

# Experiencia de realización de proyectos fin de carrera en el área de los sistemas multi-agente

Antonio Moreno, Aïda Valls  
Dep. de Ingeniería Informática y Matemáticas  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad Rovira i Virgili (URV)  
Av. dels Països Catalans, 26, 43007-Tarragona  
{amoreno,avalls}@etse.urv.es

## Resumen

El *GruSMA* (Grupo de trabajo en Sistemas Multi-Agente) proporciona un entorno en el que alumnos de primer y segundo ciclo de Ingeniería Informática de la Universidad Rovira i Virgili (URV) pueden realizar Proyectos Fin de Carrera en el área de los Sistemas Multi-Agente. En esta ponencia describimos la motivación para su creación, su metodología de trabajo y los resultados obtenidos hasta el momento.

## 1. Introducción

Los autores de esta ponencia pertenecen al grupo de investigación en Inteligencia Artificial de la URV (Banzai, [3]). Parte de la actividad investigadora de este grupo se ha centrado en los últimos años en el tema de los *Sistemas Multi-Agente* (SMA); por eso nuestro objetivo principal era hacer que a los alumnos les pareciera atractivo el realizar el PFC en esta área. Para ello se le había de proporcionar un entorno en el que pudieran realizar este tipo de proyectos. Con este propósito en mente se ideó el *GruSMA* (Grupo de trabajo en Sistemas Multi-Agente, [9]). En esta ponencia, que extiende el trabajo presentado en [15], describimos las circunstancias de creación del grupo, su metodología de trabajo y los proyectos fin de carrera ya presentados. La ponencia

acaba con una valoración de esta experiencia docente.

## 2. Creación de GruSMA

En el curso 98-99 ya se empezó a pensar en la posibilidad de crear este grupo. Lo primero que se hizo fue estudiar las diferentes herramientas de construcción de SMAs existentes en el mercado, para ver si había alguna adecuada (con suficiente calidad, ejecutable en PCs y, a ser posible, gratuita) para realizar los PFCs. Durante este curso un alumno hizo en su PFC un detallado estudio comparativo de diferentes entornos de construcción de SMAs ([10]). De este trabajo se obtuvieron dos conclusiones importantes:

- Hay dos grandes corrientes de estandarización del diseño e implementación de SMAs. En una, fundamentalmente utilizada en universidades americanas, los agentes se comunican utilizando un lenguaje llamado KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*, [6]). La otra, con amplia base europea, está liderada por una organización llamada FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*, [7]) que ha definido los elementos básicos que deben componer un SMA, un lenguaje de comunicación entre agentes llamado FIPA-ACL (*FIPA-Agent Communication Language*), un lenguaje de representación de

conocimiento llamado FIPA-SL (FIPA-Semantic Language), un conjunto de protocolos de intercambio de mensajes, etc. Nosotros elegimos utilizar esta segunda opción, debido a la posibilidad (comentada más adelante) de utilizar buenas herramientas de construcción de sistemas multi-agente de libre distribución que siguen las especificaciones de la FIPA. En los últimos años esta segunda alternativa se está imponiendo poco a poco como un estándar de facto a nivel mundial.

- Existían ya (en verano de 1999) una gran colección de entornos de construcción de sistemas multi-agente lo suficientemente buenos y fiables como para plantearse la realización de PFCs en esta área. La mayoría de ellos son librerías en Java que proporcionan las clases necesarias para poder crear de forma relativamente sencilla un sistema multi-agente. La principal diferencia entre las diversas alternativas reside en las herramientas de soporte al programador que ofrecen.

Así pues, en septiembre de 1999 se creó el GruSMA.

### 3. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo de GruSMA durante los cursos académicos 99-00, 00-01 y 01-02 ha sido la siguiente. En octubre, cuando se inicia el curso académico y los alumnos de cursos finales ya empiezan a pensar cómo harán el PFC, se hace publicidad de la posibilidad de realizar proyectos en el área de los Sistemas Multi-Agente. Esta publicidad se hace colgando carteles, realizando una sesión informativa y enviando mensajes a alumnos que hayan realizado asignaturas relacionadas con la Inteligencia Artificial durante el curso anterior. A finales de octubre ya se sabe cuántos alumnos están interesados en formar

parte del grupo. En estos cursos todavía no ha sido necesario realizar ninguna selección: en el curso 99-00 hubo sólo 2 alumnos (ambos acabaron el PFC), en el curso 00-01 ya hubo 7 alumnos (4 de los cuales ya han presentado el PFC), y en el curso actual hay 10 alumnos realizando el PFC para presentarlo en junio o en septiembre de 2002. Estimamos que un grupo de estas características puede llegar a tener como máximo unos 10 alumnos, ya que sería muy difícil llevar más de 10 PFCs distintos entre los dos profesores que coordinan las actividades del grupo. Por tanto, suponemos que, a partir del curso 2002-2003, será necesario un proceso de selección previo.

