

# Concurrencia de los ITS y los Sistemas Multiagente

**María del Carmen Delgado Román**

Investigadora FPI, Grupo de Ingeniería de Organización, DOIGE, Universidad de Sevilla,  
España

**Alejandro Escudero Santana, Pablo Cortés Achedad, Luis Onieva Giménez**

{Investigador FPI, Profesor Titular de Universidad, Catedrático de Universidad}  
Grupo de Ingeniería de Organización, DOIGE, Universidad de Sevilla, España

## RESUMEN

Los ITS permiten facilitar la toma de decisiones de los controladores de las redes de transporte, mejorando la operación del conjunto del sistema. Las características de estos los hace especialmente apropiados para ser desarrollados mediante Sistemas Multiagente. Este es el planteamiento del proyecto BOYAS.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transporte son, generalmente, sistemas distribuidos y a gran escala. La complejidad inherente a los mismos proviene de numerosos aspectos. Ya que los sistemas de transporte involucran a personas, vehículos, distintas tareas y aspectos tecnológicos junto a la infraestructura física que define al sistema y, todos estos elementos, además, interactuando entre sí de forma compleja. En consecuencia, muchos aspectos de los sistemas de transporte son dinámicos, no lineales y pueden presentar cierto grado de incertidumbre.

Pese a la elevada complejidad de los sistemas de transporte, los avances que se están produciendo cada día en cuanto a diseño de sensores, medios de comunicación y algoritmos de optimización y control se refiere, proporcionan el marco adecuado para el desarrollo de sistemas de transporte cada vez más eficientes y eficaces.

En esta situación, y apoyado en las nuevas tecnologías, surgen los Sistemas de Transporte Inteligente (*Intelligent Transport Systems*, ITS). La funcionalidad básica de un ITS es mejorar o facilitar la toma de decisiones, generalmente en tiempo real, de los controladores de la red de transporte, mejorándose de este modo la operación del conjunto del sistema.

La implementación de los ITS repercute directamente en aspectos como la seguridad, la eficiencia de los flujos de transporte e incluso la calidad del entorno, minimizando los posibles daños o afecciones en él. Además de esto, la mejora en la gestión de los sistemas de transporte favorece la posición económica de estos en un mercado globalizado y cada día más competitivo.

El creciente desarrollo de los ITS se hace especialmente patente en sus aplicaciones al

transporte por carretera, donde permite realizar funciones de control y monitorización del tráfico o gestión de incidentes, entre otras. Tecnologías familiares a los ITS son los sistemas de pago electrónico, sistemas de navegación, señalización dinámica, etc. Además, de estas, los ITS también tienen aplicaciones al transporte intermodal o a operaciones de *drayage*, entre otras.

## **2. APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE**

La aparición de los denominados ITS supuso la aplicación integrada de tecnologías de comunicación, control e información a los sistemas de transporte. Las técnicas de Inteligencia Artificial también han sido empleadas en el desarrollo de estos sistemas, como es el caso de los sistemas de inyección de combustible o control de tracción cada día presentes en mayor número de vehículos.

Entre las técnicas y herramientas propias de este ámbito se encuentran los sistemas expertos, las redes neuronales, las técnicas de aprendizaje automático o los sistemas multiagente. Estas técnicas resultan aplicables en la operación del sistema de transporte, tanto al vehículo como al usuario, así como a la propia infraestructura del sistema y las distintas interacciones que se producen entre los elementos constituyentes del sistema.

Los continuos avances en electrónica, en técnicas de computación y comunicación son los que han hecho posible la aparición de los ITS. La confluencia que actualmente se está produciendo entre estos sistemas y las técnicas de Inteligencia Artificial, Inteligencia Ambiental y las redes de sensores favorece el mayor desarrollo de los mismos. Ya que estas herramientas permiten obtener una gran cantidad de datos que pueden ser manejados en pos de responder a las necesidades del propio sistema de transporte o de un usuario concreto de forma amigable y prácticamente no intrusiva.

## **3. DESARROLLO Y APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA, LOS SISTEMAS MULTIAGENTE**

Los denominados sistemas multiagente (Multiagent Systems, MAS) son sistemas en los que diversas entidades inteligentes interactúan para la consecución de un conjunto de objetivos o la realización de una serie de tareas.

