

## UN MODELO DE INTEROPERABILIDAD PARA SISTEMAS AUTONOMOS EN ENTORNOS DISTRIBUIDOS

Ierache, J.<sup>1,2</sup>, Naiouf M.<sup>3</sup>, Garcia Martinez, R.<sup>4,2</sup>, De Giusti, A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales. UM

<sup>2</sup> Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Facultad de Ingeniería. UBA

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones en Informática LIDI. Facultad de Informática. UNLP

<sup>4</sup> Centro de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento. Escuela de Postgrado. ITBA

jierache @animoron.edu.ar , {degiusti,mnaiouf}@lidi.info.unlp.edu.ar, rgm@itba.edu.ar

### RESUMEN

La línea orienta su investigación a Arquitecturas de Sistemas Distribuidos, Sistemas Inteligentes Autónomos, Modelos de Integración de Arquitecturas, Modelos de Interoperabilidad Semántica, Compartición de Conocimiento. Esta se enfoca en plantear un modelo para que sistemas autónomos inteligentes basados en distintos mecanismos de compartición de conocimiento interoperen en entornos distribuidos, con énfasis en la unificación semántica de dicha interoperación. Verificado el modelo, se pretende explorar su utilización en problemas de escenarios de interacción de múltiples robots distribuidos (simulados y reales), escenarios de integración dinámica de valoraciones que agentes formulen sobre el estado de un exosistema. Se esperan los siguientes aportes originales como resultado de la investigación: [a] un modelo de interoperabilidad para sistemas autónomos distribuidos y [b] resultados experimentales de la aplicación del modelo propuesto en los campos de: arquitecturas multi-robot distribuidas e integración dinámica de valoraciones automáticas.

### 1. Introducción

Un rasgo comúnmente asociado con la inteligencia es la capacidad de adquirir nuevos conocimientos [Fritz et al., 1989; García Martínez, 1997b]. Esto se manifiesta en los procesos de aprendizaje, que aceptan ser descriptos en términos de asimilación e incorporación de información extraída del contexto. De esta forma, un sistema inteligente autónomo puede definirse [Fritz et al., 1989; 1990; García Martínez y Borrajo, 1996] como aquél capaz de descubrir y registrar si una acción efectuada sobre una situación dada fue beneficiosa para lograr su objetivo. Para aprender en un mundo real, un sistema necesita formular una teoría acerca de los efectos de las acciones sobre su entorno. Necesita construir planes, monitorizar la ejecución de esos planes para detectar expectativas violadas y diagnosticar y rectificar errores que los datos inconsistentes revelen [García Martínez y Borrajo, 2000].

El aprendizaje es necesario porque en un nuevo entorno, el sistema no puede saber “a priori” las consecuencias de sus acciones ni las relaciones existentes entre las acciones y las percepciones [Kaelbling, 1993; García-Martínez, 1997; Jain *et al.*, 1999]. Diversos autores han tratado ampliamente el aprendizaje automático [Krodatoff, 1998; Michalski *et al.*, 1983; 1986; Michalski y Krodatoff, 1990; Michalski y Tecuci, 1994; Sierra-Araujo, 2006.]. En particular, ha recibido mucha atención la forma en la cual los sistemas inteligentes autónomos pueden construir automáticamente operadores (teorías) que modelizan su entorno [Fritz *et al.*, 1989; García Martínez, 1990; 1993a; 1993b; 1993c; 1993d; 1997b]. Recientemente en [García Martínez *et al.*, 2006] se aborda el problema de compartir el conocimiento entre distintos agentes (sistemas inteligentes autónomos). Los agentes actúan y comparten conocimiento en un entorno distribuido, Miatón, I., Pesado, P., Bertone, R. y De Giusti. 2003. proponen el empleo de Agentes Basados en Sistemas Distribuidos. Compartir el entendimiento común de la estructura de información entre personas y agentes de software requiere desarrollar ontologías [Musen, 1992, Gruber 1993]. Una ontología contiene definiciones, conceptos básicos y relaciones entre estos que pueden ser interpretados por un

