

Sistema Multiagente CBR-BDI para el estudio de la interacción mar-aire

Javier Bajo
Universidad Pontificia de Salamanca
Compañía 5
37002, Salamanca, Spain
jbajope@upsa.es

Juan M. Corchado
Departamento de Informática y Automática
Universidad de Salamanca
Plaza de la Merced s/n
37008, Salamanca, Spain
corchado@usal.es

Resumen

Durante los últimos años se han producido grandes avances en el estudio de la interacción existente entre la atmósfera y la superficie marina. Dicha interacción, y más concretamente el intercambio de CO₂, es un factor determinante en el comportamiento de la climatología. En este artículo se presenta un modelo de sistema multiagente que, basándose en la utilización de agentes deliberativos que incorporan sistemas de razonamiento basado en casos, permita modelar y evaluar la interacción mar-aire de forma automática. La arquitectura multiagente propuesta tiene su base en la utilización de una metodología de análisis y diseño que combina elementos de metodologías existentes, como son Gaia y AUML, intentando aprovechar sus ventajas.

1. Introducción

Es un hecho que la utilización de agentes y sistemas multiagente para el desarrollo de aplicaciones en entornos dinámicos y flexibles es cada vez mayor. Los agentes proporcionan una serie de capacidades, tales como autonomía, razonamiento, reactividad, habilidades sociales, pro-actividad y movilidad entre otras. Estas capacidades pueden ser modeladas a través de distintas formas y con diferentes metodologías [21]. Una de las posibilidades es la de utilizar sistemas Razonamiento Basado en Casos (CBR). En este trabajo se presenta una arquitectura distribuida cuya principal característica es la utilización de agentes CBR-BDI [5]. Estos agentes son capaces de aprender a partir de un conocimiento inicial, interactuar de forma autónoma con el entorno y con los usuarios del

sistema y de adaptarse a las necesidades del entorno. El sistema distribuido presentado en este trabajo se ocupa de monitorizar de forma global la interacción entre la superficie de las aguas oceánicas y la atmósfera. El objetivo inicial del sistema es el de evaluar y predecir la cantidad de CO₂ que absorbe o expulsa el océano en el Atlántico Norte, y el propósito principal de este trabajo es el de obtener una arquitectura que permita la construcción de sistemas dinámicos capaces de crecer en dimensión y de adaptar sus conocimientos a los cambios del entorno.

Existen muchas arquitecturas que permiten construir agentes deliberativos, y muchas de ellas se basan en el modelo BDI. El modelo BDI utiliza Beliefs como aptitudes informacionales, Desires como aptitudes motivacionales e Intentions como aptitudes deliberativas de los agentes. Concretamente el modelo propuesto en [4, 10] facilita la incorporación de sistemas CBR como mecanismo deliberativo en agentes BDI, proporcionando un aprendizaje, adaptación y un mayor grado de autonomía que una arquitectura BDI pura [11].

Uno de los mayores problemas para el desarrollo de una arquitectura basada en sistemas multiagente es que, hoy en día, se carece de estándares claros que marquen los pasos para realizar un análisis y diseño. Se han estudiado varias metodologías: Gaia [22], AUML [1, 15, 16], MAS-CommonKADS [12], MaSE [8], ZEUS [14], MESSAGE [9]. El problema de estas metodologías es que en general no se encuentran totalmente desarrolladas o presentan ciertas limitaciones. En este artículo se opta por realizar un análisis y diseño de nuestro SMA utilizando una combinación de elementos de las metodologías Gaia y Agent Unified Modeling

Language (AUML). Gaia es una metodología sencilla que permite realizar un primer análisis y un primer diseño con el que afrontar el problema a un nivel general. La gran ventaja es que se puede realizar un estudio rápido y poco detallado. Por el contrario, el problema aparece cuando al finalizar el diseño nos encontramos con que todavía tenemos un nivel de abstracción demasiado alto. Por su parte AUML proporciona mecanismos que permiten obtener un diseño lo suficientemente preciso como para pasar directamente a la implementación, pero presenta el problema de comenzar el estudio del problema a un nivel demasiado específico y detallado. Nuestra idea consiste en aprovechar las ventajas de ambas metodologías realizando un primer análisis y diseño con Gaia y posteriormente realizar los cambios oportunos para continuar con un diseño detallado AUML. De esta forma conseguimos proporcionar tanto una visión del problema a nivel más general y en términos de organización, como una descripción detallada del SMA, lo cual facilita el desarrollo de un proyecto de investigación enormemente.

