactivo. Se seleccionan solo estímulos que decrementan la reputación del agente (ver tabla 18). El agente es inicializado en la emoción Alegría con una activación de 0.5 y satisfacción 0.3.

Con respecto a los resultados, en la figura 39, se puede observar la disminución en la activación y satisfacción del estado emocional del agente. Los resultados reflejan que el agente varió su emoción pasando de alegría a rechazo, tristeza y depresión (ver figura 40). Así mismo, la figura 41 muestra la variación de comportamientos del agente, el cual inició con comportamiento imitativo pero fue actualizado a un comportamiento de tipo cognitivo y posteriormente uno reactivo. Estos valores concuerdan con los escenarios 2 y 3 expuestos en Perozo y otros (2012), la disminución de reputación en el agente afectará tanto la activación como la satisfacción de su estado emocional, provocándole emociones negativas y activando un comportamiento reactivo o cognitivo.

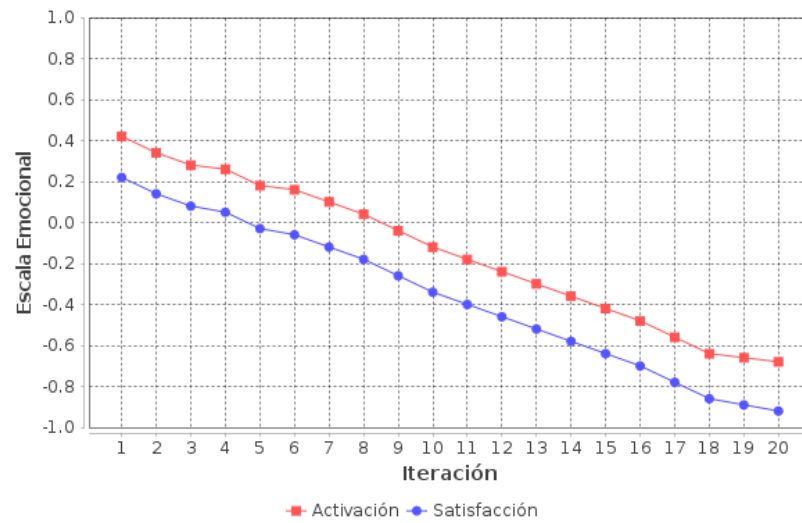


Figura 39. Variación del Estado Emocional del Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 2.
Fuente: Piña (2017).

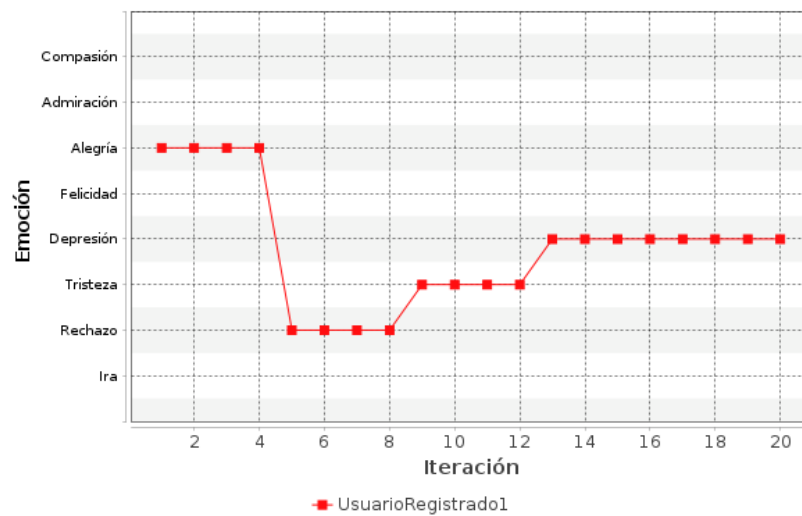


Figura 40. Variación de la Emoción Exhibida por el Agente, Caso de Estudio 2 Escenario 2.
Fuente: Piña (2017).

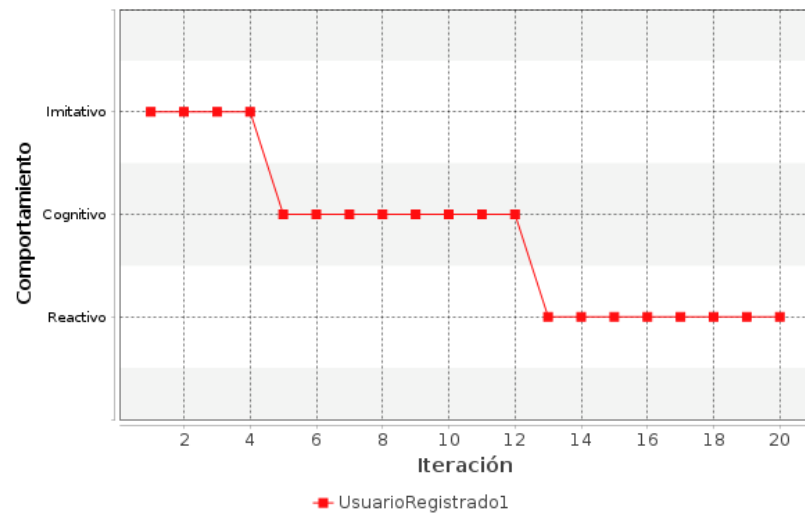


Figura 41. Variación del Comportamiento Exhibido por el Agente, Caso de Estudio 2
Escenario 2.

