



Artículo de investigación

Verificación de la implementación del modelo afectivo para MASOES: Casos de estudios

Verifying implementation of MASOES affective model: Case studies

Saúl Jabín Piña Alvarado^a, Niriaska Perozo Guédez^a

^aUniversidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Recibido: 01-05-2018

Aceptado: 27-07-2018

Resumen

La computación afectiva es una disciplina de la inteligencia artificial que intenta desarrollar métodos computacionales orientados a reconocer emociones humanas y generar emociones sintéticas. Incorporar emociones a agentes inteligentes puede ser ventajoso en diferentes áreas, las emociones pueden hacer a los agentes más creíbles para que puedan desempeñar un mejor papel en diversos sistemas interactivos que involucren simulación, además, desempeñan un rol funcional en sistemas complejos, regulando las interacciones entre los agentes. Diferentes autores buscan mejorar la interacción entre agentes inteligentes en sistemas multiagente, un ejemplo es el modelo afectivo de MASOES, que a través de la generación de emociones promueve diferentes tipos de comportamientos. Aunque este modelo afectivo ya ha sido verificado formalmente a nivel de diseño, no ha sido verificado a nivel de implementación. En este trabajo se presenta la verificación a nivel individual y colectivo de una implementación realizada para el modelo afectivo de MASOES sobre un sistema multiagente.

Palabras clave: sistemas multiagente, computación emocional, modelo afectivo, interacción emocional, MASOES.

Código UNESCO: 120304- Inteligencia Artificial

Abstract

Affective computing is a discipline of artificial intelligence that attempts to develop computational methods to recognize human emotions and generate synthetic emotions. Incorporating emotions into intelligent agents can be advantageous in different areas; emotions can make agents more credible so they can play a better role in various interactive systems to simulation level. Emotions would also play a functional role in complex systems, regulating interactions among agents. Different authors are trying to improve the interaction among intelligent agents in multiagent systems; an example is the MASOES affective model, which through the generation of emotions promotes different behaviors patterns. Although this affective model has already been formally verified at the design level, its verification is still a pending action. In this paper, we are presenting the MASOES affective model on a multiagent system, which has been verified in both, individual and collaborative mode.

Key words: multiagent system, affective computing, affective model, emotional interaction, MASOES.

UNESCO Code: 120304- Artificial intelligence

1. Introducción

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 [1]. Hay muchas razones para incorporar las emociones a agentes inteligentes [2], las emociones hacen a los agentes más atractivos y creíbles para que puedan desempeñar un mejor papel en diversos sistemas interactivos que involucren simulación [3], además, juegan un papel funcional en el comportamiento, particularmente en sistemas sociales complejos, las emociones pueden modificar el comportamiento 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. También, las emociones influyen en los procesos de supervivencia del agente, evitando situaciones riesgosas o que no cumplan con sus objetivos.

Diferentes autores estudian modelos emocionales en sistemas multiagente, con el objetivo de mejorar la interacción de los agentes y ayudar a la auto-organización y emergencia en dichos sistemas. Un ejemplo es el modelo afectivo de MASOES (Multiagent Architecture for Self-Organizing and Emergent Systems, por sus siglas en inglés) [4], 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).

El modelo afectivo para MASOES ha sido verificado a nivel de diseño [4, 5], además, ha sido implementado en [6, 7, 8]. Entre los aspectos más relevantes de la implementación se destacan: proporciona un marco de trabajo el cual seguir extendiendo para simular cualquier tipo de sistema emergente y auto-organizado modelado con MASOES; incluye diferentes utilitarios de código que permiten, entre otras cosas, controlar la plataforma y comunicar agentes; se desarrollaron interfaces gráficas que sirven para el monitoreo de agentes y sus estados emocionales en tiempo real o para la configuración de simulaciones; se propuso e implementó el cálculo de la emoción social del conjunto de agentes. En el presente trabajo se presenta metodológicamente la verificación de la implementación realizada para el modelo afectivo de MASOES sobre un sistema multiagente.

2. Desarrollo

2.1. MASOES

La arquitectura multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados llamada MASOES, 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 los objetivos del sistema a través de la auto-organización de sus actividades. Ver más detalles en [4, 9?].

2.2. Componente conductual de MASOES

Es el Componente Conductual de la arquitectura de MASOES el que favorece la adaptación de un agente con su entorno, ya que contiene un modelo afectivo interno que regula su comportamiento. Entre los elementos que lo conforman está el Configurador Emocional encargado de manipular las emociones del agente. También, está el Manejador de Comportamiento, que se encarga de activar, inhibir y priorizar algunos comportamientos en el agente basado en el estado emocional actual. El conocimiento asociado con la gestión de las emociones y comportamientos es almacenado en la Base de Conocimiento Conductual.

