

## CONCLUSIONES

A lo largo del documento se ha estudiado y revisado el ámbito de investigación de la inteligencia artificial con especial referencia a los Sistemas Multiagente, describiendo a partir de sus conceptos básicos los complejos procesos que en ellos se originan.

Los Sistemas Multiagente pueden definirse como sistemas en los que diversas entidades inteligentes, y en general distribuidas, interactúan para la consecución de un objetivo o conjunto de objetivos, o bien para la realización de una serie de tareas. Esta línea de investigación aparece en los últimos veinte años como una consecuencia del proceso de evolución desde los sistemas centralizados hacia la inteligencia distribuida. El objetivo de la misma es dar respuesta a la necesidad de resolver grandes problemas en los que los datos pueden encontrarse distribuidos y tener distinta naturaleza. Ante esta situación, las actividades y la inteligencia deben ser también distribuidas y en este principio es en el que se apoya la propia definición de los sistemas multiagente.

La introducción inicial al concepto de sistema multiagente muestra las propiedades características de los mismos. Estas propiedades son las que los hacen apropiados para la resolución de problemas de elevada complejidad en diversos ámbitos. Lo cual explica, a su vez, la elevada difusión de los mismos, tanto en el ámbito científico como industrial. Ejemplos de estas aplicaciones se encuentran en los sistemas de apoyo a la toma de decisiones en general, entre estos se destacan los sistemas de planificación y control de la producción, la gestión de la cadena de suministro, o la planificación y control de tráfico y transporte entre otros, pero también la simulación de fenómenos sociales.

La capacidad de interacción de los agentes entre sí y con el medio es la desencadenante de la metáfora de inteligencia social propia de los sistemas multiagente. No obstante, en el paso desde las interacciones entre los agentes hasta la inteligencia global emergente en el sistema, son numerosos los procesos y fenómenos que se originan en el sistema.

Como consecuencia de las interacciones nacen en el sistema estructuras y organizaciones que hacen que el nivel de funcionalidad aumente, al mismo tiempo que aparecen relaciones y restricciones para los comportamientos individuales de los agentes.

La organización de un sistema multiagente puede definirse como el conjunto de relaciones dinámicas que existen entre sus componentes. Esta organización aporta cohesión al sistema y constituye, simultáneamente, la base sobre la que se apoyan las interacciones y el modo en que estas se manifiestan.

Para el estudio de estas interacciones existen diversos modelos que se aproximan tanto al agente en sí como a las acciones que este lleva a cabo. Los distintos puntos de vista empleados son los que diferencian unas aproximaciones de otras, enfatizándose unos aspectos del proceso frente a otros en cada caso.

## UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

---

Un aspecto básico que está implícito en la definición y constitución de una organización es el reparto de tareas. Los enfoques clásicamente empleados para esta labor permiten una primera aproximación a los procesos inteligentes que aparecen en los sistemas multiagente a un nivel superior al de las interacciones, tales como las conversaciones, los procesos de aprendizaje o de coordinación.

El método básico para que se lleve a cabo la interacción entre los agentes es la comunicación. Gracias a la comunicación los agentes pueden cooperar, coordinarse o llevar a cabo tareas conjuntas. Con el objetivo de establecer un marco común que permita la comunicación entre agentes heterogéneos aparecieron los lenguajes de comunicación de agentes. Por encima de los cuales se definen los protocolos de conversación, que se alejan de la perspectiva centrada en el intercambio de mensajes individuales para tomar una perspectiva de la interacción más amplia.

Otro proceso complejo que representa un rasgo característico y de gran importancia en la definición de la inteligencia de los sistemas multiagente es su capacidad de aprendizaje. El aprendizaje en un sistema multiagente va más allá del aprendizaje individual de sus miembros y constituye un fenómeno social. Su aportación al carácter inteligente del sistema se hace patente al posibilitar que los sistemas multiagente sean capaces de enfrentarse a problemas nuevos que aparecen en los entornos típicamente dinámicos de los mismos.

Por último, las tareas de coordinación, aunque no son directamente productivas son especialmente relevantes y necesarias en los sistemas multiagente. Los agentes se coordinan entre sí para gestionar las dependencias existentes entre sus actividades. Las situaciones que han de manejar son en general muy complejas. No obstante, las soluciones aportadas a estas se traducen en una mejora de la eficiencia total del sistema.

El estudio y aproximación progresiva a los sistemas multiagente, en cuanto a complejidad de comportamiento social del mismo y de los procesos que lo caracterizan, se completa con referencias a las últimas tendencias seguidas en estas líneas presentadas. De esta forma se enlaza con la situación actual del ámbito de investigación.

La realización del documento presentado constituye una guía para el estudio de los Sistemas Multiagente. Las mayores dificultades para la elaboración del mismo han surgido de dos características propias de este ámbito. De esta forma, la relativa juventud de esta línea de investigación, junto con su amplio espectro, hace que las aportaciones al mismo sean, en ocasiones, dispersas, por lo que resulta complejo identificarlas y abstraer sus aportaciones al ámbito.

Partiendo de la identificación y diferenciación de procesos aquí recogida, así como la revisión de estudios referidos a ello, se sientan las bases para posteriores profundizaciones y aportaciones al área de investigación en Sistemas Multiagente.

