

Evaluación del desempeño de sistemas multiagente: Criterio de comunicación

Faten Ben Hmida, Wided Lejouad Chaari y Moncef Tagina

Universidad de Manouba, Escuela Nacional de Estudios de Computación, Laboratorio SOIE/LI3, 2010
Manouba, TÚNEZ

{Faten.BenHmida, Wided.Chaari, Moncef.Tagina}@ensi.mn.tn

Resumen. Se han desarrollado numerosos Sistemas Multiagente (SAM) en diversos ámbitos de aplicación, como redes informáticas, internet, aplicaciones industriales, automatización, control de procesos, tráfico aéreo, robótica, simulación, etc. A pesar del rápido crecimiento del interés internacional en el campo de los SAM y la importancia del número de SAM desarrollados, aún existe una carencia en la evaluación de su rendimiento. De hecho, no existe una herramienta de medición que permita evaluar el rendimiento de un SAM o comparar dos. Los trabajos existentes sobre evaluación del rendimiento de sistemas se centran principalmente en sistemas informáticos clásicos. En este artículo, intentamos identificar las características y propiedades especiales de los SAM que influyen en su rendimiento y proponemos un modelo de medición para evaluar una de estas propiedades: la comunicación. Este modelo se basa en la teoría de grafos. Se lleva a cabo una experimentación del modelo de evaluación propuesto y se prueba en una aplicación de diagnóstico.

Palabras clave: Sistemas Multiagente, Comunicación, Evaluación del Desempeño, Medición, Metodología, Teoría de Grafos.

1 Introducción

Con la continua expansión de los campos de aplicación del MAS, surgen cada vez más problemas relacionados, en particular, con la estandarización de muchos conceptos que rigen el desarrollo de esta nueva tecnología. Los problemas generales abordan la terminología del MAS e incitan a los científicos a alcanzar un consenso que defina los conceptos básicos relativos al MAS. Otros problemas se centran en cuestiones más precisas, como la enumeración de las características comunes del MAS y su estimación en el marco de las perspectivas de evaluación [1][2].

Centrémonos ahora en este último punto. Imaginemos una situación en la que nos enfrentamos a un problema determinado y disponemos de varios sistemas informáticos para resolverlo. En este caso, ¿cómo podemos determinar cuál es el más adecuado? Es fundamental contar con un método que nos permita elegir el sistema más adecuado, estando convencidos de las razones de nuestra elección. Sin embargo, debemos recurrir a una metodología estándar para evaluar y analizar el rendimiento de cada sistema y, así, tomar nuestra decisión.

Sin embargo, el problema con el MAS es que no existe un método para evaluar la eficiencia de un MAS ni para comparar dos MAS. De hecho, la evaluación del rendimiento rara vez se ha considerado en el marco del MAS [3]. En consecuencia, hasta la fecha, no disponemos de un método estándar para evaluar y cuantificar las características comunes de los MAS.

Nuestro trabajo aborda precisamente este punto. Se trata de establecer una metodología para analizar y medir las características del MAS desde una perspectiva organizacional. En este trabajo, no examinamos todas estas características simultáneamente, sino que comenzamos estableciendo un método para evaluar una característica: la comunicación.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2, presentamos brevemente algunos conceptos básicos sobre la evaluación del rendimiento del sistema. En la sección 3, explicamos nuestro enfoque para evaluar la comunicación MAS. La arquitectura de nuestro sistema de evaluación se describe en detalle en la sección 4. La sección 5 muestra los resultados obtenidos tras la experimentación de nuestro enfoque en una aplicación multiagente. Los resultados van seguidos de algunas interpretaciones y explicaciones. En la sección 6, se presentan las conclusiones y un análisis del trabajo futuro.

2 Evaluación del rendimiento del sistema

La evaluación del rendimiento es la parte más crítica en la construcción de cualquier sistema. Consiste en determinar los diferentes aspectos del rendimiento de un sistema y estimarlos cuantitativa o cualitativamente. No existe una definición general de métrica de rendimiento; depende del sistema y su definición requiere una comprensión profunda del sistema y su uso [4]. Según Jain, es un arte de la ingeniería de sistemas informáticos [5].