2.3. Modelo afectivo de MASOES

El modelo afectivo 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. 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), con intervalo de $[-1, 1]$, y el eje y representa el nivel de **Satisfacción**, Agrado o Desagrado, también en el intervalo $[-1, 1]$. Los tipos de emociones

consideradas y el espacio afectivo definido para MASOES, son mostrados en la figura 1. 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).

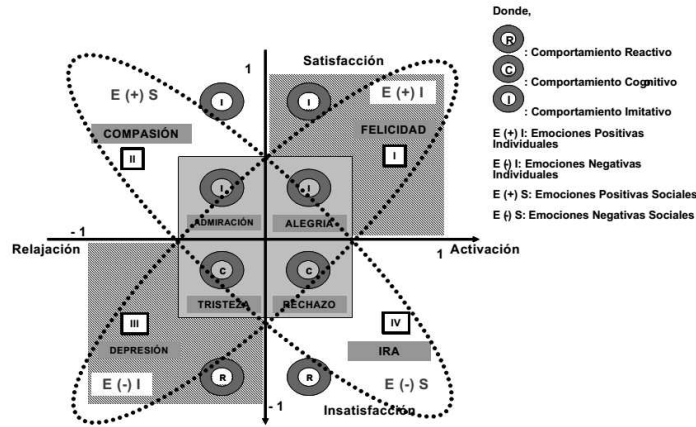


Figura 1: Modelo afectivo de MASOES.

Fuente: Perozo [4].

Las emociones positivas (tales como: la alegría, la felicidad, la compasión y la admiración) conducen a un comportamiento imitativo, con la idea de reproducir lo 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 negativos como la ira y depresión, para sólo responder de forma inmediata a la situación actual. Así, para asociar los estados emocionales a un comportamiento determinado, se tienen las reglas del cuadro 1.

Cuadro 1: Reglas de priorización de comportamientos.

Regla 1:	Si el Estado emocional es Positivo entonces priorizar Comportamiento imitativo
Regla 2:	Sino Si el Estado emocional es Ligeramente negativo entonces priorizar Comportamiento cognitivo
Regla 3:	Sino Si el Estado emocional es Altamente negativo entonces priorizar Comportamiento reactivo

Fuente: Perozo [4].

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 2).

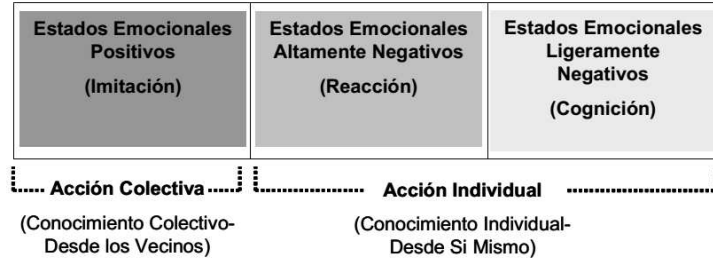


Figura 2: Estados emocionales con el tipo de comportamiento asociado.

Fuente: Perozo [10].

2.4. Aspectos relacionados a la implementación

Para la implementación se usó JADE (Java Agent DEvelopment, por sus siglas en inglés) [11], para el desarrollo de una herramienta computacional. JADE provee bibliotecas de clases para la creación de agentes mediante la herencia y la sobrescritura de comportamientos. Además, cumple con las especificaciones estándar FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents, por sus siglas 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. En la implementación del modelo afectivo propuesto en MASOES se aborda toda la construcción del componente conductual, el cual permite generar cambios dinámicos de comportamientos en los agentes emocionales, guiados por su estado emocional. Adicionalmente, se propuso e implementó el cálculo de la **Emoción Social**, la cual está compuesta por un conjunto de tres valores (ecuación 2.1).

$$ES(Ag) = \{EC(Ag), m(Ag), \sigma(Ag)\} \quad (2.1)$$

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 2.2, se define como la emoción promedio (ecuaciones 2.3 y 2.4) que exhibe un grupo de agentes Ag .

$$EC(Ag) = (\bar{A}(Ag), \bar{S}(Ag)) \quad (2.2)$$

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.

$$\bar{A}(Ag) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}, \forall ag_i \in Ag \quad (2.3)$$

$$\bar{S}(Ag) = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \forall ag_i \in Ag \quad (2.4)$$

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 (ecuación 2.5), permite saber si existen agentes con estados emocionales muy lejanos o cercanos a la emoción central. Se define como la distancia máxima euclidiana (ecuaciones 2.6 y 2.7) con respecto a la emoción central.