Esta línea surgió para cubrir la necesidad de resolver grandes problemas en los que los datos pueden estar distribuidos y ser de distinta naturaleza. Ante esta situación, las actividades y la inteligencia deben ser también distribuidas. Otras situaciones apropiadas para la aplicación de los sistemas multiagente son aquellas que requieren de un punto de vista distribuido para su estudio. Tal como es el caso de los sistemas de transporte.

Los dominios de aplicación de los sistemas multiagente se caracterizan por un conjunto de rasgos típicos, tales como distribución, complejidad, capacidad de interacción flexible, dinamismo e inconcreción inicial del problema a resolver (Parunak, 1999).

El creciente desarrollo y la amplia difusión de los MAS se hace notar en muy diversas áreas de investigación y de la industria. Así, existen numerosas aplicaciones en robótica, simulación de sistemas sociales, comercio electrónico o para aplicaciones relacionadas con la medicina. Áreas en las que se ha hecho especialmente notable el desarrollo de los MAS son las correspondientes a la Planificación y Gestión de la Producción, la Cadena de Suministro y también, el transporte.

La Gestión de la Producción puede definirse como la planificación, programación y control del flujo de materiales que circula a través del sistema productivo (Larrañeta et al., 1988). Esta se encarga de analizar qué decisiones son eficaces en pos de cumplir con los objetivos de la empresa, así cómo de determinar los criterios de valoración para identificar la eficiencia del sistema.

Las características y exigencias de los mercados actuales requieren de las empresas y centros de fabricación bajos tiempos de producción, bajos precios, ciclos de vida cortos para los productos, etc. Ante esta situación, se hacen necesarios nuevos enfoques y técnicas para los sistemas de planificación y control de la producción. Técnicas que deben proporcionar al sistema características tales como flexibilidad, agilidad o reactividad entre otras.

Así pues, se requiere que los sistemas de producción sean adaptativos y los sistemas de control sean inteligentes, flexibles y tolerantes a fallos. Para conseguirlo, numerosos enfoques han negado las estructuras centralizadas a favor de las distribuidas. Estos nuevos sistemas de producción y control han de ser reconfigurables, estar compuestos por módulos autónomos e inteligentes capaces de interactuar dinámicamente entre sí para la consecución de un objetivo local y global. De este modo se produce la adopción de los MAS en varios entornos industriales. La adopción de este paradigma en el ámbito industrial puede revisarse en (Caridi y Cavalieri, 2004), donde se puede observar cómo destacan las aplicaciones en programación y monitorización frente a otros dominios de la Planificación y el Control de la Producción.

Por su parte, la aparición del concepto de cadena de suministro también exigió el uso de técnicas de análisis y estudio distribuido, que se alejaron de los tradicionales enfoques centralizados (Moyaux et al., 2006).

La gestión de la cadena de suministro (Supply Chain, SC) es una práctica de negocio empleada para resolver algunos de los problemas industriales típicos mediante el concepto de colaboración interempresa.

Los MAS también se han aplicado a la SC. El modelo de SC sugiere, de forma natural, un enfoque de descomposición, lo que a su vez favorece el uso de las técnicas basadas en agentes. De hecho, las unidades de fabricación distribuida tienen las mismas características que los agentes: autonomía, habilidad social, reactividad y proactividad. Por lo cual, puede decirse que los MAS ofrecen una forma de elaboración de sistemas de producción descentralizada, emergente y concurrente.

Actualmente, las aplicaciones de MAS en los ámbitos de fabricación y gestión de la SC constituyen un área de investigación fuertemente emergente y profusa al mismo tiempo. Una de las primeras aplicaciones de MAS a la SC es el modelo ISCM, considerado como uno de los pioneros en este ámbito. En la Tabla 1 aparecen también algunas aproximaciones más recientes.

<i>Gestión de la Producción</i>	<i>Cadena de Suministro</i>
(Tchikou y Gouardres, 2003) Herramienta de control	(Fox et al., 1993 ) Proyecto ISCM (Integrated Supply Chain Management)
(Lima et al., 2006) Herramienta de planificación	(Carvalho y Custódio, 2005) Herramienta de optimización
(Mahesh et al., 2007) Herramienta de perspectiva global	(Guo et al., 2004) Enriquecimiento de un Sistema de Apoyo a la toma de Decisiones

**Tabla 1 – Aplicaciones de MAS en los ámbitos de Gestión de la Producción y Cadena de Suministro.**

La gestión de sistemas de transporte, los ITS y las aplicaciones de logística de transporte tienen también características que las hacen adecuadas para el uso de MAS. En este ámbito, la forma de incursión de los MAS más habitual es como sistema de apoyo a la toma de decisiones, (*Decision Support System, DSS*) (Davidsson et al., 2004).