En noviembre y diciembre se realizan las sesiones de trabajo del grupo (2 horas semanales durante 6-7 semanas). En estas sesiones los profesores responsables del grupo empiezan explicando lo que es un agente y lo que es un SMA. La explicación teórica se ha ilustrado este curso con la descripción y demostración práctica de los 2 PFCs realizados en el curso 99-00 ([18],[5]) y los 4 PFCs presentados en el curso 00-01 ([19], [12], [8], [13]). Después se describe con detalle el estándar de construcción de SMAs definido por la FIPA ([7]). Se hace especial énfasis en el lenguaje de comunicación entre agentes (FIPA-ACL), los protocolos de intercambio de mensajes y la definición e implementación de ontologías en FIPA-SL.

A continuación se dedican varias sesiones de trabajo a explicar el funcionamiento de un entorno concreto de construcción de SMAs, llamado JADE (*Java Agent Development Environment*, [4]). Este entorno está siendo desarrollado en el laboratorio italiano CSELT, y se distribuye de forma gratuita bajo las condiciones de la *GNU Lesser General Public License*. JADE proporciona una serie de clases Java que el usuario ha de utilizar para desarrollar sus propios agentes. Nos decidimos por este entorno de construcción de Sistemas Multi-Agente por las siguientes razones:

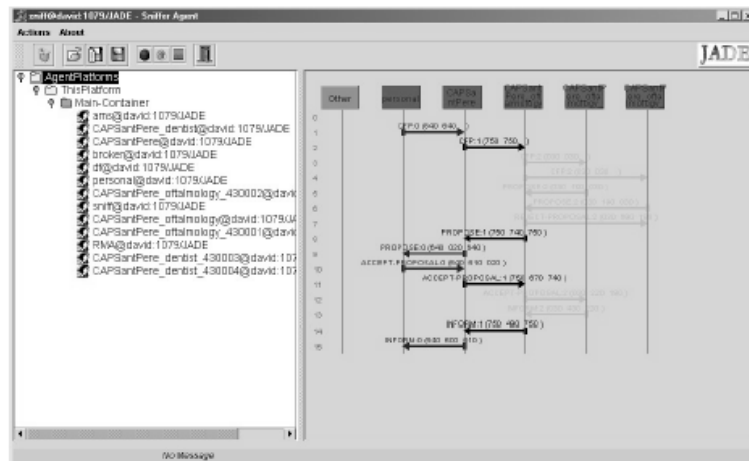


Figura 1-Interficie gráfica de JADE

- Las pruebas que realizamos sobre él nos mostraron que es un entorno fiable. Esta apreciación ha sido corroborada durante la realización de los PFCs.
- Es gratuito. Se puede bajar por Internet [11], instalar y utilizar muy fácilmente sobre cualquier ordenador que tenga Java 1.2.
- Sigue las especificaciones de la FIPA (estructura del SMA, lenguaje y protocolos de comunicación, etc.).
- Proporciona al usuario un entorno gráfico en el que se pueden hacer acciones como ver los agentes del sistema, añadir o eliminar agentes, o seguir los mensajes que éstos se van intercambiando (ver figura 1).

Existe una lista de distribución muy activa en la que los usuarios del sistema pueden enviar dudas, intercambiar experiencias o sugerir nuevas incorporaciones al sistema.

Los 2 PFCs del curso 99-00 se hicieron sobre la versión 1.3, y los 4 del curso 00-01 han utilizado la versión 2.01, adaptada a los cambios en las especificaciones de la FIPA realizados en el año 2000. Ahora acaba de aparecer la versión 2.5

de JADE, que permitirá realizar PFCs sobre entornos Java móviles (p.e. PDAs) el próximo curso.