La implementación de agentes CBR-BDI se realiza utilizando la herramienta Jadex [17]. Jadex incorpora el modelo de la arquitectura BDI a los agentes Jade [2].

En la siguiente sección nos ocuparemos de explicar las relaciones que se pueden establecer entre los conceptos CBR y BDI. En la sección tres se describe el problema oceánico/atmosférico que motiva la mayor parte de esta investigación. En la sección cuatro se muestra el sistema multiagente desarrollado, haciendo especial incidencia en los agentes CBR-BDI. Finalmente se presentan unos resultados preliminares y las conclusiones obtenidas.

2. Agentes CBR-BDI

El CBR es un paradigma que se basa en la idea de que los problemas similares tienen soluciones similares. De esta forma, un problema nuevo se resuelve consultando en la memoria de casos un caso similar que se hubiese resuelto en el pasado. Los agentes deliberativos que se proponen en el marco de esta investigación utilizan este concepto para mejorar su autonomía y aumentar sus capacidades de resolución de problemas. La Figura 1 muestra un diagrama de actividad en el

que interviene uno de nuestros agentes CBR-BDI. Las actividades realizadas incluyen el almacenamiento de nuevos datos recogidos desde un barco y la evaluación del modelo actual en base a dichos datos. En la Figura 1 se puede observar el ciclo de razonamiento, que está formado por cuatro fases secuenciales: retrieve, reuse, revise y retain. La actividad de revisión del conocimiento experto es adicional, y es necesario utilizarla debido a que la memoria puede cambiar por la aparición de nuevos casos. Cada una de estas actividades puede ser automatizada, lo que supone que todo el proceso de razonamiento puede ser automatizado [11]. De acuerdo con esto, los agentes que se implementan utilizando sistemas CBR podrán razonar de forma autónoma y además adaptarse a los cambios de su entorno.

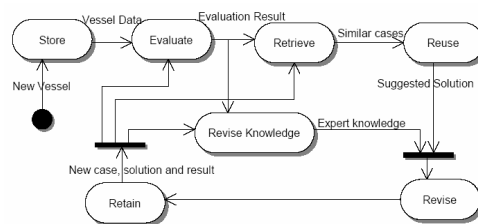


Figura 1. Diagrama de actividad para un agente CBR-BDI incluyendo el ciclo de razonamiento.

El sistema CBR está completamente integrado en la arquitectura de agentes. Los agentes CBR-BDI incorporan un formalismo fácil de implementar, en el cual el proceso de razonamiento se basa en el concepto de intención. Las intenciones se pueden ver como casos, que deben ser recuperados, reutilizados, revisados y aprendidos. Esto hace a este modelo único en cuanto a su concepción y a sus capacidades de razonamiento. La estructura del sistema CBR se ha diseñado sobre el concepto de caso.

Se pueden relacionar sistemas CBR y agentes BDI si se implementan los casos como creencias, intenciones y deseos que conduzcan a la resolución del problema. Como se describe en [7], en un agente CBR-BDI, cada estado equivale a una creencia. Además el objetivo a alcanzar también puede ser una creencia. Las intenciones van a ser planes que contienen un conjunto ordenado de acciones que el agente debe efectuar para alcanzar sus objetivos [3]. El paso de un estado a otro se produce después de ejecutar una

acción (el agente recuerda la acción que se ejecutó en una situación similar en el pasado, así como el correspondiente resultado). Un deseo será uno de los estados finales alcanzados en el pasado (si el agente debe tratar con una situación que es similar a otra pasada, tratará de alcanzar un resultado similar al resultado obtenido previamente).