$$m(Ag) = (m_A(Ag), m_S(Ag)) \quad (2.5)$$

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).

$$m_A(Ag) = \max \left(\sqrt{(A_i - \bar{A}(Ag))^2} \right), \forall ag_i \in Ag \quad (2.6)$$

$$m_S(Ag) = \max \left(\sqrt{(S_i - \bar{S}(Ag))^2} \right), \forall ag_i \in Ag \quad (2.7)$$

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 2.8 y se define como la desviación estándar con respecto a la emoción central (ecuaciones 2.9 y 2.10).

$$\sigma(Ag) = (\sigma_A(Ag), \sigma_S(Ag)) \quad (2.8)$$

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 .

$$\sigma_A(Ag) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A}(Ag))^2}{n}}, \forall ag_i \in Ag \quad (2.9)$$

$$\sigma_S(Ag) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}(Ag))^2}{n}}, \forall ag_i \in Ag \quad (2.10)$$

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).

Con respecto a las interfaces gráficas, la herramienta permite su uso interactivo, configurar simulaciones con fines de investigación académica, exportar e importar configuraciones, generar gráficas en tiempo real y guardar los resultados de las simulaciones en archivos de texto plano. En la figura 3 se muestran las opciones que la interfaz gráfica provee: 1) Una barra de menú con opciones generales; 2) Sección para establecer los parámetros de cada agente en la simulación; 3) Información de los estados emocionales del grupo de agentes en tiempo de ejecución de la simulación; y 4) Una sección para controlar la simulación e información sobre la emoción social del grupo de agentes. A su vez, en la figura 4 se observa la generación en tiempo real de gráficas para el monitoreo de los estados emocionales y comportamiento de los agentes.

La implementación realizada representa un marco de trabajo para diversas simulaciones de grupos de agentes emocionales que pueden cambiar dinámicamente su comportamiento, guiado por su estado emocional a nivel individual y colectivo, ya que no sólo provee una implementación del modelo afectivo de MASOES, sino que también, proporciona la implementación del componente conductual completo. Ver más detalles en [6, 7, 8].

2.5. Casos de estudio

En esta sección 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 en [4], en el caso de estudio Wikipedia.

Wikipedia [12] es una enciclopedia de contenido libre que todos pueden editar. Esta enciclopedia es el resultado de un trabajo colectivo, 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 el modelo realizado en [4, 10] se expone un conjunto de agentes que cumplen diversos roles y tareas de manera individual o colectiva.

Para llevar a cabo los casos de estudio sobre Wikipedia, se selecciona como agente al *Usuario Registrado*, debido a que es el actor que concentra la mayoría de contribuciones en Wikipedia.

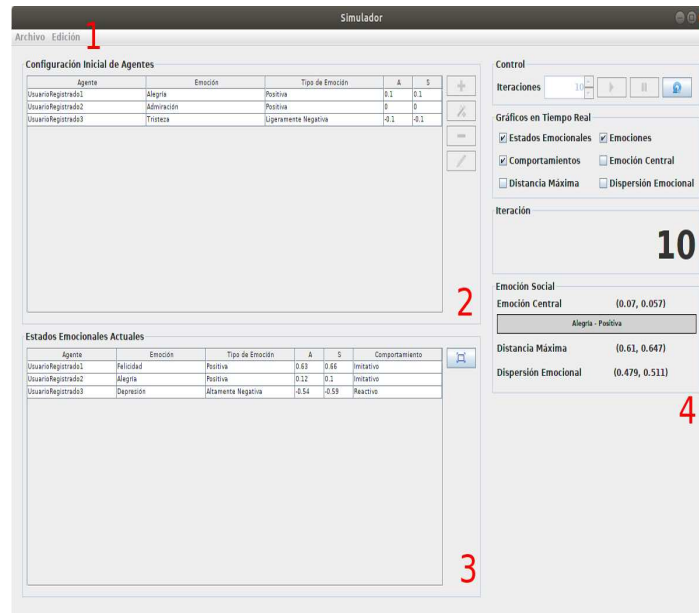


Figura 3: Captura de interfaces incluidas en la implementación. Interfaz para la configuración de simulaciones.

Fuente: Piña [8].