Existen tres técnicas básicas mediante las cuales se puede realizar la evaluación del desempeño [6]:

- Modelado analítico: consiste en utilizar un modelo abstracto basado en nociones matemáticas para describir ciertos aspectos del sistema real. Este modelo se analiza numéricamente para evaluar el rendimiento del sistema real.
- Simulación: consiste en implementar un modelo simplificado que reproduce la realidad.
comportamiento del sistema en el software.
- Medición: consiste en dotar al sistema de instrumentos específicos que permitan recoger los valores relevantes para medir el rendimiento del sistema.

La mayoría de las metodologías de evaluación presentes en la literatura se inspiran en Jainista [5]. Esta metodología consta de los siguientes pasos:

1. Definir el objetivo de la evaluación y determinar los componentes del sistema que lo implementarán.
ser considerados durante el proceso de evaluación.
2. Enumere todos los servicios que ofrece el sistema y los posibles resultados después de la Solicitud de cada servicio.
3. Enumere los criterios del sistema útiles para la evaluación del desempeño.
4. Seleccione los parámetros del sistema que tienen impacto en su rendimiento.
5. Seleccionar los factores a hacer variar para observar las consecuencias de su variación en el rendimiento del sistema.

6. Elija la técnica de evaluación adecuada.
7. Arreglar la carga de trabajo del sistema (la cantidad y la naturaleza de las solicitudes que se le envían).
8. Realizar la experimentación.
9. Analizar e interpretar los resultados obtenidos.
10. Mostrar las conclusiones al usuario.

3 Metodología de evaluación

Para evaluar el rendimiento del MAS, se realizaron dos modificaciones en la metodología de Jain para adaptarla a este contexto: la primera consiste en reorganizar los diferentes pasos. De hecho, observamos que algunos son independientes del dominio de la aplicación. Los agrupamos en una primera fase, denominada fase de elección. La segunda fase, denominada fase de implementación, incluye los pasos a realizar en presencia de la aplicación a evaluar. La segunda modificación se refiere a los pasos 3, 4 y 5 de la metodología de Jain. En ella, confundimos parámetros, criterios y factores, y proponemos identificar las características comunes del MAS. Por lo tanto, la metodología de evaluación que utilizamos se describe a continuación:

- Primera fase: Fase de elección (independiente de la aplicación)
 - Definir el objetivo y determinar los componentes del sistema.
 - Enumere las características del sistema.
 - Seleccione la característica a evaluar.
 - Elegir la técnica de evaluación a aplicar.
- Segunda fase: fase de implementación (depende de la aplicación)
 - Enumere todos los servicios del sistema y los posibles resultados.
 - Arreglar la carga de trabajo del sistema.
 - Realizar la experimentación.
 - Analizar e interpretar los resultados obtenidos.
 - Mostrar conclusiones al usuario.

En primer lugar, el objetivo de la evaluación debe ser lo más claro posible, de modo que el proceso de evaluación se centre únicamente en los datos pertinentes necesarios para alcanzarlo. Hemos identificado diversos niveles de abstracción según los cuales se pueden clasificar los datos de rendimiento:

- El nivel más bajo se refiere a los datos relativos a los efectos que el MAS tiene sobre el huésped. sistema informático, como la utilización de la CPU o el consumo de memoria.
- El nivel más alto se refiere a datos genéricos relativos a las características propias del MAS que generalmente utilizan los diseñadores para evaluar la eficiencia de un enfoque de diseño o para comparar diferentes enfoques de diseño.

Nuestro objetivo es evaluar el rendimiento de los MAS desde una perspectiva organizacional. Esto implica manejar datos de alto nivel de abstracción. Por lo tanto, no nos interesan las limitaciones materiales ni las implementaciones de hardware de los MAS, sino sus características comunes. Según un estudio realizado por Boissier y col. en [2], los MAS tienen 13 características: autonomía, distribución, descentralización, comunicación, interacción, organización, situación en un entorno, apertura, emergencia, adaptación, delegación, personalización y

Inteligibilidad. El segundo punto que debemos abordar es la definición de los componentes del sistema que se considerarán durante la evaluación. En este trabajo, se considera el MAS en su totalidad. Sin embargo, no nos ocupamos de las arquitecturas internas de los distintos agentes.

La comunicación es una de las características más importantes de los SAM. De hecho, es un aspecto central, basado en la interacción de los agentes, y esencial para materializar el atributo social del SAM [7]. Por lo tanto, en este trabajo, nos centramos en la evaluación de los diferentes aspectos de la comunicación en los SAM. Para ello, utilizamos dos técnicas de evaluación: modelado analítico y mediciones directas en el sistema.

