



MÓDULO CONDUCTUAL INMERSO EN UNA ARQUITECTURA DE CONTROL PARA SISTEMAS MULTI-ROBOTS

(BEHAVIORALMODULE IN A CONTROL ARCHITECTURE FOR MULTI-ROBOTS)

Recibido: 24/09/2015

Aprobado: 16/12/2015

Ángel Eduardo Gil Pérez

Universidad del Táchira, Venezuela.

agil@unet.edu.ve

José Lisandro Aguilar Castro

Universidad de los Andes, Venezuela.

Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

aguilar@ula.ve

Rafael De Jesús Rivas Estrada

Universidad de los Andes

rafael@ula.ve

Eladio Dapena González

Universidad de los Andes

eladio@ula.ve

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de un módulo conductual para robots de propósito general, implementado en el marco de una arquitectura de control para sistemas multi-robots. El mismo está estructurado en cuatro capas: reactiva, cognitiva, social, y una capa transversal que gestiona un conjunto de emociones básicas, que afectan de forma directa el comportamiento del robot y su disposición hacia la ejecución de las tareas y hacia la interrelación con los otros individuos del sistema (es decir, a las otras capas). El objetivo de la arquitectura es brindar una plataforma que facilite los procesos de auto-organización y emergencia del sistema. Se propone un modelo emocional, que toma en consideración cuatro emociones básicas y un estado neutro; esto con el fin de dotar a los robots de un factor adicional que influya en su funcionamiento, que puede ser determinante cuando estos enfrentan situaciones donde la incertidumbre se hace presente. De esta forma, se busca mejorar su proceso de toma de decisión y su adaptación a las dinámicas presentes en el entorno, en particular analizando la influencia de las emociones en sistemas de este tipo.

Palabras claves: Emergencia, Arquitectura multi-robots, Comportamientos emocionales.



ABSTRACT

This paper describes the design of a behavioral module for general purpose robots, implemented within the framework of a control architecture for multi-robot systems. It is divided into four layers: reactive, cognitive, social, and a cross-layer manages a set of basic emotions, which directly affect the robot's behavior and willingness to carry out tasks and to interact with the others individuals in the system. The purpose of architecture is to provide a platform that facilitates the processes of self-organization and emergence of the system. An emotional model is proposed, which takes into account four basic emotions and a neutral state, this in order to give robots a further factor influencing its operation, that can be decisive when they face situations where uncertainty is present. In this way, it seeks to improve its decision-making process and adapt to the dynamics in the environment, in particular by analyzing the influence of emotions in such systems.

Keywords: Emergence, Multi-robots architecture, Emotional behaviors.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas multi-robots en la actualidad son utilizados en distintas áreas [1-3]. Por otro lado, aspectos como la organización de los mismos, los mecanismos de cooperación, las arquitecturas de control, la emergencia en los sistemas, entre otros, son tópicos de investigación de interés en los últimos años [4-6].

En el presente trabajo, y en el marco de una propuesta arquitectónica para el control de sistemas multi-robots con comportamiento emergente, se presenta el diseño de un módulo de conducta para microbots de propósito general, el cual busca implementar un conjunto de emociones básicas en ellos, que afecten su actuación en el entorno, así como su interacción con los otros individuos en el sistema. El módulo se divide en 4 capas: reactiva, social, cognitiva y afectiva; en esta última se gestionan las emociones a partir de un modelo emocional que considera cuatro emociones: alegría, tristeza, rechazo e ira, además de un estado neutro. Particularmente, este modelo considera las etapas por las que transcurre un estado emocional durante un período de tiempo.

En específico, en este artículo se estudia la estructura del módulo de conducta, con el fin de analizar cómo afecta al comportamiento colectivo en el sistema, y a las características emergentes dentro del mismo. Estos aspectos son cruciales a considerar en la arquitectura del sistema multi-robots con comportamiento emergente.

En el ámbito científico se ha discutido la necesidad o no de implementar emociones en máquinas o agentes artificiales, desarrollándose diversos trabajos que han permitido demostrar la necesidad de incluir emociones en casos como cuando la máquina debe enfrentarse a entornos desconocidos donde la incertidumbre se hace presente. En esas situaciones, las emociones pueden ser un factor determinante en su comportamiento y en la toma de decisiones, ya que ayudan a mejorar la adaptación de los sistemas ante los cambios que se dan en el entorno [6] y, además, afectan la disposición del sistema (robot) hacia la ejecución de alguna tarea en particular, así como la forma en que interactúa con



otros sistemas [5].

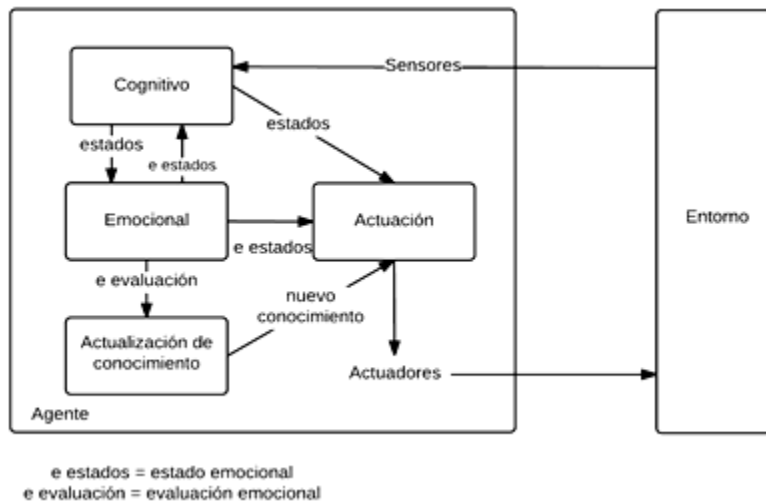
El artículo se organiza de la siguiente manera: la primera sección presenta un resumen de algunos trabajos previos que contextualizan la investigación. En la siguiente sección se describe brevemente la arquitectura marco propuesta, para luego presentar el diseño del módulo conductual. A continuación, se presenta el modelo emocional propuesto en este trabajo, y en la última sección, se presentan las conclusiones del trabajo.

