

# Especificación e Implementación de Agentes Inteligentes para el Soporte a la Toma de Decisiones

Maximiliano Celmo David Budán<sup>1,2</sup> Guillermo R. Simari<sup>2</sup> Rosanna Costaguta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>2</sup> Depto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur

<sup>3</sup> Depto. de Informática, Facultad de Cs. Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero

Av Alem 1253 – 8000 Bahía Blanca, Argentina

[Maximiliano699@gmail.com](mailto:Maximiliano699@gmail.com), [grs@cs.uns.edu.ar](mailto:grs@cs.uns.edu.ar), [rosanna@unse.edu.ar](mailto:rosanna@unse.edu.ar)

## Resumen

El objetivo general de esta línea de investigación es estudiar en el contexto de un sistema multi-agente (MAS), la problemática asociada con la especificación e implementación de un agente inteligente deliberativo con la capacidad de brindar apoyo a la toma de decisiones. Uno de los objetivos particulares es el diseño y la realización computacional de una arquitectura para un agente autónomo con la capacidad de contribuir a la toma de decisiones en un entorno MAS colaborativo.

Palabras claves: Sistema Multi-agente, Agente Inteligente Deliberativo, Toma de Decisiones

## Contexto

El presente plan de trabajo está estrechamente relacionado con los siguientes proyectos de investigación que se desarrollan dentro del ámbito del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial (LIDIA):

*“Sistemas De Apoyo a la Decisión Basados en Argumentación: formalización y aplicaciones”*. PIP-CONICET (PIP-112-200801-02798). Director: Carlos Iván Chesñear. Período 01/2009 - 12/2011. CONICET.

*“Formalismos Argumentativos aplicados a Sistemas Inteligentes para Toma de Decisiones”*. Código: PGI 24/ZN18. Director: A. J.García. Codirector: M.A. Falappa. Acreditado con evaluación externa para el período 01/2009 - 12/2011. Universidad Nacional del Sur.

*“Representación de conocimiento, argumentación y apoyo a la toma de decisiones”*. Secretaria de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional del Sur.

## 1. Introducción

Dentro de las Ciencias de la Computación, el problema de toma de decisiones ha sido abordado mayormente desde el campo de investigación de la Inteligencia Artificial (IA) estudiando el problema de razonamiento práctico que enfrenta un agente inteligente, *i.e.*, decidir *qué* hacer.

De acuerdo con Doyle y Thomason en [DT99], los distintos mecanismos formales de toma de decisiones no deben ser considerados aisladamente, sino que deben ser integrados de manera coherente en los modelos de agentes desarrollados en otras áreas de estudio dentro de la IA. Notablemente, en [BT96] se realiza un estudio a nivel teórico, donde se presenta un enfoque axiomático para caracterizar las propiedades deseables de esta integración. Asimismo, en [Wel96], se postulan ciertos fundamentos prácticos para alcanzar esta integración, aprovechando la experiencia obtenida por el autor en el área de programación orientada a mercados.

A partir de estos trabajos diversos enfoques sobre la decisión se han integrado dentro de arquitecturas de agentes, entre ellos se pueden mencionar resumidamente: especificaciones cualitativas de modelos cuantitativos [BK97], representaciones gráficas de distribuciones de probabilidades [D'A99] y planeamiento bajo incertidumbre [Bly99]. Recientemente, Amgoud y Prade en [AP09] han distinguido dos tendencias principales que están influenciando actualmente la investigación sobre este tema en Inteligencia Artificial. Estas son los sistemas basados en teoría de decisión clásica y los enfoques para la toma de decisiones sobre la base de la arquitectura BDI (*Beliefs-Desires-*

*Intentions*) que permite diseñar e implementar un esquema de razonamiento práctico. El modelo de arquitectura BDI [RG95, RG91, Rao96] es uno de los más utilizados como base para el desarrollo de agentes inteligentes, convirtiéndose en uno de los modelos más difundido y estudiado de la literatura.

En la actualidad, el uso de sistemas informáticos basados en conocimiento para ayudar a sus usuarios (agentes humanos o agentes de software) a resolver sobre *qué* hacer está creciendo rápidamente. Este crecimiento es alentado por desarrollos teórico-prácticos en los sistemas multi-agente y por la conectividad que brinda la capacidad de acceso a grandes repositorios de conocimiento, la creciente capacidad de procesamiento para aprovechar esos repositorios, y la portabilidad del equipo computacional que los hace ubicuos, *i.e.*, su disponibilidad en todo lugar. Estos sistemas son conocidos como sistemas de apoyo a la decisión.