4 Sistema de evaluación de la comunicación

El sistema de evaluación propuesto se compone de dos módulos principales: un módulo de observación y un módulo de medición (ver Fig.1 a continuación).

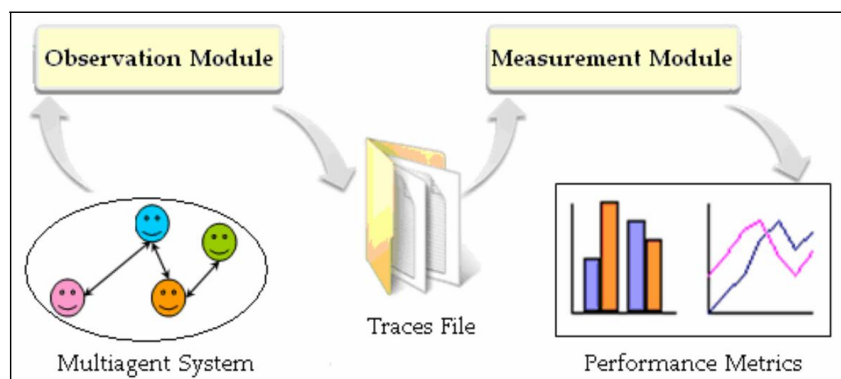


Fig. 1. Arquitectura global del sistema de evaluación

4.1 Módulo de observación

Hay tres formas diferentes en las que se puede observar un MAS:

- La primera consiste en observar el sistema implícitamente, es decir, espiarlo sin interferir con él, de modo que no haya impacto en su desempeño.
- El segundo consiste en observar el sistema explícitamente. Esto puede realizarse gracias a puntos de control, captadores o contadores, etc.
- El tercero consiste en enviar solicitudes al sistema para probar su funcionamiento.

Se supone que los dos últimos métodos interfieren con el sistema en estudio y, en consecuencia, los resultados obtenidos podrían distorsionarse. Por ello, proponemos observar la actividad de nuestro sistema utilizando el primer método, es decir, implícitamente, para no tener que analizar el efecto de la observación en el rendimiento del sistema.

4.2 Módulo de medición

La comunicación podría evaluarse según tres aspectos principales que son:

- El aspecto estructural relativo a la topología de comunicaciones de la red.
- El aspecto sintáctico relativo a la tipología y complejidad de los mensajes.
- El aspecto estadístico relativo a la cuantificación de datos habituales como la
Número de mensajes intercambiados y sus tamaños.

Nuestro estudio abarca estos tres aspectos. Sin embargo, se concede mayor importancia al aspecto estructural de la comunicación. Esto se debe a la naturaleza del modelo MAS utilizado. De hecho, nuestro sistema se modela mediante un grafo orientado donde los nodos representan los agentes del sistema y los arcos representan los enlaces de comunicación entre dichos agentes. Cada arco se pondera según el número de mensajes intercambiados. Según [8], un grafo orientado $G_{XU} = [X, U]$ se compone de:

- Un conjunto X de nodos, donde $|X| = N$.
- Un conjunto U de pares de nodos orientados llamados arcos, donde $|U| = M$.

Existen varias representaciones posibles de un grafo. En este caso, se utiliza la matriz de adyacencia.

$$A = (a_{ij})_{N \times N} \quad (1)$$

En una matriz de adyacencia, cada línea (columna) corresponde a un nodo en el gráfico.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si y solo si } ij \in U \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (2)$$

Para refinar este modelo, cada arco se pondera según el número de mensajes intercambiados por los nodos correspondientes. Para ello, se utiliza otra matriz denominada matriz de ponderaciones.

$$P = (p_{ij})_{N \times N} \quad (3)$$

Propiedades estructurales del grafo de comunicación

Una vez generado el grafo de comunicación del MAS, analizamos sus propiedades. Nuestro análisis se basa en la teoría de grafos, una rama de las matemáticas que estudia la codificación y las propiedades de las redes [9]. Para comprender la estructura de la comunicación del grafo, comenzamos midiendo los dos semigrados de cada nodo.