El estudio de los sistemas multiagente en sí mismos, o empleados como herramienta para la resolución de problemas, está motivado por la especial naturaleza de estos. Su aparición surge de la confluencia de numerosas disciplinas científicas que le aportan un carácter

## UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

---

interdisciplinar. De tal forma que según el aspecto de ellos que se resalte en su estudio o que sea necesario que sobresalga en una aplicación, pueden notarse las influencias, usándose bien las herramientas propias de la Teoría de Juegos, bien las de las técnicas Metaheurísticas, o bien las de los Sistemas de Información entre otros, y por citar sólo algunos de los ámbitos de estudio en los cuales se basa.

Además de reunir en su seno diversas técnicas y herramientas que le confieren un gran potencial para resolver problemas, los Sistemas Multiagente avanzan aún más allá al posibilitar el desarrollo de interacciones entre sus elementos. Como consecuencia, se posibilita el aprendizaje mediante el intercambio de información, colaboración de distintas técnicas mediante el intercambio de soluciones para resolver un problema, así como, la gestión eficiente de los recursos gracias a las técnicas de coordinación.

## LÍNEAS FUTURAS

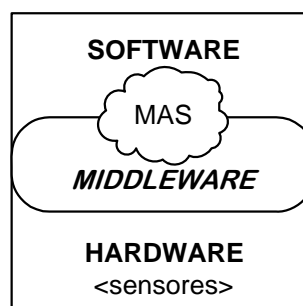
A partir del conocimiento teórico del campo presentado, la línea de investigación lógica a seguir es la del inicio de desarrollos en alguno de los ámbitos de aplicación de los Sistemas Multiagente.

Como se ha mostrado en el documento existen numerosas posibilidades para llevar este campo de investigación a la práctica. El ámbito tecnológico elegido para el desarrollo de aplicaciones de los sistemas multiagente es el de las redes de sensores inalámbricos.

Una red de sensores inalámbricos no es más que un conjunto de sensores que se comunican mediante conexiones inalámbricas transfiriendo entre ellos datos muestreados del entorno. Las características básicas de un sistema como una red de sensores inalámbricos son las restricciones de recursos a las que está sometido. Los nodos tienen, típicamente, limitaciones de energía, limitaciones en el ancho de banda de comunicación, así como en su capacidad de almacenamiento y procesado. A estas características hay que añadir la naturaleza dinámica de los entornos en los que se aplican.

La convergencia de los Sistemas Multiagente en el ámbito de las redes de sensores inalámbricos se concreta con la identificación de los nodos de la red de sensores con los agentes propios del sistema multiagente a implementar.

La estructura de niveles de estos nodos sería como la mostrada en la Figura 1. Como se aprecia en ella, el nivel básico del nodo se corresponde con la capa hardware donde se ubican los sensores. El nivel superior corresponde a la abstracción del agente y, entre ambos niveles se ubica una capa de middleware que permite la transición de la información recogida en la parte hardware hacia los módulos de tratamiento y procesado correspondientes por parte del agente.



**Figura 1: Estructura de capas para un nodo en un sistema multiagente embebido en una red de sensores inalámbricos (Fuente: Elaboración propia).**

En este sentido el grupo Ingeniería de Organización participa en el proyecto “Infraestructura de ambiente inteligente mediante boyas para la mejora de la capacidad, eficiencia y seguridad

## UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

---

del transporte marítimo-fluvial y su integración sostenible en el entorno – BOYAS” financiado por el Programa PROFIT con las referencias FIT-340000-2006-24 y FIT-340000-2007-143, cuyo objetivo es el de creación de una infraestructura inteligente embebida en las distintas boyas del río Guadalquivir para la toma de decisiones sobre diversos aspectos como son la gestión del tráfico, la gestión de la seguridad y la gestión de diversos aspectos relacionados con el ecosistema.

Así, se pretende que estos elementos sirvan como nodos de recogida y gestión de información en el ambiente marítimo-fluvial contribuyendo al objetivo final de aumentar y mejorar las capacidades del sistema desplegado actualmente para gestión del entorno.

A partir de la propia naturaleza de la aplicación, se infiere la identificación de las boyas con los distintos agentes configurando una auténtica red distribuida. Estos aspectos favorecen que las posibles aportaciones esperables se fundamenten en los métodos de colaboración y coordinación que los agentes han de emplear para la gestión de la citada información.

Así pues, la línea de trabajo futuro consiste en el desarrollo de un sistema multiagente para una aplicación concreta de un entorno marítimo-fluvial. Durante el desarrollo de este trabajo se podrá verificar la utilidad de herramientas y modelos estudiados en el documento, así como realizar aportaciones propias a los mismos a partir de la experiencia ingenieril de desarrollo de una aplicación.

Los resultados a obtener en el desarrollo del proyecto pretenden extrapolarse a otros ámbitos de aplicación propios de las redes de sensores inalámbricos, contemplándose la posibilidad de realizar, de igual forma, aportaciones en ellos. Para ello se deberán generalizar los resultados obtenidos, de tal forma que se adecuen a otro tipo de aplicaciones de redes de sensores, como por ejemplo, su integración en las denominadas casas inteligentes o en sistemas para monitorización y localización de personas.

# UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS: ESTUDIO Y REVISIÓN

---