Al enfrentar decisiones complejas acerca de *qué* hacer, la performance de un agente responsable de actuar puede ser mejorada utilizando un sistema de soporte que aconseje sobre las mejores opciones posibles. Usualmente este apoyo resulta más confiable y útil cuando es brindado por un agente que posee conocimiento especializado del problema en cuestión. Por otra parte, dado que el contexto de la decisión es usualmente único y particular al agente, el apoyo ofrecido debería satisfacer las siguientes características:

*a. Claridad: la recomendación debe ser presentada en forma inteligible para el agente, de manera que este pueda comprenderla en su totalidad,*

*b. Fundamentación: debe brindarse la información básica para la recomendación y la forma como a partir de ella se llega a obtener la recomendación, e*

*c. Interactividad: bajo demanda del agente, debe ser posible realizar consultas sobre los detalles referidos tanto a la recomendación como al proceso de elaboración de dicha recomendación.*

Se opta como hipótesis que los *Sistemas Argumentativos* por sus características únicas pueden aportar de manera significativa al avance en la solución para este problema. La ventaja estratégica de los formalismos argumentativos es que por su propia definición y construcción satisfacen en gran medida las tres características recomendables señaladas con anterioridad:

*Claridad, Fundamentación e Interactividad.* Un argumento aceptado representa una explicación clara de porqué la conclusión que soporta es propuesta, y el proceso por el cual el argumento es aceptado, brinda los componentes necesarios para que el agente que recibe la recomendación comprenda las razones que avalan la recomendación. En ese mismo proceso se introduce también la posibilidad de análisis interactivo en el estudio de los argumentos y contra-argumentos tenidos en cuenta.

Como se mencionó anteriormente esta línea de investigación tiene por objetivo el diseño y la realización computacional de una arquitectura para un agente autónomo con la capacidad de contribuir a la toma de decisiones en un entorno colaborativo donde el componente cognitivo de razonamiento epistémico y el componente de razonamiento práctico que estén basados en un formalismo argumentativo. Partiendo de la arquitectura básica BDI, en el desarrollo de los sistemas de apoyo a la decisión, se puede concebir una arquitectura para un agente autónomo que satisfaga estas premisas, *i.e.*, los diferentes componentes que la integran utilicen razonamiento basado en formalismos argumentativos.

## 2. Líneas de Investigación y Desarrollo

La presente línea de investigación estudiará en el contexto de un sistema multi-agente (MAS), la problemática asociada con la especificación e implementación de un agente inteligente deliberativo con la capacidad de brindar apoyo a la toma de decisiones. En particular se diseñará e implementará una arquitectura para un agente autónomo con la capacidad de contribuir a la toma de decisiones en un entorno MAS colaborativo. El componente cognitivo del agente, compuesto de un razonador epistémico (para establecer lo que el agente conoce) y de un razonador práctico (para decidir lo que el agente debe hacer), estará basado en formalismos argumentativos apropiados.

### 2.1. Arquitectura BDI

Un agente con arquitectura BDI (Figura 1) posee un conjunto **B** de *creencias* acerca de su entorno, un conjunto **D** de *deseos* y un conjunto **I**

de *intenciones*. La arquitectura BDI tiene sus raíces en el estudio del denominado Razonamiento Práctico.

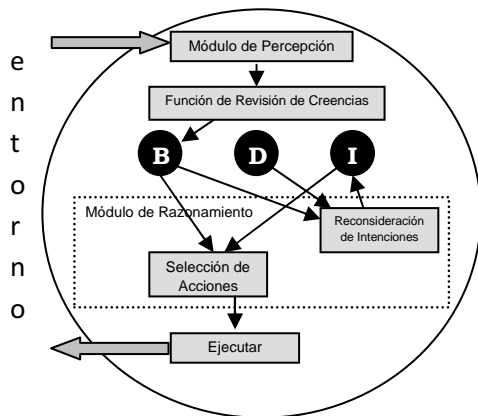


Figura 1. Esquema de la arquitectura BDI básica

Dado un entorno particular que el agente tiene la capacidad de percibir (flecha superior izquierda en la Figura 1), este tipo de razonamiento puede describirse como el proceso de decidir qué acción realizar para alcanzar las metas (flecha inferior izquierda en la Figura 1). Involucra dos importantes procesos:

- (i) Deliberación, *i.e.*, decidir *qué* metas se quieren alcanzar, y
- (ii) Razonamiento de medios-fines (means-ends), *i.e.*, decidir *cómo* se alcanzarán las metas. La primera parte involucra el razonamiento epistémico.

Las intenciones de un agente son un subconjunto de las alternativas que éste posee para alcanzar sus metas. Una de las características más importantes de las intenciones es su rol motivador, *i.e.*, provocan acciones. Una vez adoptada una intención, ésta afectará el razonamiento práctico que considere el futuro. Las intenciones tienen la propiedad de persistencia. Esto es, para que resulten útiles el agente no deberá abandonar una intención, sino que la mantendrá hasta que la cumpla, o bien sea evidente que no podrá hacerlo, o bien las razones que tuvo para adoptarla dejaron de ser válidas. Sus intenciones están relacionadas con sus creencias acerca del futuro.