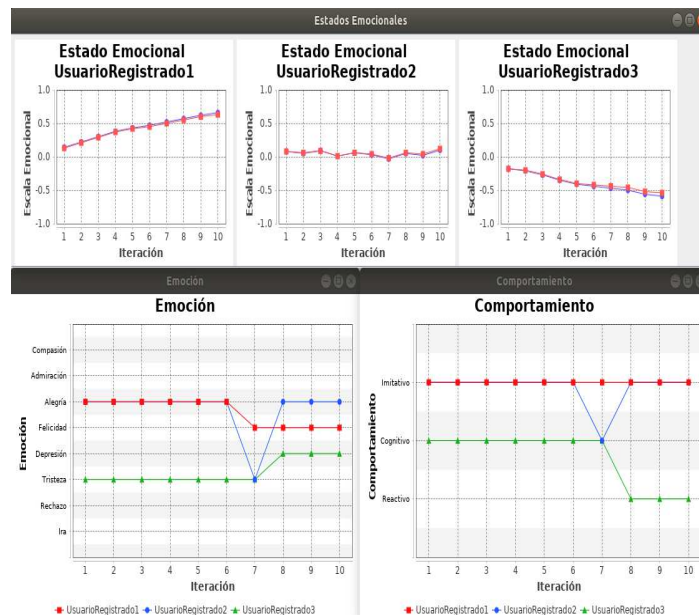


Figura 4: Captura de interfaces incluidas en la implementación. Gráficas en tiempo real.

Fuente: Piña [8].

Además, se proponen los estímulos del cuadro 2, 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 *Parámetro de activación* (P_a) y *Parámetro de satisfacción* (P_s) según el impacto previsto sobre el agente.

Cuadro 2: Estímulos propuestos para el usuario registrado.

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 estimulan 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: Los autores.

2.6. 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 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.

a. 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 configura 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. En cada iteración se selecciona aleatoriamente un estímulo para ser enviado a cada agente.

Para este escenario, se supone que los Usuarios Registrados reciben sólo estímulos positivos que pueden aumentar su reputación (ver cuadro 2), 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 debería 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 (figura 5a), 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). Por otra parte, se observa que la dispersión emocional tuvo poca variación (figura 5b) durante la simulación. Los resultados obtenidos evidencian que para un grupo de agentes con estados emocionales muy homogéneos, el cálculo de la $ES(Ag)$ cumple con lo propuesto en [4, 10], cercana a cero.

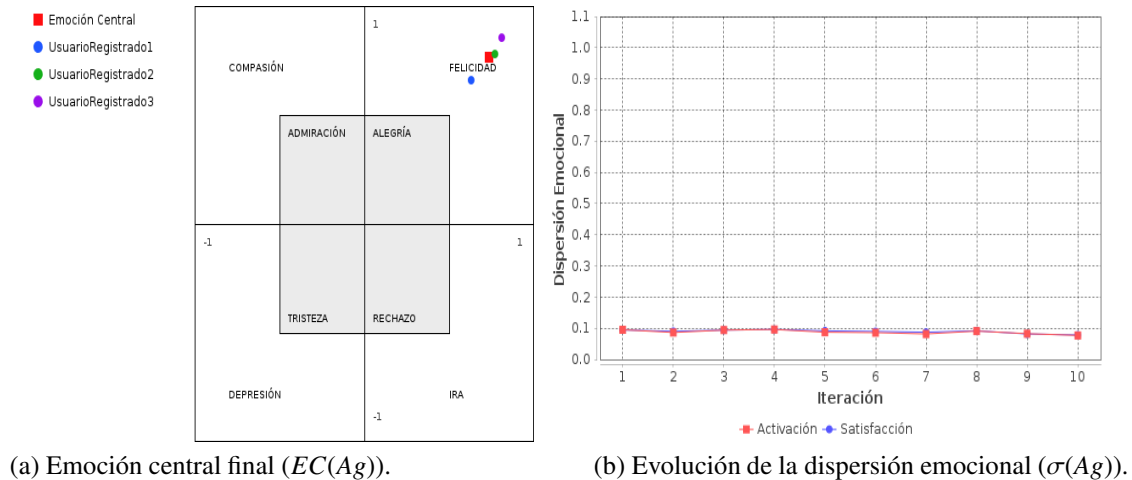


Figura 5: Caso de estudio 1 escenario 1.

Fuente: Los autores.

b. Escenario 2: Alta dispersión emocional y bajo número de agentes

En este escenario, se propone como configuración inicial lo siguiente: un grupo con 3 usuarios registrados, el primero de ellos sólo 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) (cuadro 2). 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.