Fuente: Piña (2017).

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La arquitectura multiagente MASOES permite modelar un sistema emergente y auto-organizado. Esta arquitectura describe los elementos y relaciones, a nivel individual y colectivo, que determinan los fenómenos de emergencia y auto-organización en un sistema. En este trabajo se abordó la implementación del modelo afectivo propuesto en MASOES, y por ende su componente conductual, el cual permite generar cambios dinámicos de comportamientos en los agentes emocionales, guiados por su estado emocional. Adicionalmente, se propone el cálculo de la Emoción Social de un grupo de agentes, que se compone por un conjunto de tres valores: la Emoción Central, que determina la emoción que tienden a exhibir los agentes; la Distancia Máxima, determina los estados emocionales más alejados del grupo; y la Dispersión Emocional, que define la variación de estados emocionales del grupo, es decir, dicta si los estados emocionales son homogéneos o heterogéneos.

A fin de verificar que la implementación del modelo afectivo genere correctamente emociones a nivel individual y colectivo y que la priorización de los tipos de comportamiento sea acorde a las reglas de MASOES, se desarrollaron casos de estudio basados en lo modelado por Perozo y otros (2012) sobre el sistema colaborativo Wikipedia. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación cumple con lo especificado en MASOES, tanto a nivel individual como colectivo. Uno de los hallazgos interesantes es la importancia que tiene la dispersión emocional sobre la interpretación de la emoción central, esto se debe, a que expresa cuan representativa es la emoción central frente a un grupo de agentes. Se pudo

comprobar que la emoción central es más válida a medida que la dispersión emocional es más cercana a cero, ya que se trata de un conjunto de agentes que tienen emociones muy parecidas (homogéneas). También, se observó que el número de agentes no influye directamente en el resultado e interpretación de la emoción central, en otras palabras, si un grupo de agentes es pequeño los resultados de la emoción central se comportarán de la misma forma que en un grupo de agentes grande. A nivel individual, se pudo observar que los agentes generan emociones y priorizan los comportamientos correctamente, esto se hizo a través de la comparación de los resultados con los obtenidos a nivel de diseño (Perozo y otros, 2012), los cuales concuerdan inequívocamente.

Con respecto a los aportes, este trabajo de investigación no solo provee una implementación del modelo afectivo de MASOES, sino que también, proporciona un marco de trabajo el cual se puede seguir extendiendo, para simular cualquier tipo de sistema emergente y auto-organizado modelado con MASOES. Por otro lado, se construyeron diferentes utilitarios de código que permiten, entre otras cosas, controlar la plataforma JADE, comunicar agentes, realizar pruebas funcionales y trabajar con el lenguaje *Prolog*, también, se incluyeron interfaces gráficas que sirven para el monitoreo de agentes, o para la configuración de simulaciones. Es importante destacar que dichas interfaces pueden ser modificadas, para adaptarse a diferentes dominios y sistemas. La interfaz de configuración de simulación permite observar gráficos en tiempo real acerca de la emoción social y los estados emocionales individuales de cada agente, además, incluye la generación de resultados a través de archivos de texto. Se desarrolló un agente que calcula la emoción social. Este cálculo se basa en el promedio de los estados emocionales de un grupo de agentes y la desviación estándar de dicho promedio. La emoción social es de gran importancia, ya que describe la tendencia de los estados emocionales de un grupo de agentes, y los agentes emocionales podrían utilizarla como herramienta para cumplir sus objetivos colectivos.

Otro de los aportes más relevantes de este trabajo, es el diseño de una ontolo-

gía de comunicación para MASOES, específicamente para agentes estandarizados FIPA, con ella es posible comunicar los agentes emocionales entre sí o con otros tipos de agentes, además, es posible una comunicación entre diferentes plataformas, es decir, los agentes escritos en lenguaje *Java* pueden comunicarse con agentes programados en lenguajes diferentes.

Otro aporte interesante, es la implementación y diseño de la Base de Conocimiento Conductual, esta fue desarrollada con el lenguaje de programación *Prolog*, ampliamente utilizado por su versatilidad y facilidad de uso, para esto se propuso una manera estándar de definir el conocimiento asociado al agente, a los tipos de emociones, a la priorización de comportamiento y a los estímulos, este último de gran importancia para los agentes emocionales, ya que estos pueden y deben registrar como afectan los estímulos a su estado emocional. En cada estímulo se deben establecer los parámetros que definen el incremento de la activación y satisfacción del estado emocional del agente. A su vez, se propone un algoritmo para la actualización del estado emocional del agente de manera incremental.