TRABAJOS PREVIOS

En [7] se presenta un componente emocional para un agente, con el fin de que el proceso de cognición y toma de decisiones del mismo se vea afectado por emociones. El agente se describe de forma tradicional, pero se le añade un módulo emocional que juega un rol importante para definir sus comportamientos. En la Figura 1 se muestra la estructura del agente propuesta:

- *Módulo cognitivo*: procesa los datos obtenidos de los sensores, teniendo en cuenta los estados emocionales del agente.
- *Módulo emocional*: genera estados emocionales en el agente, tomando en cuenta la información recibida por el módulo cognitivo. Este módulo se basa en el modelo OCC (Ortony, Clore & Collins) propuesto en [8].
- *Módulo de actuación*: permite tomar la decisión sobre la acción que debe ejecutar el agente.

Figura 1. Estructura de un agente emocional



Además, el agente cuenta con un módulo de actualización del conocimiento, que depende de los estados emocionales generados.

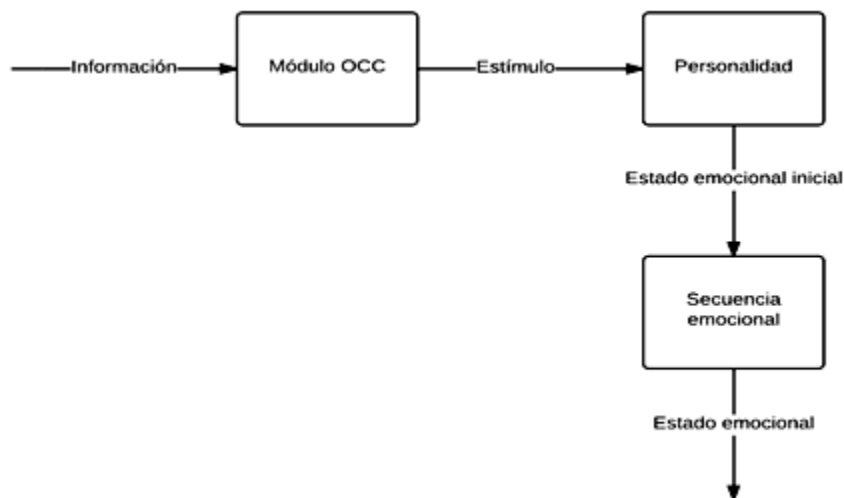


Para el diseño del módulo emocional, se tomaron en cuenta algunas reglas básicas, basadas en cómo se reflejan en los humanos las emociones [7]:

- *Capacidad*: las emociones tienen un valor máximo y un valor mínimo, que no dependen del estímulo recibido.
- *Cognición y retroalimentación física*: las emociones pueden ser activadas por un proceso cognitivo o por un proceso físico.
- *Estímulo*: la emoción solo es activada cuando la intensidad del estímulo sobrepasa cierto valor inicial.
- *Personalidad*: diferentes individuos presentan distintos reflejos emocionales ante la misma circunstancia.
- *Decaimiento de la emoción*: la intensidad de la emoción tiende a decaer en el tiempo, a menos que se produzcan nuevos estímulos.

Acorde a esas reglas, el módulo emocional convierte la información recibida del entorno, en estímulos que pueden conducir a la activación de emociones. El estímulo puede actuar en la personalidad del agente, y producir un estado emocional en un instante de tiempo. La estructura del módulo se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Estructura del módulo emocional



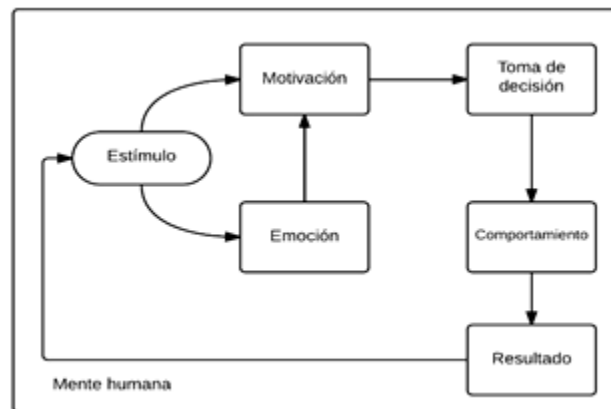
El módulo toma los datos captados del ambiente, y los procesa en el sub-módulo OCC, el cual está basado en el modelo explicado en [8]. Seguidamente, los transforma en estímulos, los cuales son insumo para el sub-módulo de personalidad, en donde se encuentran almacenados distintos parámetros que afectan la personalidad del agente, que son activados por dichos estímulos. La activación de esos parámetros generan un estado emocional inicial, que pasa al siguiente módulo, en el que se lleva a cabo un proceso mediante el cual ese estado emocional inicial pasa por distintas etapas en un



intervalo de tiempo, hasta llegar a un estado final, en donde dicha emoción puede decaer, sino existen nuevos estímulos que mantengan el nivel de intensidad necesario para que no desaparezca. En resumen, este modelo provee una serie de estados emocionales para los agentes, así como una serie de factores que caracterizan a una personalidad, que permiten diferenciar a los individuos del sistema, influyendo en sus respuestas ante un mismo estímulo.