sistema. El desarrollo de ontologías permite compartir el entendimiento común de las estructuras de información entre personas o agentes de software, la reutilización de conocimientos del dominio, explicitar suposiciones del dominio, separar el conocimiento del dominio del conocimiento operacional, analizar el conocimiento de un dominio. Constituyen entornos de edición de ontologías herramientas tales como: Protege [2006], Ontolingua [KSL, 2006], Chimaera [2006], entre otras. En términos prácticos desarrollar una ontología incluye: definir las clases, organizar las clases en una jerarquía taxonómica (superclase / sub-clase), definir slots y describir valores permitidos para esos slots. Se pueden distinguir tres tipos fundamentales de ontologías: de un dominio, genéricas, representacionales o también denominadas meta-ontologías. Shamsfard y Barforoush [2003, 2004] introducen un framework de OL (Ontologies Learning), que facilita la clasificación y comparación de OL y proponen un pequeño Kernel primario para construcción automatizada de ontologías, este Kernel contiene los conceptos, relaciones y operadores para construir ontologías independiente del dominio. En otro orden MITRE [Pulvermacher *et al.*, 2004] presenta la integración semántica de sistemas de Comando y Control (C2), para alcanzar la interoperabilidad semántica se propone una aproximación de C2 a través de M2M (Machine to Machine) en ambientes dinámicos.

## 2. Modelo preliminar de interoperabilidad para sistemas autónomos en entornos distribuidos

El modelo preliminar que se describe a continuación considera Agentes Autónomos (AA) distribuidos en un Mundo (M) pudiendo ser estos reales (r), virtuales (v), o híbridos (h). Sobre el mundo de actuación los Agentes realizan la sensorización, acciones para alcanzar sus metas u objetivos y comparten el conocimiento adquirido a través de sus capacidades de interoperar entre sí. La Arquitectura propuesta del Agente Autónomo (AA) que actúa en un mundo (M), dispone de:

- Un Sistema de Sensorización (SS) considerando **Sensores Reales (SR)** y **Sensores Virtuales (SV)**
- Un Sistema de Actuación (SA), considerando **Actuadores Reales (AR)** y **Actuadores Virtuales (AV)**
- Un Sistema de Comunicación (SC) que facilita la interacción entre agentes y con su entorno de operación.
- Un Sistema de Control Inteligente (SI) constituido por:
  - Mecanismo de aprendizaje (MA)
  - Formalizador de Teorías de funcionamiento del entorno (T) que se conforman por:
    - Teorías del Creador
    - Teorías del Agente
    - Teorías de otros Agentes del mismo Mundo o de diferentes Mundos, para reforzar el aprendizaje del agente.
  - Planificador del Agente (PA)
- Un Sistema de interoperabilidad del Agente (IA)

**El Aprendizaje del Agente Autónomo** se desarrolla en el contexto de las **Teorías de Funcionamiento del Entorno**, el Agente Autónomo (AA) con su sistema de sensorización (SS) del Mundo (M) ejecuta sus acciones, las que efectúa de acuerdo a su sistema de actuación (SA); aprende a través las Unidades de Experiencias (U) que el mismo obtuvo y las que obtiene en función de su interoperabilidad (IA) con otros agentes autónomos con los que comparte su conocimiento (CC). En García Martínez [García Martínez, 1991a] se propone un modelo de teoría (Ti) que es una extensión del descrito por Anderson y Kline [Anderson y Kline, 1979] y es representado por la quintupla (CTi, ATi, ETi, P, K, U), donde:

- $T_i$ , Teoría compuesta por :
  - $CT_i$  Condiciones supuestas
  - $AT_i$  Acción
  - $ET_i$  Efectos Predecidos
  - P Cantidad de veces que la teoría  $T_i$  fue utilizada con éxito
  - (se obtuvieron los efectos predecidos)
  - K Cantidad de veces que la teoría  $T_i$  se utilizó

**Planificador del Agente (PA):** los agentes ponen en marcha sus Intenciones I para alcanzar sus Metas (M) u Objetivos (O), las intenciones (I) forman parte del plan que le permitirá al agente obtener su meta u objetivo, estas intenciones se manifiestan como las acciones planeadas por el agente para alcanzar su meta que se presentan como Situación inicial (Si), Acción (A) y la Situación final (Sf), en el contexto de sus Creencias (C) que se conforman por el conjunto de Teorías (T) que el agente conoce.