La arquitectura BDI básica comprende el siguiente esquema de comportamiento para los agentes:

1. Percibir los cambios del entorno en el que se desenvuelve.
2. Revisar sus creencias acerca del mundo

en base a su percepción (knowledge base update).

3. Razonar acerca de sus intenciones a fin de reconsiderarlas en caso que sea necesario.
4. Seleccionar una acción a seguir (decisión), razonando sobre sus creencias y sus intenciones.
5. Ejecutar la acción seleccionada, la cual producirá cambios en el entorno, y volver al paso 1 a fin de percibir los cambios que se han producido.

## 2.2. Sistemas Argumentativos

En argumentación es una proposición es aceptada o no de acuerdo a un análisis de las razones de las que se dispone para creer o no en la misma, donde estas razones o justificaciones toman la forma de argumentos [CMR00]. Además, la manera en que estos argumentos son considerados permite la automatización de este tipo de razonamiento.

En los sistemas argumentativos basados en reglas (SABR), existe un conjunto de *reglas de inferencia* con las cuales, a partir de cierta información (antecedente o conjunto de premisas) se puede inferir de manera tentativa nueva información (consecuente). En este tipo de sistemas, las reglas son almacenadas en una base de conocimiento, junto a otra información en forma de hechos o presuposiciones, que representan la *evidencia* que el agente obtiene de su entorno. A partir de esta evidencia, el agente puede usar las reglas de inferencia para construir argumentos a favor o en contra de una afirmación. Una vez hecho esto se evalúan todos los argumentos construidos, y se determina cuáles de ellos son aceptados, buscando concluir si, a partir de la base de conocimiento del agente, está afirmación puede aceptarse o no. Estos formalismos son no-monótonos dado que la introducción de nueva información al sistema puede generar nuevos argumentos que resultan contradictorios con algunos de los ya existentes. En general, en la mayoría de estos formalismos, argumentos y contra-argumentos son comparados utilizando un criterio de preferencia pre-determinado permitiendo decidir si un ataque tiene éxito. En esta situación es posible que ciertas conclusiones que antes estaban aceptadas

dejen de estarlo demostrando que la relación de inferencia así definida exhibe un comportamiento no-monótono.

En el últimos años, el campo de aplicación de la argumentación se ha expandido velozmente, en gran parte debido a los avances teóricos, pero también gracias a la demostración exitosa de su uso práctico en un gran número de dominios de aplicación, tales como el razonamiento legal [PS02], la ingeniería del conocimiento [CRL00], los sistemas multi-agentes [PSJ98, AMP02], y el *e-government* [ABM05], entre muchos otros [RS09].

### 2.3. Agentes y Argumentación

La argumentación constituye un área de estudio de especial interés en el ámbito de la Inteligencia Artificial (ver por ejemplo [RS09]), principalmente, porque permite razonar en entornos sobre los que un agente puede solo acceder a la información de manera parcial o cuando su capacidad de adquirirla es imprecisa. Estas características, junto con la capacidad de tolerar la existencia de información contradictoria en la base de conocimiento disponible para el agente, los hacen particularmente apropiados para su utilización en la implementación del componente cognitivo superior de un agente autónomo [GGTS00]. Este tipo de razonamiento resulta así particularmente atractivo para ser utilizado en la toma de decisiones.

## 3. Resultados Obtenidos y

### Esperados

En el LIDIA a través de los años se han llevado a cabo diferentes proyectos sobre Sistemas de Argumentación, en particular investigaciones dedicadas a desarrollar sistemas de argumentación masiva. Varias publicaciones proponiendo la creación de mecanismos que pudieran mejorar la complejidad computacional de los sistemas de argumentación basados en Defeasible Logic Programming (DeLP) [GS04] fueron propuestas y publicadas en conferencias y revistas internacionales. Además dentro de estos proyectos se desarrolló una implementación de un SABR (llamado *DeLP* o *Defeasible Logic Programming*) y hoy cuenta con diferentes versiones disponibles. Estas implementaciones se

han utilizado en aplicaciones concretas como toma de decisiones en un entorno de Robots Kephra [FEGG08], sistemas de recomendación [CMS07, TGS09], e implementación de agentes [GGS09].

El objetivo de esta línea de investigación consiste en el diseño y la realización computacional de una arquitectura para un agente autónomo con la capacidad de contribuir a la toma de decisiones en un entorno colaborativo. El componente cognitivo de razonamiento epistémico y el componente de razonamiento práctico del agente estarán basados en un formalismo argumentativo. Finalmente, utilizando la arquitectura básica BDI en el desarrollo de los sistemas de apoyo a la decisión, se puede concebir una arquitectura para un agente autónomo que satisfaga estas premisas. De este modo, es posible que los diferentes componentes que integran la arquitectura del agente utilicen razonamiento basado en formalismos argumentativos.