Otro modelo es presentado en [9], con el fin de equipar a un conjunto de robots, descritos como aventureros, con emociones básicas y comparar sus actuaciones con respecto a robots que no poseen estas emociones. Específicamente, se analizan sus capacidades de sobrevivir en un entorno simulado, en el cual deben garantizar aprovisionarse de energía a través de la búsqueda de fuentes de alimentación. El mecanismo de comportamiento diseñado está basado en el modelo de Motivación/Actitud – Manejo de Comportamiento (MADB = *Motivation/Attitude - Driven Behavior*), descrito en [10]. De acuerdo a ese modelo, cualquier comportamiento cognitivo está inmerso dentro de los potenciales innatos del ser humano vinculados a la motivación. De esta manera, el proceso cognitivo se activa a través de estímulos, en base a la voluntad o el deseo del individuo al logro (ver Figura 3).

Figura 3. Modelo MADB simplificado



Una emoción evalúa el grado con el cual un proceso o fenómeno satisface las necesidades del individuo. Por otro lado, las emociones se pueden clasificar de acuerdo a su intensidad en cinco niveles: ninguna emoción, débil, moderada, fuerte, muy fuerte. La intensidad de la motivación (M) se ve afectada, según este modelo, por tres factores: la emoción (Em), la diferencia entre el estado deseado (E) y el estado actual del individuo (S), y el costo (C) para alcanzar el nivel de motivación esperado. La relación entre estos tres parámetros viene dada por:

$$M = \frac{2,5 |E_m| (E-S)}{C} \quad (1)$$



Tomando la ecuación (1) como base, se calcula la intensidad de la intencionalidad de los robots para ejecutar una acción, en este caso la búsqueda de energía. Así, bajo este modelo los robots construyen sus decisiones en base a dos factores: emoción y motivación.

En el marco de una propuesta de una arquitectura multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados (MASOES = *Proposal for a Multiagent Architecture for Self-Organizing and Emergent Systems*) [11], se propone un modelo afectivo [12], con el objeto de que los agentes cambien de forma dinámica su comportamiento, influenciados por su estado emocional. La idea de este modelo es lograr un compromiso entre el comportamiento individual y el colectivo de una sociedad de agentes y, además, que permita explicar aspectos de la interacción social que aparece en el sistema, tales como el grado de cooperación, satisfacción, etc. Mientras que otros modelos clásicos se centran en el estudio de la relación cognición-emoción, el modelo presentado en MASOES permite caracterizar las interacciones sociales, lo que lo diferencia de los otros.

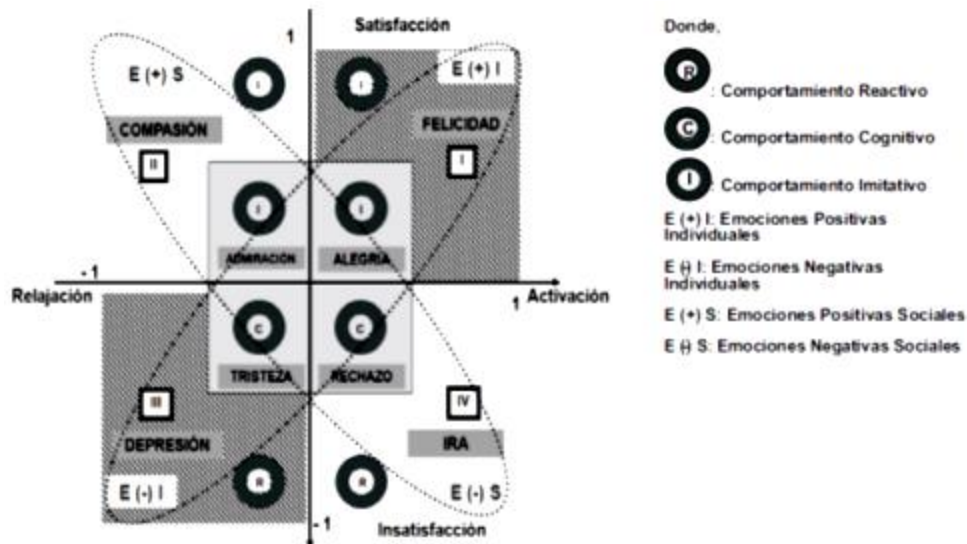
El modelo propuesto está representado por un espacio bidimensional; el eje **x** representa el grado o nivel de activación, excitación o relajación del agente, el eje **y** representa el nivel de satisfacción, agrado o desagrado. A continuación se describen las fases del proceso de gestión de las emociones [12]:

- *Fase I (Configurador Emocional-Clasificación de las emociones)*: En el modelo afectivo, son consideradas emociones positivas y negativas, las cuales impactan a nivel individual y colectivo/social.
- Se divide el espacio afectivo en cuatro cuadrantes, donde el cuadrante I y el cuadrante III representan las emociones positivas o negativas orientadas a la obtención de metas personales, y los cuadrantes II y IV representan emociones positivas o negativas de carácter social o colectivo.
- *Fase II (Manejador de Comportamiento-Asociación de la emoción al tipo de comportamiento)*: en esta fase se asocia a cada estado emocional, uno de los tres comportamientos considerados en el modelo: imitativo, cognitivo y reactivo. Esta asociación se lleva a cabo de acuerdo a las siguientes reglas:
 - **Regla 1:** Si <estado_emocional> es positivo, entonces, <prioridad_comportamiento_imitativo>
 - **Regla 2:** Si <estado_emocional> es ligeramente negativo, entonces, <prioridad_comportamiento_cognitivo>
 - **Regla 3:** Si <estado_emocional> es altamente negativo, entonces, <prioridad_comportamiento_reactivo>
- *Fase III (Configurador Emocional-Determinación de la emoción actual)*: se evalúan eventos, acciones u objetos, para determinar el grado de satisfacción y activación del agente, para luego determinar el estado emocional actual del agente.
- *Fase IV (Manejador de Comportamientos-Determinación del tipo de comportamiento)*: en esta fase se modifica el comportamiento actual, dependiendo de la emoción

resultante de la fase III. Así, el estado emocional del agente permite de forma dinámica cambiar el comportamiento del mismo.