- Semigrado externo $d_n^-(i)$: es el número de enlaces que vienen de n . Refleja la
 - Grado medio interno $d_n^+(i)$: es el número de enlaces que entran en el grado de
- solicitud n del agente correspondiente al acto de comunicación. Refleja la

$$d_n^+ (i) = \sum_{y=1}^{norte} \frac{A_{ny}}{A_{ni}} \quad d_n^- (i) = \sum_{j=1}^{norte} \frac{A_{jn}}{A_{ji}} \quad (4)$$

Existen otros criterios útiles para describir la estructura del gráfico, a saber, los índices. Los índices fueron desarrollados por K. J. Kansky en 1963 para evaluar las redes de transporte [9]. Algunos de los índices de Kansky utilizados son:

- **Índice beta** b Se expresa mediante la relación entre el número de enlaces (M) y el número de nodos (N). Cuanto mayor sea el número, más compleja será la red.

Así, el índice Beta refleja la complejidad de la red de comunicación que conecta a los agentes.

$$b = \frac{\text{METRO}}{\text{norte}} \quad (5)$$

- **Índice gamma** γ Se expresa mediante la relación entre el número de enlaces observados y el número de enlaces posibles. Su valor oscila entre 0 y 1. Un valor de 1 indica una red completamente conectada. En nuestro caso, el índice Gamma permite medir el grado de comunicación en el MAS.

$$\gamma = \frac{Y}{2} \quad \text{donde} \quad Y = \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} A_{ij} \quad (6)$$

- **Índice theta** θ_i Mide la cantidad promedio de tráfico por nodo. Cuanto mayor sea el valor θ_i Cuanto mayor sea la carga de la red.

$$\theta_i = \frac{Q_i}{norte} \quad \text{donde} \quad Q_i = \sum_{y=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} A_{ij} \quad (7)$$

Además, se puede medir la carga $Q_n(i)$ de cada nodo.

$$Q_n(i) = \sum_{j=1}^{norte} A_{ij} \quad (8)$$

- **Conectividad:** Se dice que un grafo está conectado si existe una cadena de enlace para todos sus pares de nodos. El estudio de la conectividad del grafo de comunicación permite comprender la organización de los agentes del SMA. La identificación de los diferentes subgrafos conectados implica la identificación de las diferentes conexiones en el SMA. Para ello, se utiliza el algoritmo de Tarjan [8], que permite encontrar los componentes conectados en un grafo.
- **Puntos de articulación:** En un grafo conexo, se dice que un nodo es un punto de articulación si su supresión aumenta el número de componentes conexos en el grafo. La existencia de estos nodos en la red de comunicación del MAS refleja cierta centralización en la comunicación. El algoritmo de Tarjan [8] se utiliza para encontrar los puntos de articulación en el grafo de comunicación.

Propiedades sintácticas de la comunicación

Existen dos criterios para evaluar el aspecto sintáctico de la comunicación:

- Tipología de mensajes: La comunicación entre agentes se basa en la teoría de los actos de habla, que considera la comunicación como acción y afirma que estos actos pueden cambiar el estado del mundo, al igual que las acciones físicas [10]. Todos los lenguajes de comunicación de agentes definen una lista de performativos correspondientes a diversos actos de comunicación. Para estudiar la tipología de mensajes, se extrae el campo performativo de cada mensaje y se contabiliza el número de performativos utilizados. • Complejidad de los mensajes: Según la estructura del mensaje, a cada mensaje capturado se le atribuye una de estas tres calificaciones (simple, m
- La calificación atribuida depende de si el contenido del mensaje es:
 - Una cadena: en este caso, el contenido es simple ya que no necesita ser codificado y decodificado para ser interpretado.
 - Una cláusula basada en ontología: en este caso, el contenido es medio ya que está codificado según una ontología común y necesita ser decodificado por el agente para ser interpretado.
 - Un mensaje basado en protocolo: en este caso, el contenido es complejo ya que un protocolo especifica una serie de reglas y comportamientos a realizar además de la ontología común.

Estadística

El análisis de la comunicación se completa con estadísticas. De hecho, contabilizamos el número total de mensajes intercambiados, su tamaño, el número de agentes involucrados y el porcentaje de agentes involucrados.

5 Experimentación

Nuestro sistema de evaluación se ha probado en una aplicación multiagente diseñada para detectar y localizar fallos en un sistema industrial [11][12]. Esta aplicación se implementó en la plataforma multiagente JADE. Consta de los siguientes agentes:

- Los agentes de detección D1, D2, D3, D4 y D5, cuya función es detectar los fallos.
- El agente de localización LOC, cuya función es localizar el fallo.
- El agente de interfaz INT, cuya función es coordinar el procesamiento de los demás agentes. y mostrar resultados al usuario de la aplicación.