#### 4. Trabajo individual y en grupo

Otro de los objetivos de crear una *grupo* de trabajo es que los alumnos se encuentren en un entorno amigable, en el que se enfrenten en común a diferentes problemas y puedan ayudarse los unos a los otros. Este aspecto debe fomentarse, de manera que sea más atractivo para los alumnos pasar a formar parte de un colectivo con intereses similares que enfrentarse a la realización de un PFC de forma aislada. Este aspecto colectivo se ve reforzado, por un lado, por el encuentro semanal en las reuniones de trabajo. Por otro lado, los coordinadores de GruSMA buscamos problemas que sean de interés para todos los miembros, y hacemos que se enfrenten en común a ellos antes de ponerse a trabajar cada uno en su PFC en particular. Este tipo de problemas incluyen aspectos diversos de JADE como estudiar la comunicación de agentes ejecutándose en diferentes

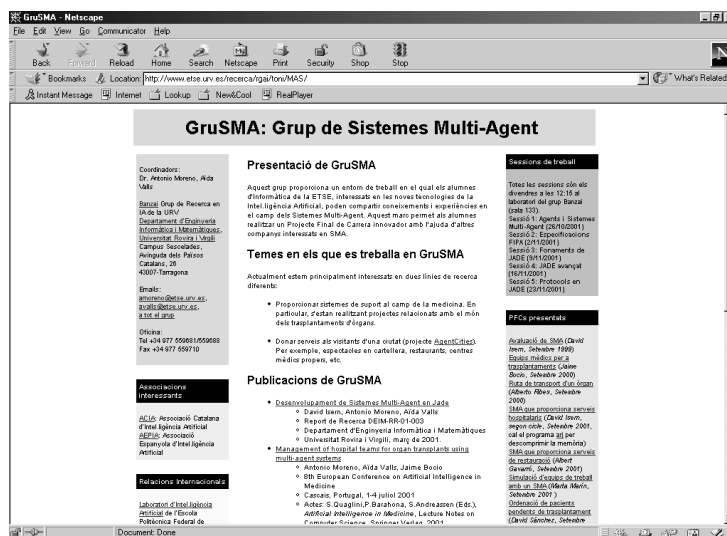


Figura 2-Página web de GruSMA (<http://www.etse.urv.es/recerca/banzai/toni/MAS>)

PCs, acceder a la información de una base de datos desde un agente, estudiar técnicas de coordinación de uso general, etc. Este tipo de problemas les son planteados a mediados de diciembre. Hacia finales de enero ya han estudiado estos problemas, y ponen en común las soluciones encontradas para que cada uno sepa resolver ese tipo de situaciones en su PFC particular. Hay que hacer notar, sin embargo, que la parte básica del trabajo se ha de desarrollar de manera individual. A principio de febrero, una vez han acabado los exámenes del primer cuatrimestre, ya se definen los PFCs individuales y cada alumno trabaja en su tema concreto. A estas alturas ya se conocen todos los miembros del grupo y saben que pueden contar con los demás para ayudarles en cualquier problema concreto que se puedan encontrar a la hora de utilizar JADE. Los PFCs finalizados se pueden presentar en junio o en septiembre.

Los alumnos disponen de toda la información que se maneja dentro de GruSMA en una página web ([9], ver figura 2). En esta página se puede

encontrar todo el material de las sesiones de trabajo, el código fuente y ejecutable de JADE, los datos de los miembros del grupo, los PFCs propuestos y asignados, las memorias de los PFCs ya presentados, el calendario de las sesiones de trabajo, vínculos a las páginas de FIPA y de JADE, etc.

## 5. Proyectos final de carrera

Los coordinadores de GruSMA decidimos hacer que todos los PFCs desarrollados en el grupo fueran sobre un conjunto restringido de temas (manteniendo, en todo momento, un nivel alto de exigencia académica y una diferencia clara de calidad y trabajo personal entre los de primer ciclo y los de segundo ciclo). La motivación de esta decisión era doble. Por un lado, el hecho de trabajar varios alumnos en un mismo tema fomenta el espíritu colectivo del grupo. Por otro, se creaba la posibilidad de unir diferentes SMAs desarrollados en varios PFCs en un solo Sistema

Multi-Agente que solucionara algún problema complejo (en la sección 6.2 haremos un comentario a este respecto). Hasta ahora se han desarrollado 6 PFCs, básicamente centrados en dos áreas diferentes: el trasplante de órganos y AgentCities.