**Mundo (M) o Hábitat de los Agentes**, se conforma de (AA) Agentes Autónomos reales (r), virtuales (v), híbridos (h) en cooperación o competencia, (OCr) Objetos Constructores Reales (obstáculos físicos, paredes de un laberinto, etc), (OCv) Objetos Constructores Virtuales (ríos, montañas, restricciones meteorológicas como ser niebla, nevada, etc) ,y (OTr) Objetos Target Reales o (OTv) Virtuales (por ejemplo el balón o bola de color en una competencia de fútbol de robots, un cubo que se debe acomodar, etc).

**Interoperabilidad del Agente (IA)**, para la caracterización de Interoperabilidad del Agente (IA): se propone preliminarmente considerar la interoperabilidad del agente en relación a dos aspectos, el primero en función del protocolo de aplicación, transporte e interfaces considerado en el punto de sistemas de comunicación (SC) y el segundo mas importante en este punto es su capacidad para interoperar semánticamente (Is) con otros agentes autónomos (AA)

**La Interoperabilidad Semántica se caracteriza por:**  $Is \{OG1..n, OP1..n\}$  donde OG representa a las Ontologías de uso General o Global que el agente a incorporado y OP representa a las Ontologías Particulares o específicas que el agente incorpora y especializa en el contexto de su entorno operacional.

**Intercomunicación entre agentes y objetos (Iao):** facilita la infraestructura para la intercomunicación entre agentes (reales, virtuales), como así también entre estos y objetos target virtuales, objetos constructores virtuales a través de su sensorización virtual, estas capacidades facilitan a nivel del mundo de pertenencia del agente y a nivel de otros mundos, el desarrollo de escenarios que enriquecen la evolución del aprendizaje de los agentes. La intercomunicación entre agentes, objetos  $Iao\{AA, M\}$  se desarrolla en el contexto de agentes autónomos (AA) y el Mundo(M).

**La arquitectura modelo para el Agente Autónomo (AA)** en estudio integra Sistemas capaces de efectuar en primer lugar la Sensorización Real (SR) y Virtual (SV) del mundo M, con capacidad de actualizar las creencias (C) del agente sobre el Mundo o hábitat de actuación, facilitadas por el Sistema de Comunicaciones (SC) a través de la interacción entre agentes y objetos (Iao) que conforman el mundo M. En segundo la arquitectura integra la actuación real (AR) y la actuación virtual (AV) en el Mundo (M) determinada por el Sistema de Control Inteligente (SI), el que a partir de sus unidades de experiencia (U) o las unidades de experiencia de otros agentes (Uoa), administradas por el Sistema de Interoperabilidad del Agente (IA) el que a través de la interoperabilidad semántica para la compartición de conocimientos de agentes del propio mundo (M) o de otros mundos (MM); formula al sistema de actuación (SA) las acciones que este debe

realizar para alcanzar su Meta. Se presenta a continuación en la figura N° 1, el Diagrama Conceptual del Modelo de Arquitectura en Estudio descrito.