Como mencionamos anteriormente, nuestro sistema de evaluación se compone de dos módulos: el módulo de observación y el módulo de medición: El módulo de observación utiliza un

El agente espía Jade, llamado Sniffer [13], recopila los diversos mensajes intercambiados por los agentes de la aplicación. Todos los mensajes capturados por el Sniffer se guardan en un archivo de seguimiento.

El módulo de medición toma este archivo como entrada. Un analizador de ACL lo analiza y llena progresivamente una tabla con la información contenida en este archivo. Esta tabla se utiliza para dibujar el gráfico de comunicación y calcular las métricas de rendimiento.

La figura 2 muestra el gráfico de comunicación de la aplicación de diagnóstico.

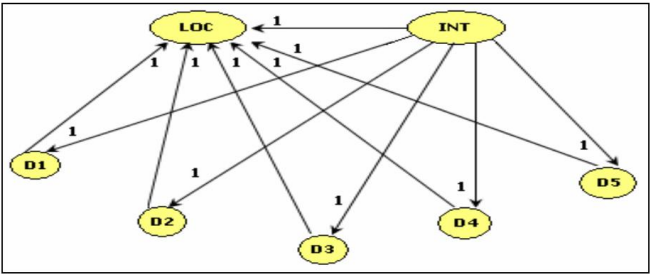


Fig. 2. Gráfico de comunicación del sistema multiagente

Según el gráfico de comunicación, observamos que los agentes de detección D1-5 no se comunican entre sí. Dependen del agente de localización LOC , solicitado por todos los demás agentes. Esto se debe a que, al detectar una falla, los agentes de detección envían los valores de los residuos al agente de localización. Por el contrario, el agente INT envía mensajes y no los recibe. Esto se debe a que, al ser un agente organizador, transmite una solicitud de diagnóstico a los agentes de detección e informa al agente de localización para que reciba los valores de los residuos de estos. La Tabla 1 ilustra los valores de las métricas de rendimiento obtenidos.

Tabla 1. Métricas de rendimiento

Propiedad	Medida	Valor
complejidad de la comunicación en red	Índice b	1.5714
grado de comunicación	Índice c	0,2245
tráfico medio de la red	Índice y^o	1.5714
componentes conectados	NBCC	1
puntos de articulación	No	0
número de agentes involucrados en la comunicación	NBA	11
porcentaje de agentes involucrados en la comunicación	Pac	100%

Según los valores de las métricas presentadas en la Tabla 1, la red de comunicación no es compleja (el índice es bajo). Su valor se acerca más a 0 que a 1, por lo que el MAS se caracteriza por un bajo grado de comunicación. Además, todo el sistema se compone de un único componente conectado, en el que todos los agentes participan en la comunicación (el 100 % de los agentes están implicados en ella).

Según los resultados ilustrados en las Fig.3, Fig.4 y Fig.5, observamos que la carga no está compartida equitativamente y que los agentes LOC e INT están involucrados en la comunicación más que los demás.

Como se muestra en la Fig. 6, la tipología de mensajes es deficiente; los agentes utilizan solo un tipo de mensajes, representado por el acto de comunicación INFORM. Esto parece natural según las necesidades de la aplicación. De hecho, la comunicación entre los diversos agentes consiste en un intercambio de información; no existen soluciones sofisticadas.

o conversaciones complejas. Según la Fig. 7, el tamaño de los mensajes es prácticamente el mismo. El contenido de todos los mensajes presenta una complejidad media, dado que los agentes envían matrices codificadas según la ontología definida por el diseñador de la aplicación.