La gestión del tráfico urbano representa una de las principales funciones de los ITS, como se confirma en (Cuenca y Ossowski, 1999) y (Ossowski et al., 2004). En el primer caso, los agentes distribuidos por la red de tráfico son capaces de recoger datos de las zonas en que se encuentran, identificar problemas, estimar las consecuencias de estos y seleccionar planes de señalización y actuación de forma coordinada con el resto de agentes. El mismo autor principal presenta una arquitectura de MAS para DSS en (Ossowski et al., 2004) y muestra su aplicación para gestionar el tráfico en Bilbao.

En cuanto a la utilidad de los ITS para responder rápida y eficientemente ante accidentes de tráfico (Tomás y García, 2005) proponen un MAS capaz de gestionar las tareas a desarrollar

en caso de incidente. Concretamente, el MAS propuesto permite ayudar a los gestores de carretera en caso de incidente meteorológico.

Los ITS están siendo ampliamente aplicados para el transporte por carretera. La presencia de la Inteligencia Artificial para este ámbito se hace patente en aplicaciones de gestión del tráfico, gestión de incidentes o en los denominados coches inteligentes. Según (Miles y Walker, 2006) la Inteligencia Artificial se ha convertido en un importante factor en el esfuerzo para la reducción del riesgo y el aumento de la seguridad en la conducción en los últimos años, particularmente en los vehículos.

No obstante, los MAS son aplicables a numerosas situaciones de transporte. En (Cuenca y Ossowski, 1999) se muestra su aplicación para gestión de una red de energía. El sistema propuesto trata de asegurar un nivel y calidad de energía eléctrica disponible, gestionando los posibles mensajes de alarma a producirse y planificando la atención a situaciones de avería.

Otro uso típico es el de la generación de horarios o programaciones en el ámbito ferroviario. Concretamente, (Böcker et al., 2001) muestra el uso de MAS para la obtención de programaciones para un sistema de acoplamiento y compartición de vías de trenes.

También son aplicables para la evaluación de la situación de facilidades de transporte. Así, son empleados para la evaluación de la localización de un *hub* para transporte intermodal de mercancías en (van Dam et al., 2007). En este caso, el modelo propuesto vuelve a constituir un DSS, que ayuda al decisor en la elección final, siendo esta, igualmente, una tarea típica de los ITS.

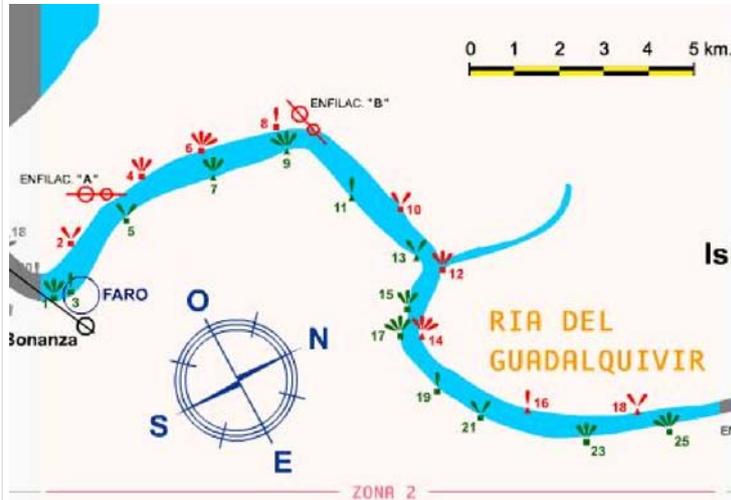
Así pues, la elevada aplicación y aplicabilidad de los MAS en diversos ámbitos se muestra en la adecuación de estos a situaciones complejas y distribuidas en entornos de distinta naturaleza, que van desde la gestión de la SC hasta los sistemas de transporte.