Es importante destacar, que la implementación se llevó a cabo tomando en cuenta los estándares FIPA, lo que permite la interoperabilidad de los agentes emocionales con cualquier otro agente FIPA, esto hace que sea estándar y fácil de extender por otros.

Como trabajo futuro, se podría implementar otros componentes individuales de la arquitectura de MASOES, como son, los componentes Cognitivo, Reactivo y Social, y componentes colectivos como la Base de Conocimiento Colectivo, todo esto con la finalidad de completar la implementación de esta arquitectura y ser usada para modelar e instanciar un sistema colectivo emergente y auto-organizado de software. Asimismo, se puede destacar que el componente conductual presentado en este trabajo, es susceptible a modificaciones y mejoras, como por ejemplo: se podría mejorar el diseño de clases, o utilizar un lenguaje lógico diferente de *Prolog* para construir la Base de Conocimiento Conductual, o también, incluir más conocimiento en dicha base. Otra oportunidad de investigación, es proponer un

cálculo de emoción social, que pueda dar como resultado más de una emoción central, esto, basado en las agrupaciones de estados emocionales que puedan emerger en el grupo de agentes, ya que como se vio, la interpretación de la emoción central propuesta en este trabajo está sujeta al resultado de la dispersión emocional y en menor manera a la distancia máxima.

Por otra parte, sería interesante probar la implementación propuesta en este trabajo en diferentes host, en otras palabras, que los agentes no se instancien localmente, sino que se instancien y comuniquen en una red, lo cual sería útil en áreas como la robótica, donde cada agente emocional sea un robot, y este modifique su comportamiento según su estado emocional, para esta propuesta se recomienda implementar previamente al menos los componentes Cognitivo y Reactivo de MASOES.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthony, D., Smith, S. W., & Williamson, T. (2009). Reputation and reliability in collective goods the case of the online encyclopedia wikipedia. *Rationality and Society*, 21(3), 283–306.
- Ashton, K. (2009). That “internet of things” thing. *RFiD Journal*, 22(7), 97–114.
- Balaji, P. & Srinivasan, D. (2010). An introduction to multi-agent systems. En *Innovations in multi-agent systems and applications* (pp. 1–27). Springer.
- Bellifemine, F. L., Caire, G., & Greenwood, D. (2007). *Developing multi-agent systems with JADE*. John Wiley & Sons.
- Bond, A. & Gasser, L. (1989). *Readings in distributed artificial intelligence*. California, USA: Morgan Kaufmann.
- Causa, E. & Sosa, A. (2008). La computación afectiva y el arte interactivo. *Revista de Investigación Multimedia*, 2(2), 52–60.
- Cuevas, J. (2015). Emociones: calculemos. las promesas de la computación afectiva. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Filosofía, Madrid, España.
- Dastani, M., Floor, C., & Meyer, J.-J. C. (2014). Programming agents with emotions. En *Emotion Modeling* (pp. 57–75). Springer.
- De Alfaro, L., Kulshreshtha, A., Pye, I., & Adler, B. T. (2011). Reputation systems for open collaboration. *Communications of the ACM*, 54(8), 81–87.
- 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.
- FIPA (2000). Fipa request interaction protocol specification, sc00026h. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPARquestProtocol>. (Consulta: Mayo, 2017).
- FIPA (2001). Fipa ontology service specification, xc00086d. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPA0ntology>. (Consulta: Mayo, 2017).
- FIPA (2002a). Fipa acl message structure specification, sc00061g. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPA-ACL>. (Consulta: Mayo, 2017).

- FIPA (2002b). Fipa agent management specification, sc00023k. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPAAgentManagement>. (Consulta: Mayo, 2017).
- FIPA (2002c). Fipa communicative act specification, sc00037j. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPACommunicativeAct>. (Consulta: Mayo, 2017).
- FIPA (2002d). Fipa sl content language specification, sc00008i. *Foundation for Intelligent Physical Agents*. Disponible en: <http://bit.ly/FIPASemanticLanguage>. (Consulta: Mayo, 2017).
- 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)* (pp. 41–47).: The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Javanmardi, S., Ganjisaffar, Y., Lopes, C., & Baldi, P. (2009). User contribution and trust in wikipedia. En *5th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing* (pp. 1–6).: IEEE.
- Jennings, N., 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., & Huhns, M. (2007). EBDI: an architecture for emotional agents. En *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems* (pp. 38–40).: 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. (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. (1995). *Affective computing*. Cambridge, USA: MIT Press.
- Rincon, J., Julian, V., & Carrascosa, C. (2015). Social emotional model. En *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Sustainability: The PAAMS Collection* (pp. 199–210). Springer.
- Rodríguez, L. & Ramos, F. (2015). Computational models of emotions for autonomous agents: major challenges. *Artificial Intelligence Review*, 43(3), 437–465.
- Russell, S. & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Schweitzer, F. & Farmer, J. (2007). *Brownian agents and active particles: collective dynamics in the natural and social sciences*. Berlin, Alemania: Springer Science & Business Media.
- Shoham, Y. (1993). Agent-oriented programming. *Artificial intelligence*, 60(1), 51–92.
- 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.