

Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización. Técnicas Computacionales de Simulación de Sistemas Complejos *

Adolfo López Paredes ¹, Cesáreo Hernández Iglesias ², Javier Pajares Gutiérrez ³, Antonio Aguilera Ontiveros ⁴
¹ Dr. Ingeniero Industrial, ETSII Valladolid, C/ Paseo del Cauce s/n – 47011 - Valladolid , adlo@eis.uva.es
² Dr. Ingeniero Industrial, ETSII Valladolid, C/ Paseo del Cauce s/n – 47011 - Valladolid , cesareo@eis.uva.es
³ Dr. Ingeniero Industrial, ETSII Valladolid, C/ Paseo del Cauce s/n – 47011 - Valladolid , pajares@eis.uva.es
⁴ PhD, El Colegio de San Luis, Parque de Macul, 155 - San Luis de Potosí (Mexico), aguilera@colsan.edu.mx

RESUMEN

En la última década hemos asistido al nacimiento de un área de trabajo y de conocimiento capaz de revolucionar el tratamiento de sistemas complejos. De la interacción entre Inteligencia Artificial y la Informática Distribuida, y la aplicación inmediata del nuevo concepto de ‘agente inteligente’ en la investigación básica y aplicada, se han beneficiado rápidamente la Robótica, las Matemáticas, la Física, la Sociología, la Ingeniería Informática, la Economía, etc. No obstante, y a pesar del inequívoco interés empresarial mundial, impulsor de la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), el colectivo español de la Ingeniería de Organización permanece mayormente ajeno a los inmediatos beneficios que metodológicamente y conceptualmente suponen los Sistemas Multiagente en nuestro área.

Este artículo es una llamada de atención a los investigadores del área de cómo beneficiarse y participar de la investigación que está suponiendo la mayor interdisciplinaridad científica e ingenieril de la era moderna.

1. Introducción.

La Inteligencia Artificial (IA) ha permitido el desarrollo de técnicas computacionales de amplio calado en la Ingeniería de Organización (IO). Como ejemplo podemos citar las redes neuronales. Su creador, el profesor McCulloch, pretende con su modelo de red neuronal, a mediados del siglo pasado, alcanzar una representación formal del cerebro que facilite lograr máquinas que exhiban comportamiento ‘inteligente’. Aunque ‘fracasa’ en su objetivo primordial, las redes neuronales se desarrollan ampliamente y tienen múltiples aplicaciones en nuestros días: previsión, clasificación, etc.

Ya en la década de los ochenta, la Informática Distribuida (ID) supone el desarrollo de la ‘programación orientada a objetos’ como nuevo paradigma de programación. Esto permitió aumentar la potencia y las posibilidades del software para tratar más fácilmente sistemas funcionalmente sencillos, pero complejos computacionalmente. Las nuevas aplicaciones industriales son cada vez más robustas y permiten integrar diferentes subsistemas empleando para ello el concepto de objetos. Más aún, ha posibilitado la reutilización del software empresarial cuya funcionalidad es plena evitando los inconvenientes de reconstruir aquello que es perfectamente útil.

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la CICYT con referencia BEC-2001-2108, titulado “La Investigación Socioeconómica desde la Inteligencia Artificial: Modelos Basados en Agentes (Contribuciones en memoria de Herbert Simon)”.

¿Por qué la Inteligencia Artificial Distribuida no ha alcanzado aún el desarrollo deseable en nuestra IO?

En este trabajo pretendemos acercar la Ingeniería de Organización a la Inteligencia Artificial actual, concretamente, a los Sistemas Multiagente.

2. El concepto de ‘Agente Inteligente’.

La IA nace con el propósito de desarrollar una entidad capaz de exhibir comportamiento inteligente. Sus orígenes están condicionados por el logro de un ‘robot’ que pueda interactuar con los humanos. De esta forma se entiende que una máquina es inteligente cuando puede afirmarse que presenta esa capacidad, y la ‘máquina universal’ de Turing, de 1937, ya pretendía evaluar tal habilidad.