#### **4. CONFLUENCIA DE LOS ITS Y LOS MAS EN EL PROYECTO BOYAS**

Tradicionalmente, tanto la aplicación de los MAS en sistemas de transporte por un lado, como la de los ITS por otro, se han centrado en la gestión del tráfico rodado y el desarrollo de DSS en esta área. El sector marítimo es uno de los que menos atención ha recibido, centrándose las aplicaciones de los MAS, para este caso, en aspectos relativos al aumento de la eficiencia de las operaciones con contenedores en los terminales (Davidsson et al., 2004).

El proyecto “Infraestructura de ambiente inteligente mediante boyas para la mejora de la capacidad, eficiencia y seguridad del transporte marítimo-fluvial y su integración sostenible en el entorno – BOYAS” aúna en torno a sí a los MAS y los ITS en un entorno de transporte generalmente menos atendido, como es el sector marítimo.

El objetivo del proyecto es crear una infraestructura inteligente embebida en las distintas boyas del río Guadalquivir, otros elementos propios como la esclusa, las balizas o la plataforma central de la Autoridad Portuaria e incluso, también los mismos barcos que naveguen por el río (Figura 1).



**Fig. 1 – Zona intermedia del cauce del río Guadalquivir.**

No obstante, el proyecto pretende ir más allá del desarrollo de un ITS para el ambiente marítimo, pues además de las funcionalidades típicas y necesarias para la adecuada gestión y direccionamiento de las embarcaciones navegantes por la ría, se aprovechará la infraestructura desplegada para la toma de un elevado número de medidas ambientales. Así pues, la creación de esta infraestructura conllevará el enriquecimiento global del sistema y la mejora de sus funcionalidades en cuanto a capacidad, nivel de seguridad y de servicio se refiere. Se favorecerá la integración de los sistemas de los sistemas de señalización, monitorización y control del tráfico en condiciones de eficiencia y seguridad. Y además de todo ello, se pretende influir de forma importante sobre aspectos asociados a los sistemas marítimo-fluviales como es la producción agraria y el desarrollo sostenible del transporte que tiene lugar en las instalaciones del puerto de Sevilla de forma respetuosa con el medio.

Las múltiples aplicaciones del sistema pueden dividirse en tres grandes grupos: las relacionadas con la gestión del tráfico de buques, las aplicaciones en materia de seguridad y las aplicaciones relativas al cuidado y preservación del entorno.

En los dos primeros grupos es donde se engloban las aplicaciones y características propias del sistema visto como un ITS, pues en pos de mejorar, facilitar y hacer más seguro el tránsito de las embarcaciones por la vía, la infraestructura podrá actuar para señalización de zonas de compleja maniobrabilidad, envío de alarmas en caso de peligro para las embarcaciones o el propio sistema, recogida de información de los buques o naves, etc. Estas tareas se desarrollarán análogamente a cómo se realizan para sistemas de gestión del tráfico rodado, pero en un entorno más hostil y complejo como es el mar. Por su parte, el carácter integrador

de la infraestructura y el ánimo del proyecto por explotar todas las posibilidades que ofrece el entorno se muestra en las aplicaciones del último grupo nombrado. Las aplicaciones para monitorización de la calidad de las aguas, condiciones ambientales o incluso la posibilidad de iluminar ciertos parajes de interés turístico ponen de manifiesto el carácter de gestión global de la infraestructura a desarrollar.

Esta infraestructura se apoya fundamentalmente en el desarrollo de una red de sensores inalámbrica, que será la encargada de recoger toda la información del entorno. Sobre este nivel hardware se desarrollará el MAS, encargado de gestionar y tratar la información para tomar decisiones inteligentes sobre las acciones a ejecutar. En el MAS es en el que se encapsula la inteligencia del sistema.

Durante el próximo año el desarrollo del proyecto mostrará cómo la exportación de numerosas funcionalidades ampliamente desarrolladas para ITS en el ámbito del tráfico rodado es posible y de gran utilidad para entornos marítimo-fluviales, y todo esto apoyado en el paradigma de los MAS que, representan una herramienta de gran potencial.