3. Problema de la interacción Aire Mar

Durante los últimos años se ha prestado un gran interés al comportamiento climatológico y las consecuencias que pueden tener las acciones del hombre sobre la climatología. Uno de los factores más preocupantes es la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. El CO₂ es uno de los gases de efecto invernadero, que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga en unas cantidades determinadas. Sin dióxido de carbono, la Tierra estaría cubierta de hielo. Por otro lado un exceso de CO₂ impide la salida de calor de la atmósfera, actuando como absorbente de radiaciones infrarrojas, hecho que provoca un calentamiento excesivo del planeta [18]. Tradicionalmente se ha considerado que el principal sistema regulador de la cantidad de CO₂ en la atmósfera es la fotosíntesis y respiración realizado por las plantas. Sin embargo, el papel que juega el océano en la regulación de las cantidades de carbono es muy importante y es una magnitud que permanece indefinida [19]. La tecnología actual permite obtener datos y realizar cálculos sobre la interacción mar aire impensables hasta hace poco tiempo. Estos datos permiten tener un conocimiento sobre las fuentes de origen y de disminución de dióxido de carbono así como de sus causas [13, 20], lo que supone la posibilidad de realizar predicciones sobre el comportamiento futuro de la atmósfera.

El objetivo de nuestro proyecto es el de construir un modelo capaz de calcular el flujo de CO₂ intercambiado entre la atmósfera y las aguas de la superficie oceánica, así como las cantidades globales de CO₂ para toda la cuenca oceánica. Los principales parámetros que deben ser tenidos en cuenta a la hora de modelar el intercambio de CO₂ entre la atmósfera y la superficie oceánica son: la temperatura del agua y del aire, la salinidad del agua, las presiones atmosféricas e hidrostáticas, la presencia de nutrientes y vector velocidad del

viento (en módulo y dirección). Estos parámetros pueden ser obtenidos por barcos oceanográficos o a través de imágenes de satélite. Los satélites proporcionan una gran precisión y la posibilidad de obtener una gran resolución tanto espacial como temporal. La información de satélite es vital para la construcción de modelos oceanográficos, y en este caso, para generar estimaciones de los flujos de CO₂ entre el aire y el mar con una alta resolución tanto espacial como temporal, utilizando modelos de inteligencia artificial que pueden ser contrastados con la realidad por medio de muestreos directos in situ sobre el CO₂ de la superficie del océano. Para resolver el problema parece adecuado utilizar sistemas distribuidos automatizados y capaces de incorporar nuevo conocimiento para poder manejar todos los datos útiles y para crear modelos diarios en un tiempo y coste razonables. Nuestra propuesta se presenta en la siguiente sección.

4. Sistema multiagente para la interacción Aire Mar

La opción elegida para definir una metodología de análisis y diseño adecuada a nuestro problema es la de utilizar una metodología intermedia entre Gaia [22] y AUML [1, 15, 16], que trata de aprovechar las ventajas de cada una de ellas. A través de Gaia se consigue un análisis del problema utilizando criterios de organización y un posterior diseño. El resultado tras aplicar Gaia consiste en un diseño a un nivel de abstracción elevado. En ese momento se adapta el diseño Gaia de forma que puedan ser aplicadas técnicas AUML. La Figura 2 muestra los pasos seguidos en nuestro desarrollo. Se puede observar como primero se utiliza Gaia para obtener un análisis y un diseño de alto nivel y después AUML para obtener un diseño detallado de bajo nivel.