Los esfuerzos de los primeros investigadores en IA (Turing, McCulloch, Shannon y Von Neumann) estaban dirigidos a responder la cuestión ¿pueden las máquinas pensar?. No lograron grandes avances en esta línea, aunque sus discípulos, gracias a los avances de la informática sí pudieron construir los primeros desarrollos.

No es sin embargo hasta la década de los noventa que la IA y la ID se confunden prácticamente, pues ambas están enfocadas a desarrollos eminentemente prácticos en los que en ocasiones conflúan. Surge así la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), que realmente es la ‘Inteligencia Artificial’ actual.

No existe una definición universalmente aceptada para el término ‘agente inteligente’[†], debido a que desde el nacimiento de la IAD eran múltiples y muy variadas las aplicaciones que el concepto tenía: Lingüística, Robótica, Filosofía, etc. Sin embargo, existe acuerdo generalizado sobre las características que debe poseer un agente. Así, podemos afirmar que un agente es una entidad física o virtual, autónoma, dotado de:

- metas propias, que intenta alcanzar al menos satisfactoriamente,
- sensores, que recogen información de otros agentes y del entorno,
- actuadores, que ejecutan las acciones con otros agentes y sobre el entorno,
- recursos y herramientas de decisión.

Aunque el concepto de agente puede ‘confundirse’ con el de objeto de la ID, un análisis riguroso de la anterior lista confirma que es un término mucho más amplio. Los agentes se construye sobre objetos, pero van mucho más allá en sus especificaciones. No todos los objetos pueden entenderse como agentes.

Un sistema en el que múltiples agentes autónomos, heterogéneos, interactúan entre sí y con el entorno, cada uno buscando sus propias metas, corresponde con lo que denominamos Sistema Multiagente, objeto de este trabajo.

[†] De aquí en adelante nos referiremos a él únicamente como ‘agente’.

3. Sistemas Multiagente.

Los Sistemas Multiagentes son un área de conocimiento dentro de la Inteligencia Artificial Distribuida. Pero también constituyen una nueva aproximación metodológica al estudio y caracterización del comportamiento de los sistemas complejos.

Como área de conocimiento permite una nueva forma de tratar y abordar sistemas reales. Consiste en el desarrollo de nuevas topologías de sistemas que permitan y aprovechen la interacción autónoma de agentes artificiales entre ellos y con humanos, enlazando así con la esencia más auténtica de los orígenes de la IA.

Como metodología de análisis y estudio de sistemas complejos nos permite su caracterización a partir de las entidades individuales que los componen. Es decir, el análisis del comportamiento que emerge del sistema una vez que hemos completado las especificaciones a de los agentes que participan. Esta aproximación se denomina 'bottom-up', y en las Ciencias Sociales permite el desarrollo de la tercera vía en la investigación científica: el método generativo [1].

Los Sistemas Multiagente pueden utilizarse en las dos líneas de trabajo citadas anteriormente dentro de la IO. La primera, ligada a la Investigación Computacional más allá de la investigación operativa convencional. La segunda, metodológica, comúnmente denominada "Modelado Basado en Agentes".

En la ETS Ingenieros Industriales de Valladolid trabajamos en ambas aproximaciones. Dentro del ámbito de la Organización de la Producción, Sistemas Inteligentes de Fabricación [2], Sistemas de Integración Empresarial [3] y Sistemas de Información, la comunicación en este Workshop "Sistemas de Fabricación Holónicos", constituye un ejemplo de nuestros avances en esta línea. Por otro lado, desarrollos en Política Industrial [4], Teorías de Organización [5] y Economía [6], han sido presentados en anteriores Workshop y Conferencias de ADINGOR para ilustrar el Modelado Basado en Agentes como metodología.