Según el modelo (ver Figura 4) [11], los estados emocionales positivos conllevan a un comportamiento imitativo, con la idea de reproducir lo que hace sentir bien al agente y al colectivo; los estados emocionales ligeramente negativos llevan a un comportamiento cognitivo, donde el agente reflexiona sobre la situación, considerando objetivos individuales y/o colectivos; finalmente, si estos estados emocionales son altamente negativos, conllevan a un comportamiento netamente reactivo, que permita responder de forma inmediata a la situación presentada.

Figura 4. Modelo afectivo para MA-SOS



En común, los modelos presentados anteriormente presentan dos conceptos básicos: emoción y comportamiento; donde la emoción es el resultado de un estímulo y el comportamiento del agente/robot se ve afectado por esa emoción; es decir, las acciones que el robot lleva a cabo y su interacción con el entorno y los otros individuos del grupo, se ven afectadas por su estado emocional en un instante dado.

Los modelos presentados en esta sección representan una base conceptual para la propuesta hecha en este trabajo, en la que resaltan los siguientes aspectos:

1. Definen aspectos a considerar en el proceso general de gestión de emociones en un agente artificial.
2. Establecen reglas que permiten describir las emociones.
3. Definen la relación entre estados emocionales y comportamientos, siendo estos últimos fundamentales en la actuación del individuo.
4. Describen modelos emocionales, para ser utilizados en agentes artificiales.



Se presenta, además, una aplicación que muestra resultados satisfactorios en cuanto al uso de emociones en agentes que interactúan en un entorno con incertidumbre y en una tarea específica (mantener su nivel de energía), en donde los agentes con componente emocional, sobreviven más tiempo que los que no lo poseen.

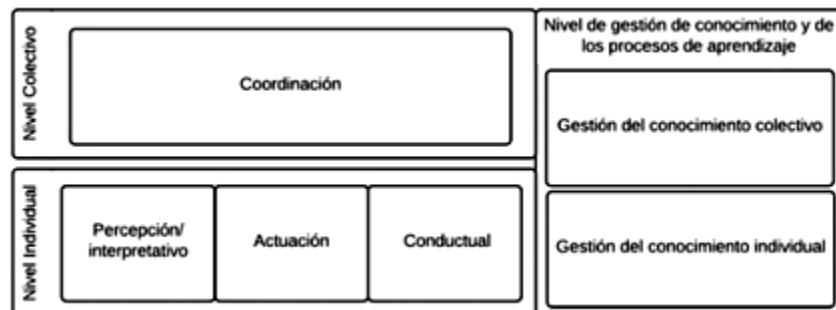
Ahora bien, en la propuesta objeto del presente trabajo se integran todos esos aspectos en un modelo emocional adaptado a agentes artificiales físicos (robots de propósito general) que forman parte de un sistema multi-robot en un entorno dinámico con incertidumbre, sin tareas previamente definidas, con el fin de estudiar los comportamientos emergentes que aparecen en él y la influencia de las emociones en este tipo de sistemas.

ARQUITECTURA PARA SISTEMAS MULTI-ROBOTS CON COMPORTAMIENTO EMERGENTE

En [13], se propone una arquitectura para sistemas multi-robots con comportamiento emergente, estructurada en tres niveles que se integran con el fin de dar soporte a los procesos que emergen en el sistema. La emergencia es posible, ya que los tres niveles proveen a través de sus componentes los elementos requeridos en todo proceso emergente [14]: despliegue de las interacciones, gestión de los procesos distribuidos, reglas locales de toma de decisión, mecanismos de aprendizaje local/colectivo (retroalimentación), y espacios de memoria compartidos. Los niveles de la arquitectura son [13] (ver Figura 5):

- *Nivel colectivo:* soporta la gestión de los procesos de interacción del robot con otros individuos del sistema y con el ambiente. Posee mecanismos que permiten los procesos emergentes de coordinación entre los robots.
- *Nivel individual:* brinda soporte a los procesos individuales del robot, gestiona su capacidad de percepción, toma de decisión local, y control de sus actuadores, así como los aspectos relacionados con la conducta del agente y sus emociones. En este nivel se implementa el modelo conductual propuesto en este trabajo.
- *Nivel de gestión de conocimiento y de los procesos de aprendizaje:* se gestiona el conocimiento, tanto individual como del colectivo, así como los procesos de aprendizaje que se dan en el sistema (individual y colectivo).

Figura 5. Arquitectura para sistemas multi-robots



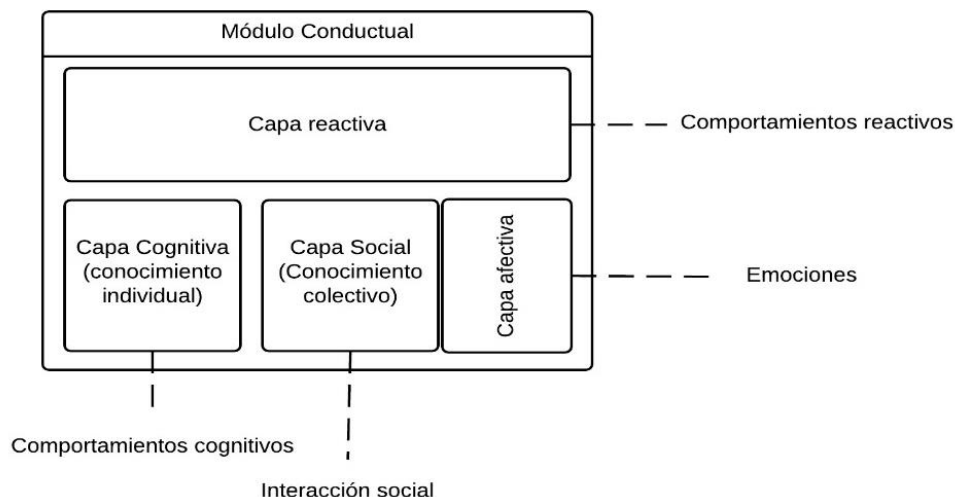


DISEÑO DEL MÓDULO CONDUCTUAL

Con el fin de gestionar el comportamiento del robot, se plantea la inclusión de un módulo conductual en la arquitectura [13], encargado de brindar soporte a los procesos involucrados en el manejo de las emociones del robot y su influencia en los comportamientos del mismo. El módulo se divide en cuatro capas, que se describen brevemente a continuación (ver Figura 6):