En esta simulación, se obtuvo como resultado una $EC(Ag)$ igual a: $(-0,07, -0,05)$ que corresponde a la emoción Tristeza (figura 6a). Con respecto a la $\sigma(Ag)$, se obtuvieron valores alejados de cero, tanto para la activación como para la satisfacción: $(0,49, 0,523)$ (figura 6b), así como la $m(Ag)$: $(0,61, 0,65)$. De estos resultados se interpreta que el grupo de agentes exhibe emociones muy heterogéneas, y que existen estados emocionales muy alejados de la emoción central. Es importante mencionar, que la $EC(Ag)$ representa de 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, sólo un agente expresa dicha emoción, y se debe a que el grupo tiene una dispersión emocional alejada de cero.

c. 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, 20 iteraciones, y se inicializan los estados emocionales de manera aleatoria. En cada iteración se envía intencionalmente estímulos a todos los agentes, que favorecen una emoción positiva (incrementan la reputación de los wikipedistas).

Con respecto a los valores iniciales, se observó que la $EC(Ag)$ fue Alegría, con $m(Ag)$ y $\sigma(Ag)$ iguales a: $(0,98, 1,119)$ y $(0,59, 0,624)$, respectivamente. De esto se interpreta que el grupo de agentes tiene una alta dispersión emocional (emociones muy heterogéneas) al iniciar la simulación. Los valores finales obtenidos muestran una disminución en la dispersión emocional, se obtuvo una $EC(Ag)$ igual a Felicidad: $(0,764, 0,829)$ (figura 7a), 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

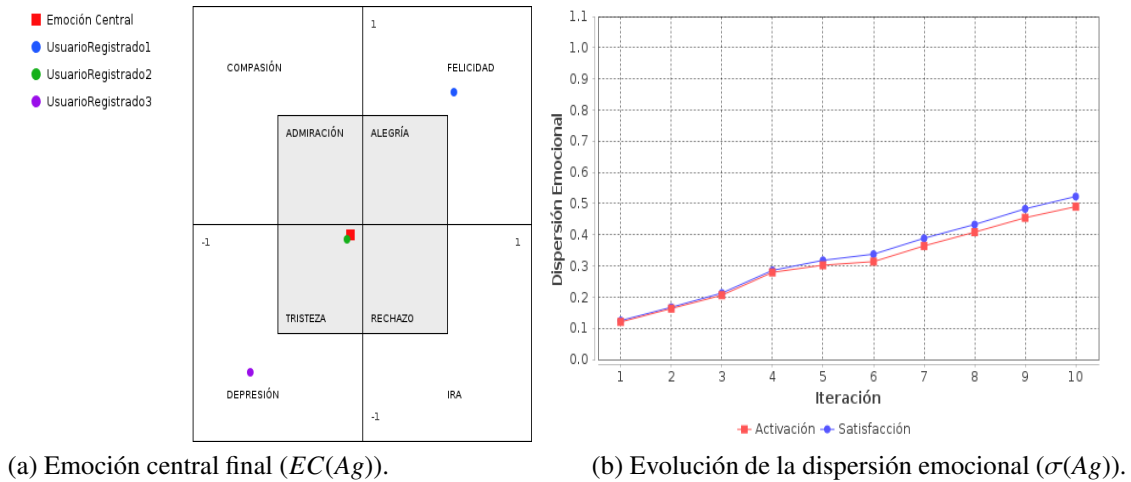


Figura 6: Caso de estudio 1 escenario 2.

Fuente: Los autores.

emocionales de los agentes se aproximaron, esto se aprecia en la figura 7b. 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 sólo recibieron estímulos que propician emociones positivas y sus estados emocionales llegaron al límite del modelo afectivo, manteniéndolos sólo en el primer cuadrante.

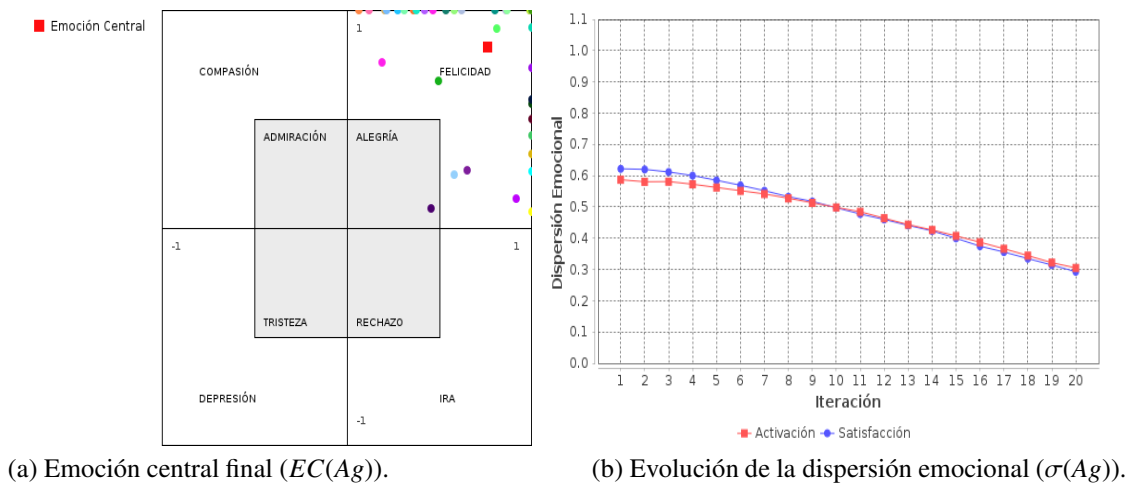


Figura 7: Caso de estudio 1 escenario 3.