### 5.1. Trasplante de órganos

El principal problema que decidimos tratar fue la gestión de la coordinación de trasplantes de órganos entre los hospitales de toda España. En el grupo de investigación en Inteligencia Artificial de la URV estamos especialmente interesados en la aplicación de SMAs en entornos médicos, y de ahí surgió la idea de usar este dominio ([2]). El problema es lo suficientemente complejo como para abarcar gran cantidad de PFCs individuales, que son del siguiente estilo:

- Crear el SMA interno de un hospital, con agentes que se comunican con otros hospitales, agentes que acceden a la base de datos local de pacientes en espera, agentes que se comunican con los médicos, agentes que reciben los datos de los órganos disponibles, etc.
- Crear el SMA de coordinación entre hospitales a nivel español, con un coordinador nacional, diversos coordinadores regionales y autonómicos, coordinadores locales, y un coordinador en cada hospital (PFC de segundo ciclo en curso).
- Tener un agente que se ocupe del tratamiento de los pacientes de emergencia 0, que son aquellos que ya han llegado a un estado crítico en el que necesitan un órgano en un período muy breve de tiempo (PFC de primer ciclo en curso).
- Crear agentes que sepan, dado un órgano disponible, aplicar técnicas de toma de decisiones multi-criterio para encontrar el paciente en espera que se adecúe más a sus características (PFC de primer ciclo ya presentado, [19]).

- Una vez determinado el paciente que recibirá un órgano, buscar medios de transporte que permitan llevar el órgano lo más rápido posible al hospital de ese paciente (PFC de primer ciclo ya presentado, [18]).
- Mientras se va transportando el órgano, tener un SMA en el hospital receptor que se encargue de buscar el equipo médico adecuado para realizar la operación y que gestione la reserva de quirófanos (PFC de primer ciclo ya presentado, [5]).
- Tener agentes que mantengan un registro histórico de las operaciones realizadas y puedan aplicar técnicas de minería de datos para obtener información útil sobre la asociación entre pacientes y órganos.

Este problema permite ser abordado de forma natural mediante la utilización de SMAs, al estar la información necesaria distribuida espacialmente en ordenadores de toda España (en hospitales, organizaciones de coordinación de trasplantes, bases de datos de medios de transporte, etc.), y ser clara la necesidad de una comunicación y una coordinación entre los hospitales de toda España para asegurar una distribución rápida y justa de los órganos entre los pacientes en espera.

### 5.2. AgentCities

AgentCities.RTD ([11]) es un proyecto financiado por la Unión Europea que empezó sus actividades el 1 de julio de 2001. El objetivo principal de este proyecto es la creación de un entorno innovador en el que se pueda experimentar la composición dinámica de servicios heterogéneos online. Este entorno se construirá utilizando estándares y tecnología definidos por la FIPA, de forma que se permita la interoperación y comunicación de agentes inteligentes. Se desea que los miembros del proyecto sean capaces de construir todo un conjunto de plataformas que ofrezcan servicios basados en agentes. Este proyecto está

acompañado por una red europea, AgentCities.NET, que ofrece un cierto apoyo a las instituciones europeas que deseen formar parte de la experiencia de creación de este conjunto de servicios basados en agentes. Esta red empezó sus actividades el 1 de noviembre de 2001; actualmente ya tiene más de 30 miembros, de los cuales 8 son españoles. En la última reunión de esta red (Lausanne, 8/2/2002) hubo más de 90 asistentes que ya mostraron su interés en formar parte de esta iniciativa.

Un PFC de segundo ciclo desarrollado en este proyecto fue presentado en septiembre de 2001 ([12]), y contiene una serie de agentes que ofrecen al usuario servicios de tipo hospitalario. Por ejemplo, el usuario puede pedirle a su agente personal que le diga el hospital más cercano en el que le pueda visitar un oftalmólogo, e incluso puede pedir al sistema que le reserve hora con él, o consultar su historial médico. La arquitectura del sistema se muestra en la figura 3.