## **5. CONCLUSIONES**

El desarrollo de los ITS y su importancia e influencia en los sistemas de transporte actuales es cada día mayor. Análogamente, el estudio y aplicación de los MAS en muy diversas áreas de la ciencia y la industria favorecen la extensión de estos a un mayor número de ámbitos cada vez. Así, teniendo en cuenta las características definitorias de los MAS y los requerimientos de los ITS, resulta adecuada la confluencia de ambas técnicas. El proyecto BOYAS pretende desarrollar un ITS basado en un sistema MAS para el entorno marítimo-fluvial del río Guadalquivir, poniéndose de manifiesto las ventajas y los retos derivados de esta confluencia.

## **REFERENCIAS**

BÖCKER, J. LIND, J. y ZIRKLER, B. (2001) Using a multi-agent approach to optimise the train coupling and sharing system. *European Journal of Operational Research* 134, pp. 242-252.

CARIDI, M. y CAVALIERI, S. (2004) Multi-agent systems in production planning and control: an overview. *Production Planning & Control* 15, pp. 106-118.

CARVALHO, R. y CUSTÓDIO, L. (2005) A Multiagent Systems Approach for Managing Supply-Chain Problems: new tools and results. *Inteligencia Artificial* 9 (25), pp. 79-88.

CUENA, J. y OSSOWSKI, S. Distributed Model for Decision Support. En: G. Weiss (ed.) *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, The MIT Press, 1999. pp. 459-504.

DAVIDSSON, P., HENESEY, L., RAMSTEDT, L., TÖRNQUIST, J. y WERNSTEDT, F. (2005) An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research:*

*Part C. Emerging Technologies* 13 (4), pp. 255-271.

FOX, M.S., CHIONGLO, J.F. y Barbuceanu, M. (1993) The Integrated Supply Chain Management System. *Internal Report*. Dept. of Industrial Engineering, University of Toronto.

GUO, Y., MÜLLER, J. P. y BAUER V. (2004) A Multiagent Approach for Logistics Performance Prediction Using Historical and Context Information. *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. 19-23 Julio, Nueva York, Estados Unidos.

LARRAÑETA, J.C., ONIEVA, L. y LOZANO, S. (1988) *Métodos modernos de gestión de la producción*. Alianza Editorial, S.A.

LIMA, R.M., SOUSA, R.M. y MARTINS, P.J. (2006) Distributed production planning and control agent-based system. *International Journal of Production Research* 44 (18) pp. 3693-3709.

MAHESH, M., ONG, S.K., NEE, A.Y.C., FUH, J.Y.H. y ZHANG, Y.F. (2007) Towards a generic distributed and collaborative digital manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23(3) pp. 267-275.

MILES, J.C. y WALKER, A.J. (2006) The potential application of artificial intelligence in transport. *IEE Proceedings on Intelligent Transport Systems* 153 (3), pp. 183-198.

MOYAUX, T., CHAIB-DRAA, B. y D'AMOURS, S. Supply Chain Management and Multiagent Systems: An overview. En: B. CHAIB-DRAA, J.P MÜLLER (eds.) *MultiAgent-Based Supply Chain Management*. Springer.

OSSOWSKI, S. HERNÁNDEZ, J.Z., BELMONTE, M.V., MASEDA, J., FERNÁNDEZ, A. y GARCÍA-SERRANO, A. (2004) Multi-Agent Systems for Decision Support: A case study in the transportation management domain. *Applied Artificial Intelligence* 18, pp. 779-795.

PARUNAK, H.V.D. (1999) Industrial and Practical Applications of DAI. En G. Weiss (ed.) *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, The MIT Press, 1999. pp. 377-421.

TOMÁS, V.R. y GARCÍA, L.A. (2005) A Cooperative Multiagent System for Traffic Management and Control. *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous agents and multiagent systems*. 25-29 Julio, Utrecht, Holanda.

TCHIKOU, M. y GOUARDRES, E. (2003) Multi-agent Model to Control Production System: A Reactive and Emergent Approach by Cooperation and Competition between Agents. *Third International Symposium on Multi-agent Systems, Large Complex Systems and E-Businesses (MALCEB 2002)*. 8-10 Octubre, Erfurt, Alemania.

VAN DAM, K. H., LUKSZO, Z., FERREIRA, L. y SIRIKIJPANICHKUL, A. (2007) Planning the Location of Intermodal Freight Hubs: an Agent Based Approach. *Proceedings of the 2007 IEEE Conference on Networking, Sensing and Control*. 15-17 Abril, Londres, Inglaterra.