Fuente: Los autores.

d. Escenario 4: Alta dispersión emocional y alto número de agentes

Siguiendo la misma idea que el escenario anterior, se configura una simulación con 50 agentes emocionales, 20 iteraciones, y se inicializan los estados emocionales de manera aleatoria en todos los agentes, 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 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 8a, 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 observa al finalizar la simulación, que los agentes se concentraron en los cuadrantes 1 (Alegría y Felicidad) y 4 (Tristeza y Depresión) como se muestra en la figura 8b, es decir, dos grupos.

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 sólo recibieron dos tipos de estímulos: positivos y negativos, que incrementaron o decrementaron la reputación y los estados emocionales llegaron al valor mínimo o máximo permitido según el modelo afectivo de MASOES.

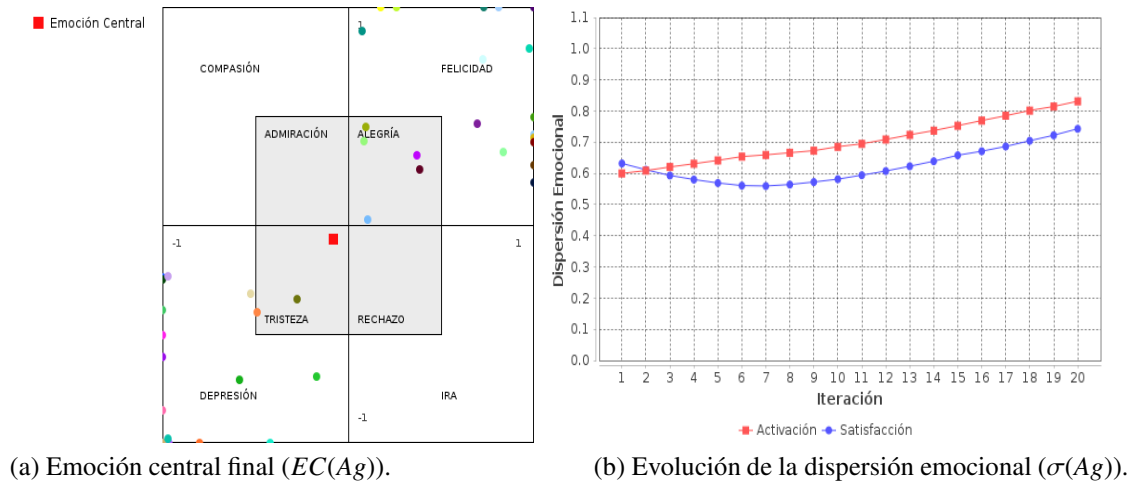


Figura 8: Caso de estudio 1 escenario 4.

Fuente: Los autores.

2.7. 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 [4]. Para esto se realiza una simulación en ambos escenarios con un agente de tipo Usuario Registrado y 20 iteraciones.

a. Escenario 1: Grado de satisfacción alto y activación alto, medio y bajo

Para este escenario, suponemos que un colaborador propone y desarrolla un contenido en Wikipedia, 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 en la figura 1, 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 aleatoriamente sólo estímulos que incrementan la reputación del agente (cuadro 2). 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 9 se observa que aunque la satisfacción se mantiene constante, la activación se incrementó. A su vez, en la figura 10a 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 10b muestra que el agente se mantuvo con un comportamiento imitativo según el modelo afectivo.

Los resultados obtenidos permiten verificar que la implementación cumple con lo elaborado a nivel de diseño [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. En otras palabras, a pesar de variar el grado de activación y producir emociones menos o más intensas, el agente mantuvo su comportamiento imitativo.