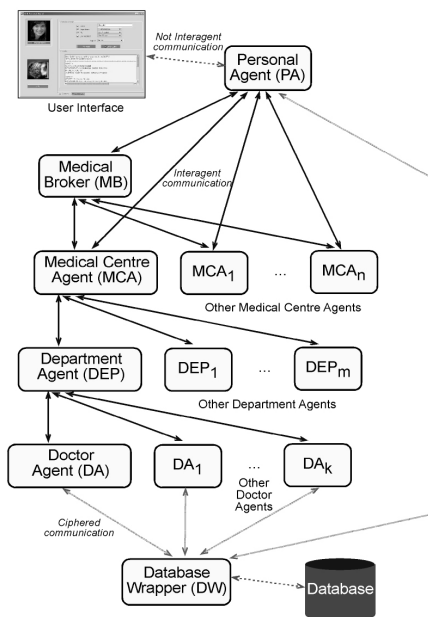


Figura 3. SMA que proporciona servicios médicos

En la misma línea, también se ha presentado este pasado septiembre un PFC en el que se ha diseñado e implementado un SMA que ofrece servicios relacionados con la restauración ([8]); el agente personal del usuario puede hacer consultas sobre los restaurantes de Tarragona en función de condiciones sobre un conjunto de atributos (tipo de comida, precio del menú, platos concretos, disponibilidad de aparcamiento, tarjetas de crédito aceptadas, etc.), y también puede gestionar la reserva de una mesa en un restaurante concreto.

## 6. Resultados y valoración de la experiencia docente

### 6.1 Resultados

En el curso 99-00 los 2 integrantes de GruSMA presentaron sus PFCs (de Ingeniería Técnica en Informática) en la convocatoria de septiembre ([18],[5]). Los dos proyectos estaban integrados en el dominio de la gestión del transplante de órganos. En el curso 00-01 hubo un incremento importante en el número de alumnos, y se empezaron 7 PFCs (5 de Ingeniería Técnica en Informática y 2 de segundo ciclo de Ingeniería Informática). De éstos, 4 ya fueron presentados en septiembre de 2001 (1 relacionado con el transplante de órganos [19], 2 relacionados con AgentCities [12], [8] y el último relativo a la simulación de equipos de trabajo utilizando SMAs [13]). Tres de estos PFCs corresponden a la Ingeniería Técnica, y uno al segundo ciclo. En el presente curso hay actualmente 10 alumnos trabajando en PFCs (3 en el dominio de los transplantes, 5 en diferentes ámbitos dentro del proyecto AgentCities - cines, información turística, búsqueda de trabajo, información médica a usuarios móviles - y 2 en la construcción de agentes que busquen información por Internet y la representen en una ontología dinámica).

## 6.2 Valoración de la experiencia docente

Algunos de los puntos positivos de la puesta en marcha de GruSMA son los siguientes:

- Constatar el interés que han mostrado los alumnos de Ingeniería Informática en realizar PFCs relacionados con la Inteligencia Artificial, y la creatividad desarrollada durante su diseño e implementación.
- Buen espíritu de trabajo en grupo durante las sesiones de trabajo.
- Los cinco alumnos que entregaron el PFC de la Ingeniería Técnica ahora están haciendo el segundo ciclo de Ingeniería Informática, y tienen la intención de aprovechar la formación y los conocimientos adquiridos en GruSMA para realizar el PFC del segundo ciclo en el mismo tema. Así, se ha establecido una cierta continuidad de los alumnos dentro del grupo.
- El alumno que ha hecho el PFC del segundo ciclo ha comenzado los estudios de doctorado dentro del programa de Inteligencia Artificial de la UPC, bajo la dirección de uno de los coordinadores de GruSMA.
- El trabajo realizado es de buena calidad. Una muestra de ello es la presentación de estos resultados en conferencias y revistas de carácter nacional e internacional (p.e. [17], [16], [20], [14]).
- Los coordinadores del grupo también han aprendido mucho de la experiencia de dirección de PFCs en SMAs (qué problemas se encuentran en el diseño e implementación de Sistemas Multi-Agente, cómo se solucionan, cuáles son las herramientas que proporciona JADE, etc.). Este conocimiento nos lleva a sugerir la posibilidad de tener una asignatura optativa de segundo ciclo centrada en el área de los sistemas multi-agente.

Entre los aspectos negativos podemos indicar los siguientes:

- Será difícil unir diferentes SMAs en uno sólo, como teníamos previsto en un principio, ya que las especificaciones de la FIPA (y las diferentes versiones de JADE) van evolucionando bastante deprisa (p.e. los PFCs desarrollados en la versión 1.3 de JADE no pueden ejecutarse directamente en la versión 2.01, que tampoco es compatible con la versión actual, la 2.5).
- El grupo de trabajo no dispone de excesivos recursos propios (ordenadores, impresoras). Así, sólo se pueden utilizar recursos del departamento de Ingeniería Informática y Matemáticas o de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Esto limita en cierta forma la actividad del grupo.