4. Sistemas Complejos en Ingeniería de Organización.

Los profesionales de la Ingeniería de Organización desarrollan su trabajo en alguno o varios de los vectores o dimensiones que constituyen de la Nueva Organización Industrial (ver figura 1).

Debemos tener en cuenta que el objeto de estudio se ha extendido más allá de la empresa tradicional. Las empresas distribuidas, organizaciones sin ánimo de lucro, administraciones públicas, etc. son también centro de atención de los ingenieros de organización.

Parte de nuestro trabajo dentro de los vectores institucional y de análisis de oportunidades y amenazas del mercado consiste en desarrollar modelos explicativos del funcionamiento de los mercados, el análisis de nuevas instituciones para organizar las transacciones, contratos, etc. En esta línea, los modelos basados en agentes permiten no sólo ampliar los modelos neoclásicos, sino plantear una nueva teoría de la agencia e incluso reformular una teoría de la empresa no fundamentada en los mercados.

En [7] se muestran ejemplos de lo indicado anteriormente, en un caso estudiando un modelo de negociación y en otro la eficiencia de las formas institucionales de organizar un mercado.

En el vector de gobierno y operaciones también son útiles los modelos basados en agentes. Nos permite redefinir la forma organizacional más adecuada, diseñar la gestión del conocimiento y progresar en el análisis y diseño de modelos organizativos congruentes con la estrategia.

En todos los casos indicados nos encontramos en que el sistema de estudio es un sistema complejo. Las fuentes de complejidad pueden ser, simultánea o independientemente:

- Existen agentes cuyo comportamiento es sencillo de caracterizar, pero la infinidad de ellos y de sus interacciones y con el entorno resultan imposibles de resolver analíticamente. Es el caso del estudio de los oligopolios, donde no es factible resolver sistemas con más de dos empresas; o de los mercados financieros.
- Existen agentes con múltiples metas, algunas en conflicto, con modelos propios y privados del mundo y de los otros agentes, interaccionando y negociando con ellos, quizás mediante un mecanismo sencillo, casi elemental. En este caso, son los modelos del agente los que convierten en complejo al sistema.

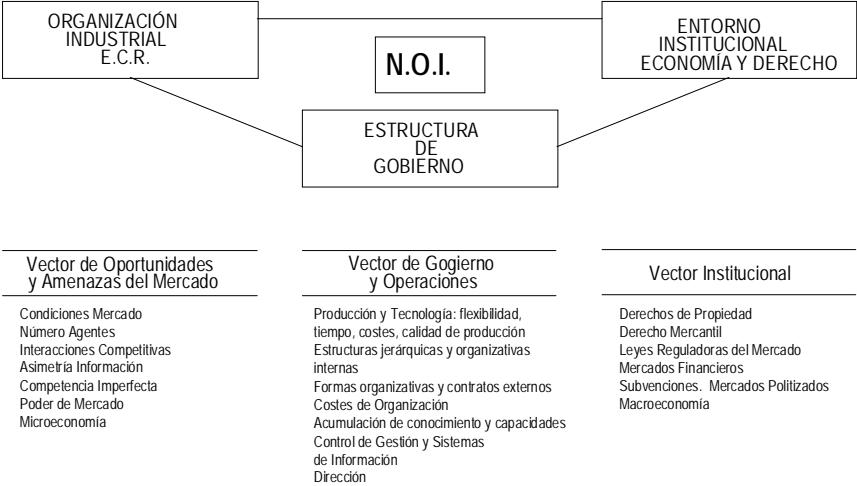


Figura 1: La Nueva Organización Industrial.

No obstante, quizás las aplicaciones más relevantes y con mayores implicaciones prácticas dentro de la estructura de gobierno de la empresa sean las abiertas tanto en el área funcional de producción como en las correspondientes al sistema de información y comunicación de la empresa.