Fig. 3. Grados de solicitud de los agentes

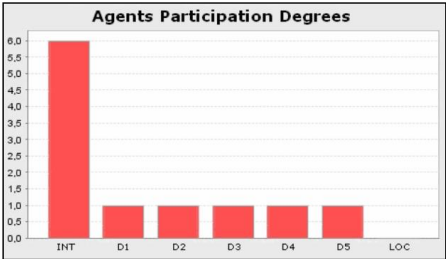


Fig. 4. Grados de participación de los agentes

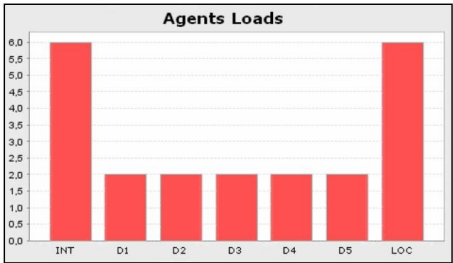


Fig. 5. Cargas de los agentes

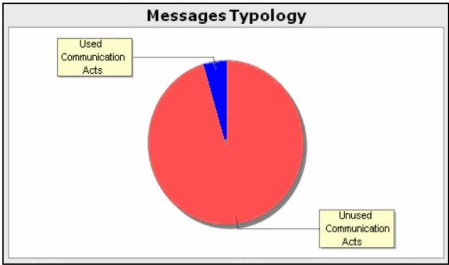


Fig. 6. Tamaños de los mensajes

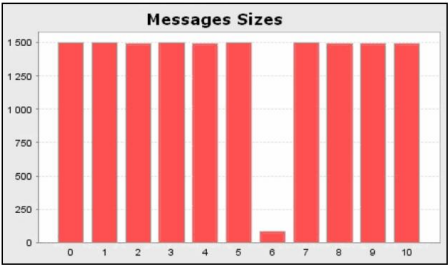


Fig. 7. Tipología de mensajes

6 Conclusión

En este artículo, se propuso un enfoque experimental para evaluar la comunicación en sistemas multiagente. La herramienta de evaluación implementada consta de dos módulos: un módulo de observación y un módulo de medición. El módulo de observación consiste en un agente espía que captura los mensajes intercambiados por los agentes y los guarda.

Los almacenamos en un archivo. El módulo de medición utiliza este archivo para dibujar el gráfico de comunicación y calcular las métricas de rendimiento. Nuestra evaluación abarcó varios aspectos de la comunicación en el MAS: estructural, sintáctico y estadístico. Los resultados obtenidos nos permitieron validar nuestro enfoque. En el futuro, nos centraremos más en el módulo de observación e intentaremos encontrar una solución más genérica para la observación de la actividad del MAS. Además, nos interesarán otras características del MAS.

Referencias

1. Boissier, O., Guessoum, Z., Occello, M.: Un intento de definir criterios para el estudio comparativo de plataformas multiagente. En: *Technique et Science Informatique*, vol 21. Hermès, París (2002)
2. Observatorio Francés de Tecnologías Avanzadas: Sistemas Multiagentes. Arago 29, pp. 27–44. Tec & Doc, París (2004)
3. Jurasovic, K., Jezic, G., Kuzek, M.: Un análisis del rendimiento de sistemas multiagente. *Transacciones internacionales sobre ciencia de sistemas y aplicaciones* 1(4) (2006)
4. Le Boudec, JY: Evaluación del desempeño de sistemas informáticos y de comunicación. Escuela Politécnica Federal de Lucerna (2007)
5. Jain, R.: El arte del análisis del rendimiento de sistemas informáticos. John Wiley & Sons, Inglaterra (1991)
6. Willig, A.: Técnicas de evaluación del desempeño, fundamentos y panorama general. Grupo de Redes de Telecomunicaciones, Universidad Técnica de Berlín (2005)
7. Lejouad-Chaari, W., Mouria-Beji, F.: Protocolo de comunicación de alto nivel en un sistema multiagente distribuido. En: Moonis, A., Mira, J., de Pobil, AP (eds.) *IEA/AIE 1998. LNCS*, vol. 1415, págs. 1415-1606–616. Springer, Heidelberg (1998)
8. Gondran, M., Minoux, M.: Gráficos y algoritmos., Eyrolles, París (1995)
9. Teoría de grafos: Medidas e índices, <http://people.hofstra.edu/geotrans/index.html> 10.
- Wooldridge, M.: Introducción a los sistemas multiagente. John Wiley & Sons, Inglaterra (2002)
11. Saddem, R.: Diseño e implementación de un sistema de diagnóstico basado en agentes. Informe de Maestría en Investigación. Escuela Nacional de Informática, Túnez (2006)
12. Bouabdallah, BS, Saddem, R., Tagina, M.: Una arquitectura multiagente para la detección y aislamiento de fallos. En: *1.er Taller Internacional sobre Aplicaciones con Inteligencia Artificial*. Patras (2007)
13. Documentación en línea de JADE Sniffer, <http://jade.tilab.com/doc/tools/sniffer/index.html>