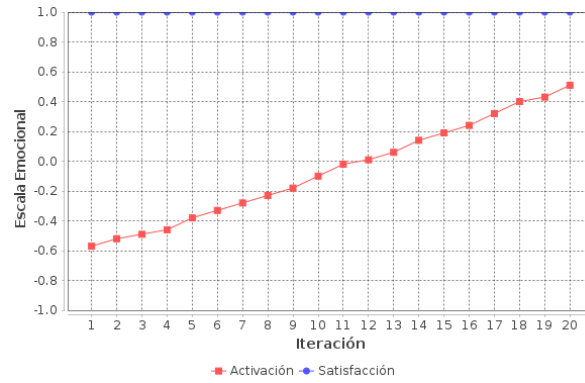
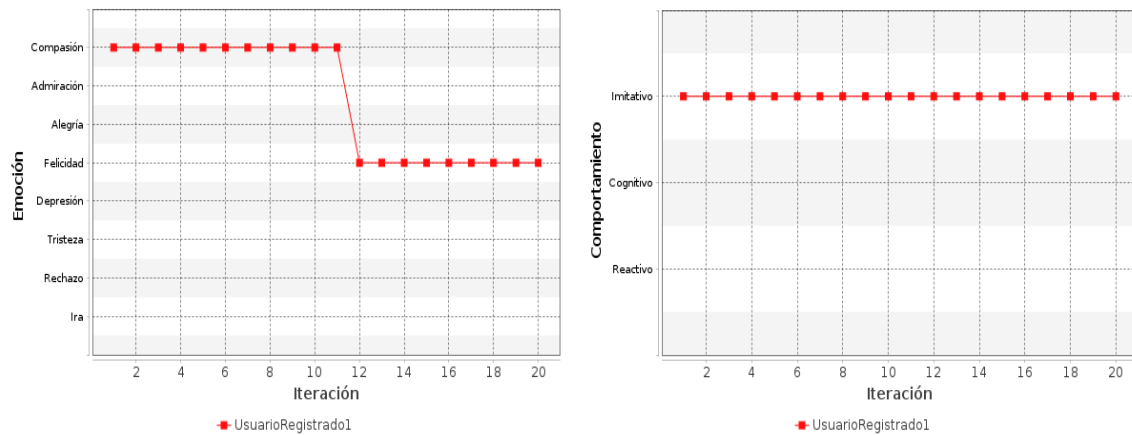


Figura 9: Variación del estado emocional del agente, caso de estudio 2 escenario 1.

Fuente: Los autores.



(a) Variación de la emoción.

(b) Variación del comportamiento.

Figura 10: Variación de la emoción y comportamiento del agente, caso de estudio 2 escenario 1.

Fuente: Los autores.

b. 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 en Wikipedia, 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 según el modelo afectivo. Así, se seleccionan aleatoriamente sólo estímulos que decrementan la reputación del agente (cuadro 2. 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 11 se observa 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 (figura 12a). Así mismo, la figura 12b 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 según el modelo afectivo. Estos valores concuerdan con los escenarios 2 y 3 expuestos en [4], 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.

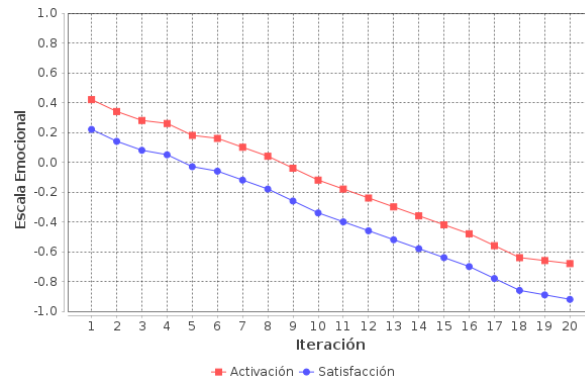
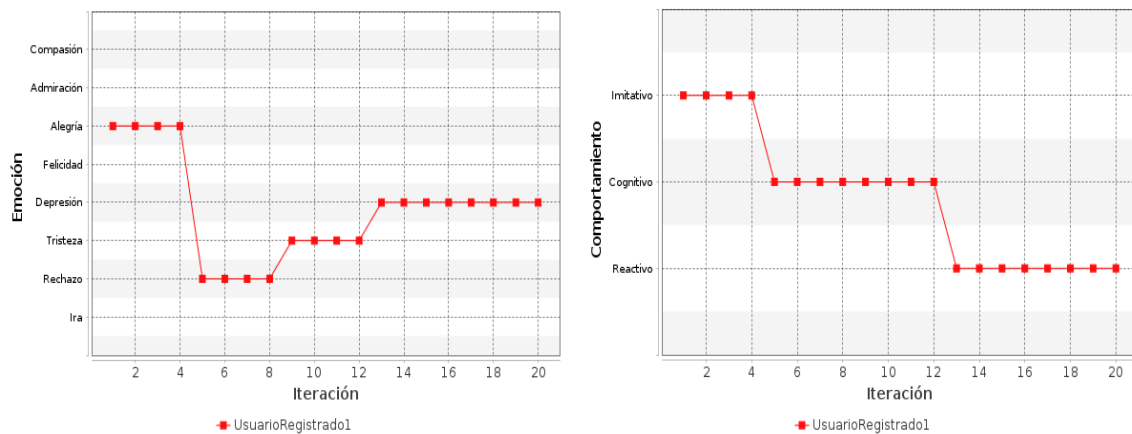


Figura 11: Variación del estado emocional del agente, caso de estudio 2 escenario 2.