En resumen, la valoración global de la puesta en marcha de GruSMA es totalmente positiva, y animamos firmemente a profesores interesados en temas de Inteligencia Artificial a explorar alternativas similares en otras universidades.

## Referencias

- [1] AgentCities. Información disponible en <http://www.agentcities.org>.
- [2] Arantza Aldea, Beatriz López, Antonio Moreno, David Riaño, Aída Valls. *A Multi-Agent System for Organ Trasplant Co-ordination*. En *Artificial Intelligence in Medicine* (Eds: S.Quaglini, P.Barahona, S.Andreassen). Lecture Notes in Computer Science 2101, pp.413-416, Springer Verlag.
- [3] Banzai: grupo de investigación en Inteligencia Artificial de la Univ. Rovira i Virgili (<http://www.etse.urv.es/recerca/banzai>).
- [4] Fabio Bellifemine et al. *Developing multi-agent systems with a FIPA compliant agent framework*. Software Practice and Experience, No. 31, pp. 103-128, 2001.
- [5] Jaime Bocio. *Diseño e implementación de un SMA para la gestión de equipos médicos*

- para transplantes. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 2000.
- [6] Tim Finin et al., *Specification of KQML Communication Language*, DARPA Knowledge Sharing Effort, 1993 (<http://www.cs.umbc.edu>).
- [7] FIPA: Foundation for Intelligent Physical Agents (ver <http://www.fipa.org>).
- [8] Albert Gavarró. *Agents que proporcionen serveis de restauració als visitants de Tarragona dins el projecte AgentCities*. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 2001.
- [9] GruSMA: Grupo de trabajo en Sistemas Multi-Agente (información disponible en <http://www.etse.urv.es/recerca/banzai/toni/MAS>).
- [10] David Isern. *Avaluació d'entorns de desenvolupament de Sistemes Multi-agent*. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 1999.
- [11] JADE: Java Agent Development Framework (información disponible en <http://sharon.cse.it/projects/jade>).
- [12] David Isern. *Disseny i implementació d'un Sistema Multi-Agent per proporcionar serveis mèdics dins del projecte AgentCities*. PFC, segundo ciclo de Ing. en Informática, URV, Septiembre 2001.
- [13] Marta Marín. *Un Sistema Multi-Agent d'ajuda a la composició de grups de treball per a tasques complexes*. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 2001.
- [14] Antonio Moreno, David Isern. *A first step towards proving health-care agent-based services to mobile users*. Póster aceptado en la 1<sup>st</sup> International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, AAMAS-2002. Bologna, Italia, julio de 2002.
- [15] Antonio Moreno, Aïda Valls. *GruSMA: Grupo de Trabajo en Sistemas Multi-Agente*. Encuentro sobre docencia en Inteligencia Artificial, en el XI Congreso de la Asociación española para la Inteligencia Artificial, CAEPIA-2001. Gijón, noviembre de 2001.
- [16] Antonio Moreno, Aïda Valls, Jaime Bocio. *A Multi-Agent System to Schedule Organ Transplant Operations*. *Inteligencia Artificial* (Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial) 13 , pp. 36-44, 2001.
- [17] Antonio Moreno, Aïda Valls, Alberto Ribes. *Finding efficient organ transport routes using multi-agent systems*. 3rd International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry, HealthCom'2001. L'Aquila, Italia, 29 junio- 1 julio 2001.
- [18] Alberto Ribes. *SMA d'ajuda a la gestió dels transplants d'òrgans entre hospitals: logística del transport d'òrgans*. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 2000.
- [19] David Sánchez. *Un Sistema Multi-Agent d'ajuda a l'assignació d'òrgans en trasplantaments. El mètode ClusDM amb criteris lingüístics*. PFC, Ing. Técnica en Informática de Sistemas, URV, Septiembre 2001.
- [20] Aïda Valls, Antonio Moreno, David Sánchez. *A multi-criteria decision aid agent applied to the selection of the best receiver in a transplant*. Actas de la 4<sup>th</sup> International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS-2002, pp 431-438. Ciudad Real, abril de 2002.