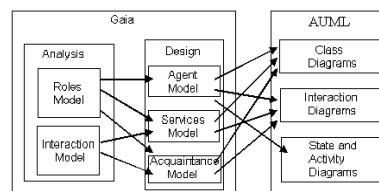


Figura 2. Metodología seguida en el desarrollo

4.1. Análisis y diseño de alto nivel

Gaia es una metodología de análisis y diseño de sistemas basados en agentes. Se trata de una metodología de carácter muy general, con lo que es aplicable a un rango muy amplio de sistemas multiagente. Además permite tener un amplio conocimiento de los sistemas multiagente tanto a nivel organizativo (social) como a nivel de detalle de cada agente [22]. El análisis Gaia permite obtener dos modelos, el modelo de roles y el modelo de interacción. Partiendo de los requisitos del problema planteado se decide utilizar seis roles: El rol STORING se encarga de obtener y almacenar datos de carácter permanente en las bases de datos. El rol PROCESSING transforma las imágenes de satélite en casos. El rol DATACAPTURING obtiene datos de los Vessels. El rol CONSTRUCTAPARTIALCO₂MODEL se ocupa de generar modelos. El rol OBTAINCO₂EXCHANGE calcula la tasa de intercambio de CO₂ utilizando los modelos disponibles. El rol AUTOEVALUATION evalúa un modelo contrastando sus resultados con datos reales obtenidos por los sensores de los Vessels. El rol PROCESSINGINFORMATION permite que un usuario pueda interactuar con el sistema. La Figura 3 muestra el modelo de roles para el rol PI, con la especificación de sus atributos característicos: Responsabilidades, permisos, actividades y protocolos [22].

Por su parte, el modelo de interacción muestra las dependencias y relaciones entre roles. Por cada interacción entre dos roles se tiene un protocolo. Para nuestro SMA se ha decidido utilizar los siguientes protocolos de interacción: ObtainNewModelSuper, ObtainNewModelAuto, ObtainNewModelStoring, ObtainConstructData, ObtainStModel, ObtainStore, ObtainVessel, ObtainEvaluationSuper, ObtainEvaluationDC, Activate/Deactivate Sensors, Delete EPROM, ChangeStore, ChangeCase, ObtainVesselData, ObtainStExchange y ObtainInsituData. Cada interacción se modela de forma que se muestran los roles implicados y los distintos protocolos que utilizar para llevar a cabo la interacción.

Role Schema: PROCESSINGINFORMATION (PI)
Description: Supplies information for user's requests.
Protocols and Activities: ProcessStore, RequestStore, ProcessVessel, RequestVessel, Evaluatemodel, RequestModel, RequestExchange, ProcessModel, RequestChangeStore, RequestChangeCases, RequestDeleteEPROM, RequestActivateSensors, RequestNewModel, RequestPIEvaluation, ProcessExchange
Permissions: Reads: User data Changes: Generates:
Responsibilities: Liveness: OBTAIN-EVALUATION: RequestPIEvaluation EvaluateModel PROCESS-STORE: RequestStore ProcessStore PROCESS-CAMODEL: RequestModel ProcessModel PROCESS-VESSEL: RequestVessel ProcessVessel OBTAIN-EXCHANGE: RequestExchange ProcessExchange CREATE-MODEL: RequestNewModel ProcessModel ACTIVATE-SENSORS: RequestActivateSensors DELETE-VESSEL: RequestDeleteVessel CHANGE-STORE: RequestChangeStore CHANGE-CASES: RequestChangeCases Safety: Successful connection with Vessel established Successful connection with Store established Successful connection with Model established

Figura 3. Modelo de roles Gaia para el rol PI.

En cuanto al diseño Gaia, se busca reducir el nivel de abstracción para que puedan ser aplicadas técnicas tradicionales. Se consideran tres modelos: modelo de agentes, modelo de servicios y modelo de confianza [22]. La Figura 4 muestra el modelo de agentes para nuestro sistema. Cada agente se encarga de realizar una serie de roles. Por ejemplo el agente Store se va a encargar de realizar los roles STORING y PROCESSING, y en tiempo de ejecución será necesario tener al menos una instancia del rol STORING y una instancia del rol PROCESSING.

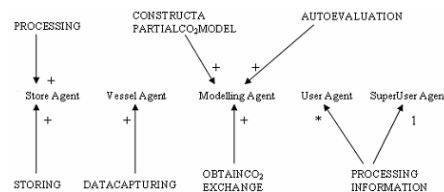


Figura 4. Modelo de Agentes Gaia para nuestro SMA.