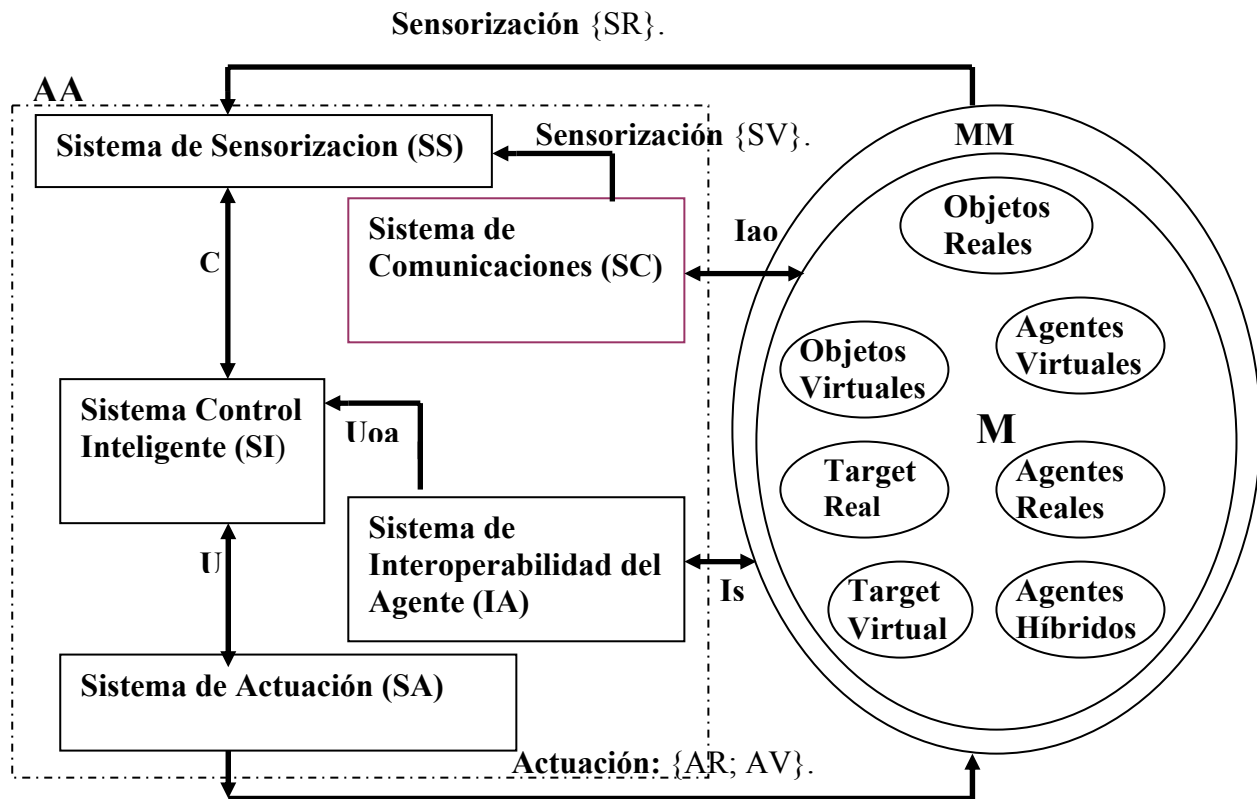


Fig. 1. Diagrama Conceptual del Modelo de Arquitectura en Estudio

### 3. Problemas abiertos

Se presenta en el presente trabajo problemas abiertos tales como los *modelos y mecanismos para compartir conocimiento* entre agentes autónomos que pertenecen tanto al mismo mundo como a mundos diferentes en un entorno distribuido, como así también la *equiparación de teorías para determinar su igualdad, su grado de similitud y utilidad* en el contexto de teorías que evolucionaron en distintos mundos, finalmente las métricas que surjan en apoyo a la experimentación resultaran una contribución al problema planteado

### 4. Casos a experimentar

Para el **trabajo en situaciones reales** se espera realizar experimentaciones correspondientes con distintos tipos de robots Khepera, NXT, RCX, Robosapiens V2, en función de la disponibilidad se orientaran los esfuerzos a plantear ambientes de robots de distintos tipos distribuidos geográficamente. El modelo considera para la experimentación la **incorporación de agentes robots perteneciente al mundo real y virtuales (simulados)**. Los escenarios de experimentación se elaboraran en mesas de experimentación reales, pudiendo enriquecer estos al considerar constructores de mundos virtuales a fin de incorporar restricciones geográficas al ambiente de experimentación como ser lagunas, situaciones de suelos de distinta naturaleza, (rocoso, campo, anegadizo, entre otros), ríos, montañas, valles, etc. **Los casos potenciales de experimentación** inicialmente consideraran características propias de los escenarios del tipo laberinto, navegación con obstáculos, seguimiento y evasión, presas depredadores, competencias fútbol de robots, entre otros. En este contexto se propondrán métricas específicas para medir la eficiencia de los agentes autónomos.