- *Capa reactiva*: se encarga de gestionar los comportamientos reactivos del robot, es decir, aquellos comportamientos generados a partir de un proceso estímulo – reacción. Aquí, se manejan los comportamientos de supervivencia del robot, que tienen prioridad sobre otro tipo de comportamientos.
- *Capa cognitiva*: se gestionan comportamientos deliberativos en el robot, basados en su conocimiento local. Estos comportamientos deliberativos se construyen a partir de la información sensorial del robot, que procesa e interpreta con el fin de generar una acción o comportamiento.
- *Capa social*: explota el conocimiento colectivo en los procesos de toma de decisión del robot. Básicamente, gestiona la forma en que el robot interactúa con los demás individuos del sistema, así como sus comportamientos asociados.
- *Capa afectiva*: en esta capa transversal a las otras capas del módulo, se activan o inhiben las emociones del robot, a través de los estímulos recibidos del entorno, y se gestiona como estas emociones se asocian con los comportamientos del robot, y su nivel de activación.

Figura 6. Módulo conductual

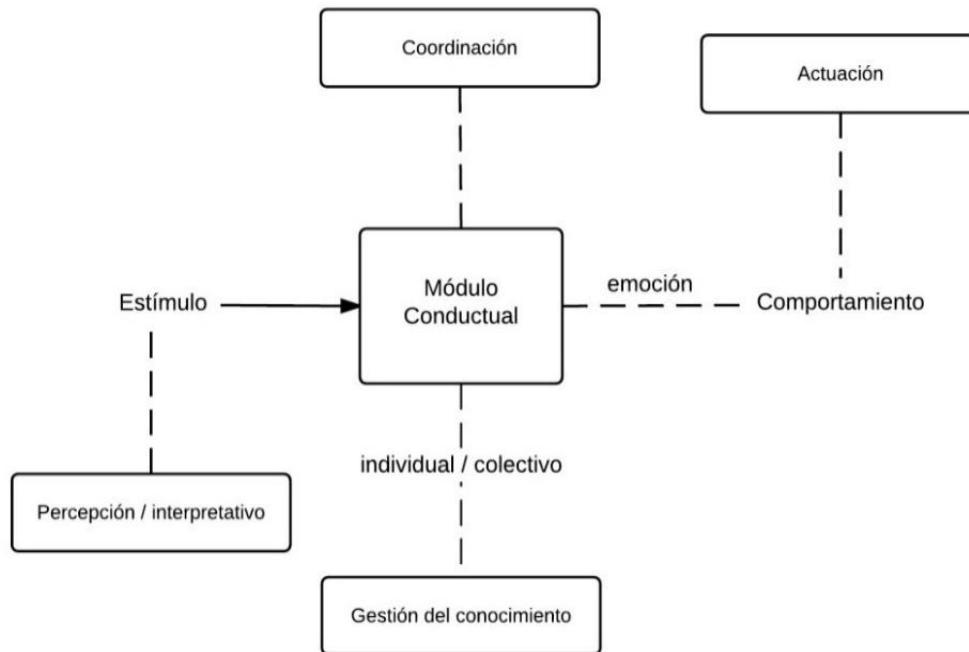


El proceso general que se lleva a cabo y que se muestra en la Figura 7, comienza cuando el robot recibe datos del entorno. Los mismos son pre-procesados por el nivel de percepción e interpretación de la arquitectura, y se envía la información en forma de estímulo al módulo conductual. Dependiendo de la información recibida, genera un estado



emocional asociado a un comportamiento del robot, que se traduce en una acción. En todo ese proceso, interviene el nivel de coordinación y de gestión de conocimiento, a nivel individual o colectivo, según sea el caso.

Figura 7. Proceso general de funcionamiento del módulo



MODELO EMOCIONAL PROPUESTO

Los modelos emocionales descritos en los apartados anteriores, son tomados como base para el modelo propuesto en el presente trabajo. Esos modelos consideran distintas fases para el procesamiento de las emociones, definen un conjunto de emociones básicas, y establecen una relación entre cada emoción y un tipo específico de comportamiento.

Básicamente, en la propuesta en cuestión el proceso emocional se da en tres etapas: un estímulo es recibido por el robot, se procesa y se genera un estado emocional, a partir del cual se generan las acciones a ser llevadas a cabo por el robot.

El modelo presentado considera un conjunto de emociones, representadas en un espacio unidimensional, donde el eje x representa el estado de satisfacción o insatisfacción del robot en el intervalo de $[-1, 1]$: alegría (altamente positiva), tristeza (ligeramente positiva), rechazo (ligeramente negativa) e ira (altamente negativa), así como también un estado neutro. El modelo permite definir tres sub-intervalos, basados en la relación emoción-comportamiento: un intervalo de comportamiento reactivo, uno de comportamiento de tipo cognitivo/individual, y otro relacionado con comportamientos de tipo colectivo, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Modelo emocional propuesto



El nivel de satisfacción del robot viene dado por la conjunción de distintos factores que influyen en el estado interno del robot, los cuales son:

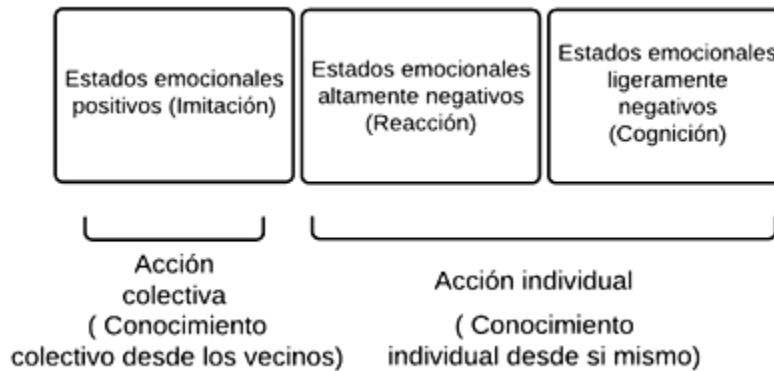
- *Factor de carga:* se refiere al estado de la carga de energía del robot.
- *Factor de actuación:* se refiere al tiempo efectivo de actuación en el sistema, se ve afectado por los bloqueos y demoras que afecten al robot.
- *Factor de seguridad:* relacionado a la supervivencia del robot, ese índice varía de acuerdo a las situaciones de riesgo a la que el robot se vea expuesto en el entorno: colisiones, enfrentamientos con otros robots, competencia por recursos, fallas, etc.
- *Factor de interacción:* mide el grado de socialización del individuo con el grupo, básicamente se mide por número de mensajes que intercambia el robot en el sistema.

Esos factores permiten establecer un índice de satisfacción o insatisfacción que define el estado emocional del robot en un instante "t". En nuestro caso, suponemos que los factores están normalizados en el intervalo $[-1, 1]$, y que el promedio de ellos determina el índice de satisfacción.

Las emociones, como se comenta en [13], sirven para establecer la posición de un individuo con respecto a su entorno, y los impulsa hacia otros individuos, acciones, objetos, y los aleja de otros, afectando así su comportamiento individual y colectivo. En ese sentido, en [12] se establece un conjunto de emociones, tanto positivas como negativas, que influyen en la disposición del agente hacia comportamientos de carácter individual o colectivo [8] (ver Figura 9).



Figura 9. Estados emocionales y su asociación a un tipo de comportamiento



Así, en [12, 15-16] se consideran tres tipos de comportamientos: imitativo, cognitivo y reactivo, los cuales se asocian a un estado emocional, como lo estamos considerando en este trabajo (ver Figura 8). De esa manera, en el presente artículo, se hacen las mismas suposiciones que en esos trabajos: las emociones negativas predisponen al individuo a la resolución de problemas mediante un procesamiento que va de lo local a lo colectivo, mientras las positivas encaminan a enfoques globales, que van de lo colectivo a lo individual.

En el modelo propuesto descrito en la Figura 6, la activación de cada una de las cuatro capas depende directamente del índice de satisfacción definido por nuestro modelo emocional, ya que cada una de ellas gestiona de forma directa los tipos de comportamientos asociados a las emociones que presentan los robots del sistema.

En la Tabla 1 se resumen las emociones consideradas en el modelo, sus tipos, los comportamientos asociados, y la capa donde se encuentran en la arquitectura.

Tabla 1. Comportamientos manejados por el individuo de acuerdo a su estado emocional

Emoción	Tipo de Emoción	Conjunto de Comportamientos Asociado	Capa de la Arquitectura
Alegría	Positivo	Imitación	Capa social/reactiva
Tristeza	Ligeramente Positivo	Cognitivo	Capa Cognitiva
Neutro	-	-	
Rechazo	Ligeramente Negativo	Cognitivo	Capa Cognitiva
Ira	Altamente Negativo	Reactivo	Capa reactiva/social

Para establecer el conjunto de *comportamientos específicos* de los robots que se derivan de la Tabla 1, se definen las habilidades básicas que poseen los robots que conforman el sistema. Estas son de carácter individual, y están asociadas muy



estrechamente al hardware de cada robot; ejemplo de estas habilidades primarias son: moverse, girar, sensor, entre otras.

En función de las habilidades básicas de un robot, y según su estado emocional que establece el tipo de comportamiento asociado que debe seguir (ver Tabla 1), se define su *comportamiento específico* (que puede implicar la conjunción de dos o más de sus habilidades básicas). Esto le permite llevar a cabo acciones de cierta complejidad. Vemos así que sus comportamientos se ven afectados por el estado emocional que el robot presente en un instante t durante su actuación en el entorno. Es decir, generarán comportamientos imitativos, reactivos, etc. en función de la emoción. A continuación se presentan algunos ejemplos de *comportamientos específicos*:

- *Explorar*: mediante este comportamiento el robot es capaz de explorar el entorno de forma aleatoria. Requiere de la capacidad de moverse y girar, y acontece cuando está alegre (comportamiento social).
- *Evasión de obstáculos*: permite que el robot evada obstáculos, que pueden ser objetos fijos o móviles. Requiere de las capacidades de moverse, girar y sensor, y acontece cuando tiene ira y rechazo (comportamiento reactivo).
- *Persecución*: permite que el robot siga durante un tiempo determinado a otro robot. Requiere de las capacidades de moverse y sensor, y acontece cuando está alegre (comportamiento social).
- *Refugio*: permite al robot buscar una zona segura (representada por marcas en el suelo), y mantenerse en ella hasta alcanzar el estado deseado. Requiere de las capacidades de moverse, y acontece cuando está triste o con sentimientos de rechazo (comportamiento cognitivo).
- *Enfrentamiento*: dependiendo de su estado emocional, el robot puede enfrentarse a otro, cuando se presente un conflicto por un recurso. Requiere de la capacidad de moverse y acontece cuando se tiene ira (comportamiento reactivo).
- *Recargar*: el robot puede satisfacer su necesidad de energía. Requiere de la capacidad de conectarse, y acontece cuando está alegre, triste o neutro (comportamiento cognitivo).