4.2. Diseño del agente CBR-BDI

AUML es una metodología que trabaja a un nivel de detalle elevado, quizás demasiado elevado en

sus etapas iniciales para problemas de gran magnitud, como es el caso concreto en el que nos encontramos. Nuestra propuesta trata de utilizar el análisis de alto nivel obtenido con Gaia y llevar a cabo un diseño con AUML a bajo nivel, a un nivel suficiente de detalle como para proceder a la implementación.

Hay tres conceptos que varían ligeramente con respecto a su significado de la metodología Gaia a la metodología AUML: rol, servicio y capacidad [1, 15]. Con el diseño AUML obtenemos diagramas de clases para cada agente, diagramas de colaboración o secuencia, diagramas de estado y diagramas de actividad [1, 15, 16].

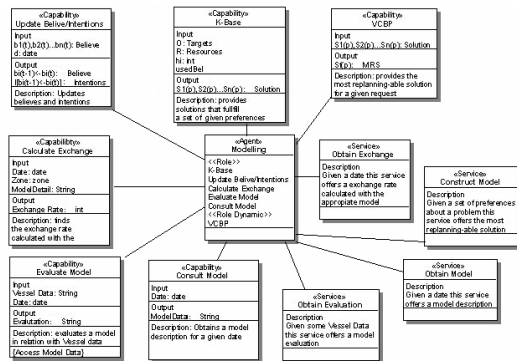


Figura 5. Diagrama de clases para el agente Modelling.

Por motivos de espacio, en este trabajo se presentan algunos de los diagramas más representativos obtenidos con un diseño de bajo nivel. La Figura 5 muestra el diagrama de clases para el agente CBR-BDI de nuestro sistema. Se trata del agente más importante dentro del sistema distribuido. El agente posee seis capacidades y ofrece cuatro servicios que pueden utilizar el resto de agentes. Por otro lado, en la Figura 6 se puede observar la interacción que se produce en el sistema cuando llegan nuevas imágenes de satélite y es necesaria la creación de un nuevo modelo.

Una vez finalizado el diseño se procede a la implementación y se utiliza para ello la herramienta Jadex, que es una herramienta que incorpora el modelo BDI a los agentes Jade, y la herramienta Jade. Con Jadex se construyen los agentes Modelling, mientras que el resto de agentes se construyen con Jade. Los mecanismos de comunicación son los definidos en Jade [2, 17].

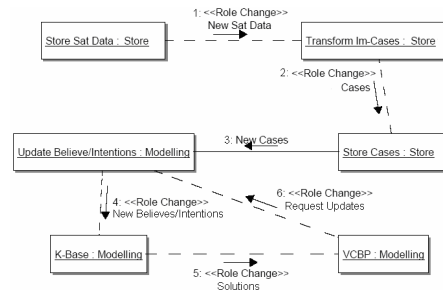


Figura 6. Diagrama de colaboración para crear un modelo por llegada de nuevas imágenes.

5. Resultados y conclusiones

El sistema descrito ha sido probado en el Océano Atlántico Norte durante 2004. Durante este periodo de tiempo se ha puesto a punto y actualizado el sistema multiagente de forma que el primer prototipo autónomo comenzó a funcionar en mayo de 2004. A pesar de que el sistema no se encuentra totalmente operativo y que el objetivo del proyecto es el de construir un prototipo para investigación y no una herramienta comercial, los resultados iniciales han sido muy satisfactorios desde los puntos de vista técnico y científico. La construcción del sistema distribuido ha sido relativamente fácil gracias a la utilización de bibliotecas CBR-BDI previamente desarrolladas [5, 6, 7, 10]. Desde el punto de vista de la ingeniería del software, AUML [1, 15, 16] y Gaia [23] proporcionan un marco adecuado para el análisis y diseño de sistemas distribuidos basados en agentes. El formalismo definido en [10] facilita un paso directo entre la definición de agente y la construcción CBR. La Figura 7 presenta una captura de pantalla de una de las vistas del agente User. El usuario puede interactuar con el agente Modelling (vía un agente User) siguiendo el modelo de interacción descrito en la Figura 6 y solicitar la creación de un nuevo modelo para una determinada zona del océano. La Figura 7 muestra la tasa de intercambio en el Atlántico Norte calculada por el agente Modelling durante el 10 de Julio de 2004. También presenta la cantidad de dióxido de carbono generado y absorbido durante los siete primeros meses de 2004. Los menús en la parte izquierda facilitan la interacción o interrogación con otros agentes del sistema.