## Referencias

- [AMP02] L. Amgoud, N. Maudet, S. Parsons, *An argumentation-based semantics for agent communication languages*, in: Proc. of the 15th. ECAI, Lyon, France, 2002, pp. 38-42.
- [ABM05] K. Atkinson, T. J. M. Bench-Capon, P. McBurney, *Multi-agent argumentation for e-democracy.*, in: Proc. of the Third European Workshop on Multi-Agent Systems, Brussels, Belgium, 2005, pp. 35-46.
- [AP09] L. Amgoud, H. Prade. *Using arguments for making and explaining decisions*. Artificial Intelligence 173 (2009) 413–436.
- [BK97] Berleant, D., and Kuipers, B. J. Qualitative and quantitative simulation: bridging the gap. *Artif. Intell.* 95, 2 (1997), 215-255.
- [Bly99] Blythe, J. Decision-theoretic planning. *AI Magazine* 20, 2 (1999), 37-54.
- [BT96] Bratman, R. I., and Tennenholtz, M. Axiomatization of qualitative decision criteria. In Proc. of the 13th National Conference on Artif. Intell. and the 9th

- Innovative Applications of Artif. Intell. Conference (1996), H. Shrobe and T. Senator, Eds., vol. 1, AAAI Press, pp. 76-81.
- [CRL00] D. Carbogim, D. Robertson, J. Lee, *Argument-based applications to knowledge engineering*, The Knowledge Engineering Review 15 (2), 2000, pp. 119-149.
- [CMR00] C. Chesñevar, A. Maguitman, P. Ronald, Logical models of argument, ACM Computing Surveys, 32(4),337–383, 2000.
- [CMS07] C. Chesñevar, A. Maguitman, G. Simari, Recommender Systems based on Argumentation, In Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering, Series Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 160, pp. 53-70, (407 p), IOS Press, Amsterdam, Netherlands, 2007.
- [D'A99] D'Ambrosio, B. Inference in bayesian networks. AI Magazine 20, 2 (1999), 21-36.
- [DT99] Doyle, J., and Thomason, R. Background to qualitative decision theory. AI Magazine 20, 2 (1999).
- [FEGG08] E. Ferretti, M. Errecalde, A. J. García, G. R. Simari, *Decision Rules and Arguments in Defeasible Decision Making*. In COMMA'08, France, 2008.
- [GS04] A. J. García, G. R. Simari, *Defeasible logic programming: An argumentative approach*, Journal of Theory and Practice of Logic Programming, 4 (1), 2004, pp. 95-138.
- [GGS09] S. Gottifredi, A. J. García, G. R. Simari, *Argumentation Systems and Agent Programming Languages*, In AAAI Fall Symposium: The Uses of Computational Argument, Washington D.C., USA, 2009.
- [GGTS00] A. García, D. Gollapally, P. Tarau, G. Simari, Deliberative stock market agents using jinni and defeasible logic programming, Proceedings of esaw'00 engineering societies in the agent's world, 2000.
- [PSJ98] S. Parsons, C. Sierra, N. Jennings, *Agents that Reason and Negotiate by Arguing*, Journal of Logic and Computation 8, 1998, pp. 261-292.
- [PS02] H. Prakken, G. Sartor, *The role of logic in computational models of legal argument - a critical survey*, in: A. Kakas, F. Sadri (eds.), Computational Logic: Logic Programming and Beyond, Springer, 2002, pp. 342-380.
- [Rao96] Anand S. Rao. AgentSpeak(L): BDI agents speak out in a logical computable language. In Rudy van Hoe, editor, Seventh European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Eindhoven, The Netherlands, 1996.
- [RG91] A. Rao and M. Georgeff. Modeling rational agents within a BDI-architecture. In Proc. 2nd Int. Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'91), pages 473–484. 1991.
- [RG95] A. S. Rao, M. P. Georgeff. BDI Agents: From Theory to Practice. In Proc. 1st Int. Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), San Francisco, USA, pp. 312-319, 1995.
- [RS09] I. Rahwan, G. Simari (eds.), "Argumentation in Artificial Intelligence", Springer-Verlag, 2009
- [TGS09] M. Tucat, A. J. García, G. R. Simari, Using Defeasible Logic Programming with Contextual Queries for developing Recommender Servers, In AAAI Fall Symposium: The Uses of Computational Argument, Washington D.C., USA, 2009.
- [Walt96] D. N. Walton, Argument Schemes for Presumptive Reasoning, Mahwah (New Jersey): Lawrence Erlbaum Associates, 1996.