Fuente: Los autores.



(a) Variación de la emoción.

(b) Variación del comportamiento.

Figura 12: Variación de la emoción y comportamiento del agente, caso de estudio 2 escenario 2.

Fuente: Los autores.

3. Conclusiones

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 establecidas para MASOES, en este trabajo se desarrollaron casos de estudio basados en lo modelado en [4] sobre el sistema colaborativo Wikipedia. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación cumple con lo especificado en MASOES a nivel individual y colectivo. Un hallazgo interesante es la importancia que tiene la dispersión emocional sobre la interpretación de la

emoción central, debido a que expresa cuan representativa es la emoción central frente a un grupo de agentes. Además, se pudo comprobar que la emoción central es más certera 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 grande de agentes. 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 [4], los cuales concuerdan inequívocamente. Con respecto a los aportes, este trabajo de investigación representa un marco de trabajo para realizar y verificar diversas simulaciones de grupos de agentes emocionales que pueden cambiar dinámicamente su comportamiento, guiados por su estado emocional a nivel individual y colectivo según el modelo afectivo para MASOES.

Como trabajo futuro, se sugiere extender este framework, implementando los demás componentes de MASOES tanto a nivel individual como colectivo, los cuales son: los componentes Cognitivo, Reactivo y Social, y 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 emergente y auto-organizado de manera real y no sólo a nivel de diseño. Como se pudo observar en el Caso de estudio 1, escenario 4 (alta dispersión emocional y alto número de agentes), dos subgrupos de agentes se concentraron en diferentes cuadrantes, esto abre una oportunidad de investigación futura, en la cual se podría proponer diferentes formas de calcular y verificar la emoción social de un grupo de agentes, con el objetivo de analizar la emoción social de diferentes subgrupos de agentes dentro de todo el conjunto.

Referencias

- [1] E. Causa; A. Sosa. La computación afectiva y el arte interactivo. *Revista de Investigación Multimedia*, 2(2):52–60, 2008.
- [2] H. Jiang; J. Vidal; M. Huhns. EBDI: an architecture for emotional agents. In *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 38–40. ACM, 2007.
- [3] L. Rodríguez; F. Ramos. Computational models of emotions for autonomous agents: major challenges. *Artificial Intelligence Review*, 43(3):437–465, 2015.
- [4] N. Perozo; J. Aguilar; O. Terán; H. Molina. 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, 2012.
- [5] N. Perozo; J. Aguilar; O. Terán; H. Molina. 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, 2013.
- [6] S. Piña; N. Perozo. Implementación de un modelo afectivo para MASOES. *Latin American Journal of Computing. Faculty of Systems Engineering Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador*, 4(3):17–22, 2017.
- [7] S. Piña. 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. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela, 2017. Disponible: <http://bit.ly/TGImplementacionDeMASOES>.
- [8] S. Piña. Código fuente: Implementación de un modelo afectivo para MASOES, 2017. Disponible: <http://bit.ly/UnaImplementacionDeMASOES>.
- [9] N. Perozo; J. Aguilar; O. Terán. Proposal for a multiagent architecture for self-organizing systems (ma-sos). In *International Conference on Intelligence and Security Informatics. ISI 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5075*, pages 434–439, 2008.
- [10] N. Perozo. Modelado multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados. Tesis doctoral presentada para optar al título de Doctor. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela, 2011. Disponible: <http://bit.ly/TesisMASOES>.
- [11] JADE. Jade website, 2017. Disponible: <http://jade.tilab.com>.
- [12] Wikipedia. Wikipedia, 2018. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>.

Sobre los autores

Saúl Jabín Piña Alvarado

Ingeniero en Informática. Magister Scientiarum en Ciencias de la Computación. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. Correo: sauljabin@gmail.com - [ORCID](#)

Niriaska Perozo Guédez

Ingeniero en Informática. Magíster en Computación. Doctora en Ciencias Aplicadas. Doctora en Neurociencias, Cognición y Comportamiento Colectivo. Profesora-Investigadora en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. Correo: nperozo@ucla.edu.ve - [ORCID](#)