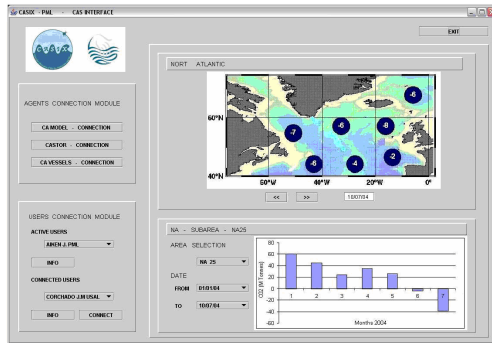


Figura 7. Captura de pantalla de un agente User.

Un concepto fundamental en un sistema CBR es el de caso. Un caso en nuestro problema está formado por los atributos descritos en la Tabla 1. El agente puede consultar, modificar o borrar los casos de forma manual o automática (durante su etapa de revisión). Los planes del agente (intenciones) se pueden generar utilizando distintas estrategias, ya que el agente integra distintos algoritmos.

Tabla 1. Atributos de los casos.

Case Field	Measurement
DATE	Date
LAT	Latitude
LONG	Longitude
SST	Temperature
S	Salinity
WS	Wind strength
WD	Wind direction
Fluo_calibrated	Fluorescence calibrated with chlorophyll
SW pCO2	surface partial pressure of CO2

Se ha mantenido una continua interacción tanto por parte de los desarrolladores como de oceanógrafos con el sistema multiagente durante su construcción y periodo de prueba, desde Diciembre de 2003 hasta Septiembre de 2004. El sistema se ha probado durante los tres últimos meses de 2004 y los resultados han sido muy precisos. La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos con el sistema multiagente y con modelos matemáticos [13] utilizados por oceanógrafos para identificar la cantidad de CO₂ intercambiada. Los valores numéricos representan los millones de toneladas de dióxido de carbono

que han sido absorbidas (valores negativos) o generadas (valores positivos) por el océano durante cada uno de los tres meses.

Tabla 2. Millones de toneladas de CO₂ intercambiadas en el Atlántico Norte.

	Oct. 04	Nov. 04	Dec. 04	Jan. 05	Feb. 05
Multiagent System	-18	19	31	29	28
Manual models	-20	25	40	37	32

Los valores propuestos por el agente CBR-BDI son relativamente similares a los obtenidos mediante técnicas estándar. En este caso la base de casos/instancias se ha construido con unas 100,000 instancias, e incluye datos desde 2002. El sistema multiagente ha incorporado de forma automática unas 20,000 instancias durante estos tres meses y eliminado el 13% de las iniciales. Mientras el agente CBR-BDI Modelling genera resultados a diario sin intervención humana, las técnicas manuales requieren el trabajo de un investigador que procese los datos durante al menos cuatro días de trabajo. Aunque el sistema propuesto requiere modificaciones adicionales los resultados iniciales son muy prometedores. El sistema VCBP CBR embebido en el agente Modelling ha proporcionado unos resultados relativamente precisos en aguas del Atlántico Norte [10]. El sistema facilita la incorporación de nuevos agentes que utilicen diferentes técnicas de modelado y estrategias de aprendizaje de forma que se puedan realizar experimentos adicionales con nuevas técnicas y puedan ser comparados con los resultados iniciales presentados en este documento.

Agradecimientos

La investigación que se presenta en este trabajo ha sido realizada gracias a la ayuda del proyecto MCYT: TIC2003-07369-C02-02 - Integración de Comunicación Inalámbrica en una Arquitectura Multiagente.

Referencias

- [1] Bauer, B. and Huget, M. P. (2003) FIPA Modeling: Agent Class Diagrams.