Pero esos comportamientos específicos se dan en el marco de los *estados mentales* de los robots, que tienen implícito la búsqueda al logro de metas por parte del robot. Se definen estados mentales primarios, y estados mentales que van emergiendo a partir de la interacción de los robots con el entorno y con otros individuos, que se derivan de esas metas primarias asociadas a la búsqueda del bienestar del robot (como su sobrevivencia). De esa manera, se observa que en los estados mentales se traducen los objetivos que en un momento dado quiere alcanzar un robot, y los comportamientos para alcanzarlos. A continuación se presentan algunos de los *objetivos* que podrían aparecer en esos estados mentales:

- *Sobrevivir*: el robot busca mantener su integridad durante su funcionamiento.



- *Socializar*: el robot busca entablar relaciones con otros individuos.
- *Competir*: estado mental que mantiene al robot en disposición de luchar por recursos (zonas seguras, zonas de carga, etc.)
- *Negociar*: el robot busca entablar acuerdos, con el fin de compartir recursos.

En general, un estado mental define en un instante “t” la relación entre la emoción, los comportamientos específicos y las metas del robot. El estado mental se representa mediante la siguiente n-tupla:

$$EM_{i,t} = \langle C, E, M \rangle$$

Donde,

$EM_{i,t}$ = Estado mental i en un instante de tiempo “t”.

C= Conjunto de comportamientos específicos posibles del robot en el instante “t”.

E = Emoción en el instante “t”. Viene dada por el índice de satisfacción en el que se encuentra el robot.

M = Conjunto de objetivos que el robot desea alcanzar en el instante “t”. Pueden ser metas a corto o mediano plazo.

En ese sentido, para el estado mental “i”, en el instante “t”, el robot tiene una emoción E, con un conjunto de comportamientos específicos C, que le permiten alcanzar las metas M planteadas en ese instante de tiempo. Así, las emociones son una especie de filtro que determina que comportamientos específicos se pueden realizar para alcanzar en ese instante “t” las metas M.

Cada robot del sistema tendrá sus propios estados mentales activos en cierto instante, pudiendo coincidir en ciertos momentos con los estados de los otros individuos. Todo lo anterior, conlleva a un comportamiento a nivel colectivo que no puede ser predicho con anterioridad, aumentando así los niveles de auto-organización y emergencia del sistema.

CONCLUSIONES

Se propone en este trabajo un modelo emocional, para ser implementado en un enjambre de robots de propósito general. El modelo considera cuatro emociones: alegría, tristeza, rechazo e ira, y un estado neutro. Esas emociones influyen en el comportamiento específico del robot: en cómo lleva a cabo sus acciones individuales, en la forma de interactuar con otros individuos, etc.

En este trabajo, se describe el diseño de un módulo conductual basado en emociones, para la gestión de tres tipos de comportamientos: reactivos, cognitivos y sociales. El módulo cuenta con 4 capas, tres que gestionan directamente los tipos de comportamientos, y una capa afectiva que gestiona el proceso emocional.



Para explotar el uso de las emociones, es necesario introducir otros conceptos: índice de satisfacción, estados mentales, habilidades básicas, etc. En particular, los estados mentales establecen la relación entre las emociones, los objetivos, y los posibles comportamientos específicos que puede realizar en un momento dado un robot. El uso de las emociones en robots no garantiza una mejora en su funcionamiento, sin embargo, permite definir los tipos de comportamientos específicos que puede realizar un robot en función de ellas. Esto genera una gran diversidad comportamental en los robots, que coadyuva a la aparición de comportamientos emergentes en un sistema multi-robots, así como influyen, tal como lo hacen en los humanos, en los procesos de toma de decisiones por parte de los robots.

Visto desde el enfoque colectivo, la inclusión de emociones en el sistema puede influir de forma positiva en la adaptación de los robots al entorno, en la forma cómo enfrentan la dinámica del sistema, reflejando esto en cómo actúa el sistema ante las fallas, los bloqueos, los cambios repentinos durante la ejecución de las tareas, y otros aspectos no previstos durante su funcionamiento. Ahora bien, próximos trabajos deberán analizar en profundidad esa influencia, en particular, su repercusión en los procesos emergentes auto-organizados de un sistema multi-robots.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Decanato de Investigación UNET titulado: "Cooperación de Múltiples Robots", Código: 01-004-2013. Dr. Aguilar ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Prometeo del Ministerio de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Polesel R., Rosati R., Speranzon A., Ferrari C. and Pagello E. (2000). Usign Collision Avoidance Algorithms for Designing Multi-robot Emergent Behaviors. International Conference on Intelligent Robot and Systems. (Pp. 1403-1409), Takamatsu, Japan,
- [2] Nighot M.K., Patil V.H and Mani G.S. (2012). Multi-robot Hunting Based on Swarm Intelligence. 12th International Conference on Hybrid Intelligent Systems. (Pp. 203-206), Pune, India.
- [3] Lee J.H., Wook Ahn C. and An J. (2013). A Honey Bee Swarm-Inspired Cooperation Algorithm for Foraging Swarm Robots: An Empirical Analysis. International Conference on Advance Intelligent Mechatronics. (Pp. 489-493), Wollongong, Australia.
- [4] Cao Y., Fukunaga A., Kahng A. and Meng F. (1995). Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions. International Conference on Intelligent Robots and Systems. (Pp. 226-234), Pittsburgh, USA.