## 5. Formación de recursos humanos

A la fecha de esta comunicación se han radicado en la línea de investigación una tesis de doctorado en ciencias informáticas y una tesis de grado en ingeniería.

## 6. Referencias

- Chimaera 2000 *Ontology Enviroment*. <http://www.ksl.tanford.edu/software/chimaera>. Página vigente al 24/03/07.
- Conry, S. E., Meyer, R. A., & Lesser, V. R. 1988
- Fritz, W., García Martínez, R., Rama, A., Blanqué, J., Adobatti, R, y Sarno, M. 1989. *The Autonomous Intelligent System*. *Robotics and Autonomous Systems*, 5(2): 109-125.
- García Martínez, R. & Borrajo Millán, D. 1996. *Unsupervised Machine Learning Embedded in Autonomous Intelligent Systems*. Proceedings of the XIV International Conference on Applied Informatics. Páginas 71-73. Innsbruck. Austria.
- García Martínez, R. & Borrajo Millán, D. 1998. *Learning in Unknown Environments by Knowledge Sharing*. Proceedings of the Seventh European Workshop on Learning Robots. Páginas 22-32. Editado University of Edinburg Press.
- García Martínez, R. 1997. *Sistemas Autónomos. Aprendizaje Automático*. Editorial Nueva Librería. ISBN 950-9088-84-6
- García Martínez, R. y Borrajo Millán, D. 1997. *Planning, Learning and Executing in Autonomous Systems*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. 1348:208-210.
- García Martínez, R. y Borrajo Millán, D. 2000. *An Integrated Approach of Learning, Planning and Executing*. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 29(1):47-78.
- Jain, S., Osberson, D., Royer, J. y Sharma, A. 1999. *Systems That Learn*. MIT Press. ISBN 0-262-10077-0.
- Kaelbling, L. 1993. *Learning in Embedded Systems*. MIT Press. ISBN 0-262-1174-8.
- Krodatoff, Y. 1998. *Introduction to Machine Learning*. Morgan Kaufmann. ISBN 1-55860-037-X.
- KSL. 2006 *.Ontolingua*. <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>. Página vigente al 24/03/07
- Miatón, I., Pesado, P., Bertone, R. y De Giusti. 2003. *Agentes Basados en Sistemas Distribuidos*. Proceedings V Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación
- Michalski, R. y Krodatoff, Y. 1990. *Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach. Vol. III*. Morgan Kaufmann. ISBN 0-55860-119-8.
- Michalski, R. y Tecuci, G. 1994. *Machine Learning. A Multistrategy Approach. Vol. IV*. Morgan Kaufmann. ISBN 0-34613-09-5.
- Michalski, R., Carbonell, J., y Mitchell, T. 1983. *Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach. Vol. I*. Morgan Kaufmann. ISBN 0-934613-09-5.
- Michalski, R., Carbonell, J., y Mitchell, T. 1986. *Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach. Vol. II*. Morgan Kaufmann. ISBN 0-934613-00-1.
- Mitchell, T. 1997. *Machine Learning*. Mc Graw Hill. ISBN 0-07-042807-7.
- PROTEGE. 2000. *The Protégé Project*. <http://protege.stanford.edu>. Pagina vigente al 24/03/07.
- Pulvermacher M., Stoutenburg S., Semy, S. 2004. *Netcentric Semantic Linking: An Approach for Enterprise Semantic Interoperability*, MITRE Technical Report.
- Shamsfard, M. y Barforoush, A. 2003. *The State of the Art in Ontology Learning: A Framework for Comparison*. *Knowledge Engineering Review*, 18(4): 293-316.
- Shamsfard, M. y Barforoush, A. 2004. *Learning Ontologies from Natural Language Texts*. *International Journal of Human-Computer Studies* 60(1): 17-63
- Sierra-Araujo, B. 2006. *Aprendizaje Automático. Conceptos Básicos y Avanzados*. Perason/Prentice Hall. ISBN 84-8322-318-X.