- [2] Bellifime, F. Poggi, A. and Rimasa, G. (2001) JADE: a FIPA2000 compliant agent development environment. Proceedings of the 5th international conference on autonomous agents (ACM).
- [3] Bratman M.E., Israel D., and Pollack M.E. (1988). Plans and resource-bounded practical reasoning. *Computational Intelligence*, 4, pages 349-355.
- [4] Bratman, M.E. (1987). *Intentions, Plans and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, M.A.
- [5] Corchado J. M. and Laza R. (2003). Constructing Deliberative Agents with Case-based Reasoning Technology, *International Journal of Intelligent Systems*. Vol 18, No. 12, December. pp.: 1227-1241
- [6] Corchado J. M. and Lees B. (2001). A Hybrid Case-based Model for Forecasting. *Applied Artificial Intelligence*. Vol 15, no. 2, pp.105-127.
- [7] Corchado J. M., Pavón J., Corchado E. and Castillo L. F. (2005) Development of CBR-BDI Agents: A Tourist Guide Application. 7th European Conference on Case-based Reasoning 2004. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 3155, Springer Verlag. pp. 547-559.
- [8] DeLoach, S. (2001) *Analysis and Design using MaSE and AgentTool*. Proceedings of the 12th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference (MAICS).
- [9] EURESCOM (2001) MESSAGE: Methodology for engineering systems of software agents. Technical report P907-T11, EURESCOM.
- [10] Glez-Bedia M. and Corchado J. M. (2002) A planning strategy based on variational calculus for deliberative agents. *Computing and Information Systems Journal*. Vol 10, No 1, 2002. ISBN: 1352-9404, pp. 2-14.
- [11] Glez-Bedia M., Corchado J. M., Corchado E. S. and Fyfe C. (2002) Analytical Model for Constructing Deliberative Agents, *Engineering Intelligent Systems*, Vol 3: pp. 173-185.
- [12] Iglesias, C., Garijo, M., Gonzalez J.C. and Velasco J. R. (1998) *Analysis and Design using MAS-CommonKADS*. *Intelligent Agents IV LNAI Volume 1365* Springer Verlag.
- [13] Lefevre N., Aiken J., Rutllant J., Daneri G., Lavender S. and Smyth T. (2002) Observations of pCO₂ in the coastal upwelling off Chile: Sapatial and temporal extrapolation using satellite data. *Journal of Geophysical research*. Vol. 107, no. 0
- [14] Nwana H.S., Ndumu, D. T., Lee, L. C. and Collins J. C. (1999) ZEUS: A Toolkit for Building Distributed Multi-Agent Systems. *Applied Artificial Intelligence Journal*, vol 1, n°13, pp. 129-185.
- [15] Odell, J., Levy R., and Nodine M. (2004) FIPA Modeling TC: Agent Class Superstructure Metamodel. FIPA meeting and interim work.
- [16] Odell, J. and Huget, M. P. (2003) FIPA Modeling: Interaction Diagrams.
- [17] Pokahr, A., Braubach, L. and Lamersdorf W. (2003) *Jadex: Implementing a BDI-Infrastructure for JADE Agents*, in: EXP - In Search of Innovation (Special Issue on JADE), Vol 3, Nr. 3, Telecom Italia Lab, Turin, Italy, September 2003, pp. 76-85. *Jadex*
- [18] Santamaria J. and Nieto J. (2000) Los agujeros del cambio climático. *World Watch* no. 12. pp 62-65.
- [19] Sarmiento J. L. and Dender M. (1994) Carbon biogeochemistry and climate change. *Photosynthesis Research*, Vol. 39, 209-234.
- [20] Takahashi T., Olafsson J., Goddard J. G., Chipman D. W. and Sutherland S. C. (1993) Seasonal Variation of CO₂ and nutrients in the High-latitude surface oceans: a comparative study. *Global biochemical Cycles*. Vol. 7, no. 4. pp 843-878.
- [21] Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995) *Agent Theories, Architectures, and Languages: a Survey*. In: Wooldridge and Jennings, editors, *Intelligent Agents*, Springer-Verlag, pp. 1-22.
- [22] Wooldridge, M. and Jennings, N. R. and Kinny, D. (2000) The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3 (3). pp. 285-312.