En este caso hablaremos de la organización o construcción de sistemas multiagente para fundamentar el funcionamiento del sistema en los mecanismos de coordinación y cooperación que habilita la utilización del concepto de agente, especialmente al tratar con agentes físicos.

5. Aplicaciones de los SMA. Un caso: el Proyecto FIRMA.

Ejemplos de aplicación de los sistemas multiagente son múltiples. Por citar algunos de ellos extraídos de la literatura en el área, y sin intención de limitar el espectro de sus utilidades ni de realizar una enumeración exhaustiva:

- Control del tráfico aéreo
- Control del tráfico urbano
- Gestión hospitalaria
- Búsquedas en la web, filtros de correo
- Gestión de compras y de ventas en internet
- Diseño de instituciones de mercado
- Dirección estratégica
- Gestión de la cadena de suministro
- Gestión del conocimiento
- Simulación de operaciones militares
- Industria aeroespacial
- Resolución de conflictos internacionales
- Etc.

Actualmente, en INSISOC (Grupo de Ingeniería de los Sistemas Sociales, localizado en la ETSII de la Universidad de Valladolid) participamos en el Proyecto FIRMA[‡] financiado por la Unión Europea mediante el V Programa Marco. Este proyecto tiene por objeto construir modelos basados en agentes que faciliten la gestión de los recursos hídricos en diferentes regiones europeas. Los modelos deben facilitar los procesos de negociación entre los stakeholders en cada caso, y proponer soluciones para una mejor gestión del agua potable.

El caso concreto que estudiamos corresponde a la región metropolitana de Barcelona. La información de campo es proporcionada por la Universitat Autònoma de Barcelona, y esta se emplea para generar el sistema objeto de estudio desde una aproximación bottom-up (de abajo-a-arriba).

En el modelo intervienen como agentes los siguientes: ciudadanos, municipios, un promotor, el clima, las infraestructuras, las asociaciones de vecinos y consumidores, y la Administración Regional. Cada uno de ellos presenta una arquitectura distinta, en función del papel que desempeña en el sistema[§]. Así, tenemos agentes reactivos, como las infraestructuras o el clima. Agentes intencionales, con unas metas predefinidas que intentan alcanzar, como los

[‡] FIRMA es el acrónimo de Freshwater Integrated Resource Management with Agents. Corresponde al proyecto número de referencia EVK1-00016.

[§] Más información sobre las arquitecturas tipo de agentes en [8].

municipios. Los agentes más elaborados son los agentes sociales: ciudadanos, asociaciones y administraciones, que presentan además de lo anterior, modelos de los otros agentes que intentan validar.

El objetivo del modelo es lograr una herramienta de simulación donde estén representados todos los agentes que participan en el proceso de gestión de la demanda y la oferta de agua en la región metropolitana de Barcelona. Esta utilidad está construida sobre las reglas de comportamiento manifestadas por los agentes reales y la evidencia empírica recogida. Con ella los stakeholders pueden progresar en el análisis de estrategias más eficientes para la gestión integral del agua, considerando el impacto que sobre los recursos tienen las diferentes alternativas.

Indicar por último que los modelos desarrollados han sido implementados en dos plataformas diferentes especialmente indicadas para construir modelos basados en agentes. Por un lado, SDML (Strictly Declarative Modelling Language) es una utilidad construida sobre Smalltalk que permite la construcción de sistemas en los que los agentes están programados mediante sistemas de reglas de producción. Se trata de un lenguaje lógico orientado a agentes y que utiliza la lógica KD45 para soportar el motor de inferencia de la simulación. SDML ha sido desarrollado por el Centre for Policy Modelling, de la Manchester Metropolitan University, y es distribuido gratuitamente a través del sitio www.cpm.mmu.ac.uk.