- [5] Davis D. (2000). Agents, Emergence, Emotion and Representation. 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2000). (Pp. 2577-2582), Nagoya, Japan.
- [6] Rairán J. (2010). Control Based on Human Emotions: A Survey. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 7, No. 2, (Pp. 27-35).
- [7] Ma. C. (2011). The Construction of an Emotion Model of Agent Based on the OCC Model. 2011 International Conference on Computational and Information Sciences. (Pp. 940 – 943). Chengdu, China.
- [8] Ortony A., Clore G.L. and Collins, A. (1990). The Cognitive Structure of Emotions. Cambridge University Press.
- [9] Riahi K. Jangjou M., Khaefinejad N. and Laleh, T. (2012). Adventurous Robots Equipped with Basic Emotions. International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support. (Pp. 117-120), New Orleans, USA.
- [10] Wang Y. (2007). On the Cognitive Processes of Human Perception with Emotions, Motivations, and Attitudes. Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence. Vol. 1, No. 4, (Pp. 1-13).
- [11] Perozo N., Aguilar J., Terán O and Molina, H. (2012). Un Modelo Afectivo para la Arquitectura Multiagente para Sistemas Emergentes y Auto-Organizados (MASOES). Revista Técnica Ingeniería de la Universidad del Zulia. Vol. 35, No. 1, (Pp. 80-90).
- [12] Perozo N., Aguilar, J and. Terán O. (2008). Proposal for a Multiagent Architecture for Self-Organizing Systems (MASOES). Intelligence and Security Informatics, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5075, (Pp. 434-439).
- [13] Gil A., Aguilar J., Rivas R., Dapena E and Hernández, K. (2015). Architecture for Multi-robot Systems with Emergent Behavior. International Conference on Artificial Intelligence (ICAI 2015), (Pp. 41-47), USA.
- [14] Aguilar J. (2014), Introducción a los Sistemas Emergentes. Talleres Gráficos, Universidad de Los Andes. Venezuela.
- [15] Levenson R. (1999). The Intrapersonal Functions of Emotion. COGNITION AND EMOTION, Vol. 13, No. 5 (Pp. 481-504).



[16] Perozo N., Aguilar J., Terán, O. and Molina H. (2013). A Verification Method for MASOES. IEEE Transactions on Cybernetics, Vol. 43, No. 1 (Pp. 64-76).

BIOGRAFIA DE LOS AUTORES

Angel Eduardo Gil Pérez

Es Ingeniero en Informática de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela. Obtuvo un Diploma de Estudios Avanzados en Ingeniería de Sistemas y Automática en la Universidad de Málaga, España. Actualmente, es candidato a Doctor en el programa de Ciencias Aplicadas de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Él es profesor Asistente del Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), investigador del Laboratorio de Prototipos de la misma Universidad, del cual fue responsable entre los años 2010- 2015. Actualmente, es coordinador de Investigación Industrial del Decanato de Investigación UNET. Ha publicado alrededor de 20 artículos en revistas y actas de congresos, en los campos de robótica, desarrollo de software, entre otros.

José Lisandro Aguilar Castro

Es Ingeniero de Sistema de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Obtuvo una Maestría en Informática en la Universidad Paul Sabatier, Toulouse, France y el Doctorado en Ciencias Computacionales en la Universidad Rene Descartes, Paris, France. Además, realizó un Postdoctorado en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Houston. Es profesor Titular del Departamento de Computación de la Universidad de los Andes (ULA) e investigador del Centro de Microcomputación y Sistemas Distribuidos (CEMISID) de la misma universidad. Es miembro Correspondiente Estatal de la Academia de Mérida y del Comité Técnico Internacional de la IEEE en Redes Neuronales. Además, actualmente es el coordinador del Programa Doctoral en Ciencias Aplicadas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Fue Presidente fundador del Centro Nacional de Desarrollo e Investigaciones en Tecnología Libre (CENDITEL), y de FUNDACITE-Mérida. Además, Jefe del Departamento de Computación de la ULA del 2011 al 2014, y Director del CEMISID del 2001 al 2007. Ha publicado más de 400 artículos científicos en revistas, libros y actas de congresos internacionales, en los campos de Sistemas Paralelos y Distribuidos, Computación Inteligente, Optimización Combinatoria, Reconocimiento de Patrones, Sistemas de Automatización Industrial, etc. También ha sido autor/coautor de 10 libros, editor de varios libros, y forma parte de varios comités editoriales de revistas. Además, ha dictado cursos de entrenamiento nacional e internacional y ha recibido varios premios/reconocimientos nacionales e internacionales científicos. El Dr. Ha sido presidente del Comité Científico de varios eventos nacionales e internacionales. Además, ha coordinado o participado en más de 30 proyectos de investigación o industriales. Por otro lado, ha sido consultor de diferentes empresas, ministerios y universidades latinoamericanas y venezolanas. Finalmente, ha sido tutor de más de 90 tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado.

Rafael de Jesús Rivas Estrada

Es Ingeniero de Sistemas y Magister Science de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. DEA en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Carlos III de Madrid, España. Realizó su



Doctorado en Ingeniería en la Universidad Carlos III de Madrid. Su tesis de Doctorado fue en el área de Arquitecturas de Control para Robots Móviles Personales. Es uno de los creadores del Robot Maggie de la UC3M. Es profesor Titular adscrito al Departamento de Computación de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Eladio Dapena González

Es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Doctor en Ingeniería Industrial y DEA por la Universidad Carlos III de Madrid, España, Posee Especialización en Automatización Industrial por la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil. Es profesor titular de la ULA y profesor/investigador visitante en varias universidades en el mundo con 25 años de experiencia. Dirige desde hace 15 años el Laboratorio de Investigación LaSDAI de la Facultad de Ingeniería ULA desarrollando proyectos de I+D+i en las áreas de automatización industrial y Robótica. Cuenta con diversas publicaciones y es revisor de diferentes revistas y comités en las áreas de Robótica y Automatización. Tutor/cotutor de más de 20 tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Ha participado en diversas revisiones curriculares y creador del primer Diplomado en Robótica de Venezuela. Ha participado en Proyectos/Asesorías en diversas industrias. Además ha ocupado cargos de dirección universitaria. Fue Presidente fundador de la Asociación Venezolana de Robótica y Domótica (AVERO).