Por otro lado, combinamos el empleo de Java y las librerías SWARM. SWARM ha sido desarrollado en Objective C por el Instituto de Santa Fe. Es distribuido gratuitamente desde diferentes sitios en Internet, y el número de librerías crece continuamente. SWARM permite facilidades de programación orientada a objetos, aunque carece de algunas funcionalidades importantes de SDML, como es un motor de inferencia lógico que asegure la consistencia de los resultados de los programas elaborados con la lógica formal sobre la que se opera dicho motor de inferencia.

SWARM presenta importantes ventajas frente a SDML como son la representación gráfica de resultados y la velocidad de procesamiento y de simulación. Por otro lado, al ser librerías implementadas sobre un lenguaje de propósito general de amplia aceptación, las barreras de entrada existente para alcanzar el dominio necesario para entender y desarrollar los primeros modelos son menores que con SDML.

6. Conclusiones.

Los ingenieros de organización tienen ante sí el reto y la oportunidad de emplear una nueva metodología tanto para el estudio como para el diseño de sistemas complejos: los sistemas multiagente.

Es necesario desempeñar el rol de usuarios de las nuevas tecnologías a nuestro alcance, tanto para mejorar el nivel de la investigación aplicada como para lograr desarrollos tecnológicos que supongan ventajas competitivas diferenciales para nuestras empresas.

Consideramos fundamental colaborar y poner en marcha experiencias dentro del área que faciliten la adquisición de los conocimientos básicos sobre sistemas multiagente en el área de ingeniería de organización. Este es uno de los objetivos del proyecto Investigación Socioeconómica desde la Inteligencia Artificial. Contribuciones en memoria de H. Simon”, financiado por la CICYT.

La Ingeniería de Organización debe aproximarse y hacer suyas algunas de las técnicas provenientes de la IA. En este sentido sería deseable una mayor interacción y presencia de sus profesionales, como usuarios, con los de otras organizaciones, como la Asociación Española Para la Inteligencia Artificial (AEPIA), donde confluyen ingenieros informáticos, ingenieros de telecomunicaciones e ingenieros industriales.

Por último, el objetivo de este artículo es invitar a integrar los sistemas multiagente entre las líneas de investigación de los compañeros de IO. Para ello, y con objeto de lograr un canal de comunicación e información que permita intercambiar experiencias y participación en proyectos de investigación, está disponible el sitio www.insisoc.net, correspondiente al Grupo de Ingeniería de los Sistemas Sociales de la Universidad de Valladolid.

Referencias

- [1] López-Paredes, A., Hernández, C. y Pajares, J. (2001). “*Towards a new experimental socioeconomics. Complex behavior in bargaining*”. Journal of Socioeconomics, vol 30, nº 5..
- [2] Benito, J.J. de y López-Paredes, A. (1999). “*Modelling Flexible Manufacturing Systems as Multiagent Systems*”. En MS’99 Internacional Conference on Modelling and Simulation Proceedings. Santiago de Compostela.
- [3] López-Paredes, A. y Benito, J.J. de (2002). La cadena de suministro como un sistema multiagente. Revista de Organización y Dirección de Empresas. Julio-Agosto.
- [4] Hernández, C., Pajares, J. y López-Paredes, A. (2001). “*Adaptación y Path-Dependence en Política Industrial*”. I Congreso de Ingeniería de Organización. Sevilla.
- [5] Hernández, C. y López-Paredes, A. (1999). “*Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización*”. En Actas de las III Jornadas de Ingeniería de Organización. Barcelona
- [6] Hernández, C. y López-Paredes, A. (2000). Diseño e Ingeniería de las instituciones económicas. Actas del I Workshop de Ingeniería de Organización. Bilbao.
- [7] López-Paredes, A. (2001) *Análisis e Ingeniería de las Instituciones Económicas. Una metodología basada en agentes*. Servicio de Publicaciones Universidad del País Vasco.
- [8] Aguilera, A. y López-Paredes, A. (2001). *Modelado Multiagente de Sistemas Socioeconómicos. Una introducción al uso de la inteligencia artificial en la investigación social*. El Colegio de San Luis. Mexico.