

# Diseño y Desarrollo de Mecanismos de Razonamiento Multi-Agente para la Negociación de Energía Eléctrica Utilizando JESS Y JADE

Francisco Javier Arias, Jorge Alejandro Marulanda, Julián Moreno y Demetrio Arturo Ovalle

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Medellín. Escuela de Sistemas, GIDIA: Grupo de I + D en Inteligencia Artificial {fjarias, jamarula, jmoreno1, dovalle} @unal.edu.co

Recibido para revisión May-2006, aceptado Jun-2006, versión final recibida Jun-2006

**Resumen:** Una de las características principales de los agentes de software inteligentes es que estos pueden tener un carácter deliberativo (tienen la capacidad de realizar operaciones complejas) y poseer mecanismos de razonamiento que les permiten desenvolverse de manera eficiente dentro de su entorno. La implementación de mecanismos de razonamiento basados en reglas en agentes de software para obtener un comportamiento deliberativo puede ser lograda mediante la integración de las plataformas JADE (Java Agent DEvelopment Framework) y JESS (Java Expert System Shell). El propósito de este artículo es mostrar la integración de estas herramientas y su validación mediante una aplicación en concreto: La negociación electrónica de contratos en el Mercado de Energía Eléctrica en Colombia.

## 1 INTRODUCCIÓN

En los Sistemas Multi-Agente los agentes de software pueden estar clasificados en dos tipos: reactivos y deliberativos, dependiendo de su estructura y funcionamiento interno. Los agentes reactivos son agentes cuya única capacidad es reaccionar inmediatamente a través de una acción sencilla cuando alguna condición se cumple, al recibir un estímulo de su entorno. Los agentes reactivos no son individualmente inteligentes, pero pueden exhibir un comportamiento global inteligente, el cual surge de su interacción; en cambio los agentes deliberativos son aquellos que poseen la capacidad de efectuar operaciones complejas, son individualmente inteligentes (este tipo de agentes puede ser considerado como un sistema experto, con capacidad de razonamiento sobre su base de conocimiento), pueden comunicarse con los demás agentes y llegar a un acuerdo con todos o algunos de estos, sobre alguna decisión a tomar [Wooldridge (2002)]. Se podría concebir agentes de software como sistemas heterogéneos, cuyo comportamiento se derive de la integración de los dos tipos de agentes y tenga características de ambos. Para ello, se debe dotar a los agentes deliberativos de capacidades de reacción a los eventos externos, a tales agentes se llama agentes híbridos. En este artículo se pretende ilustrar el diseño y desarrollo de agentes híbridos para el caso particular de un Sistema Multi-Agente para la simulación de la negociación de energía eléctrica en Colombia [Ovalle, Moreno, Marulanda y Arias (2005)]. En este sistema es clara la necesi-

dad de implementar este tipo de agentes de software, debido a que algunos actores propios del mercado de energía, que se pretenden modular, deben presentar características de razonamiento para la toma de decisiones con el fin de cumplir con sus objetivos. El tema central del artículo es, por tanto mostrar el diseño de los mecanismos de razonamiento y el desarrollo de éstos mediante la integración de las plataformas JADE y JESS.

## 2 SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTOS

Los sistemas basados en conocimiento más distinguidos son los sistemas expertos, los cuales son programas que se realizan haciendo explícito el conocimiento en ellos, que tienen información específica de un dominio concreto y que realizan una tarea relativa a este dominio. El conocimiento sobre el dominio proporciona al sistema experto mayor información sobre el problema a tratar y su entorno, de forma que pueda generar y adaptar soluciones de forma más precisa, al tener un conocimiento más profundo sobre el tema, de forma similar a un experto especializado. Un Sistema Experto esta conformado principalmente por:

- **Base de conocimientos:** Contiene conocimiento modelado extraído del diálogo con el experto.
- **Base de hechos:** contiene los hechos sobre un problema que se ha descubierto durante el análisis.
- **Motor de inferencia:** Modela el proceso de razonamiento humano. Es el algoritmo utilizado para

ejecutar las reglas de inferencia según la información de la base de hechos.

### 3 SISTEMAS MULTI-AGENTE

Los Sistemas Multi-Agente (SMA) provenientes de la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) tratan sobre la coordinación inteligente entre una colección de 'agentes' autónomos o semi-autónomos, que existen dentro de cierto contexto o ambiente, se pueden comunicar entre sí y definen cómo pueden coordinar sus conocimientos, metas, propiedades y planes para la toma de decisiones o para resolver problemas complejos [Wooldridge (2002)]. En cierto modo, un Sistema Multi-Agente es un sistema distribuido en el cual los elementos son sistemas de inteligencia artificial llamados agentes, o bien un sistema distribuido donde la conducta combinada de dichos agentes produce un resultado en conjunto inteligente.

### 4 PROBLEMA A RESOLVER

El caso de estudio propuesto para desarrollar la integración de los mecanismos de razonamiento en los agentes de software, consiste en la simulación del proceso de negociación electrónica de contratos bilaterales en el Mercado de Energía Eléctrica [MEM (2006)] en Colombia implementando el mecanismo de subasta inglesa como protocolo de negociación. Debido a las características propias de la negociación en éste mercado, algunos actores requieren de algún tipo de razonamiento para tomar mejores decisiones y así obtener mayor beneficio.

#### 4.1 Estructura del Mercado Eléctrico en Colombia

El Sistema Electrónico de Contratos -SEC-, es una propuesta para transar electricidad a través de contratos bilaterales a largo plazo, que busca permitirles a los agentes del mercado contar con nuevos mecanismos para cubrir su riesgo. Aunque el diseño de este sistema se encuentra en discusión, la propuesta de la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) busca dar solución a algunos de los problemas que se presentan con la forma actual de contratación. Algunas de las características que poseerá este sistema son: contratos estandarizados, con el fin de llegar a un mercado más homogéneo y eficaz; anonimato, de forma que los agentes no conocen con quien están transando, buscando fomentar la entrada de nuevos agentes; y señal de precios, con el objetivo de desarrollar una señal para los agentes que les permita tener un mejor pronóstico de los precios futuros. Además, el proceso de negociación que se realizará en el SEC estará basado en un mecanismo de subasta de venta. Las subastas son mecanismos para la venta o compra de bienes que bajo un protocolo específico determinan quién obtiene el

bien transado y cuánto se debe pagar por él. Las subastas tienen como característica fundamental la existencia de información asimétrica entre quienes participan.

### 5 IDENTIFICACIÓN Y MODELAMIENTO DE ACTIVIDADES QUE REQUIEREN RAZONAMIENTO

En el desarrollo del caso de estudio fueron identificadas dos tareas principales en las cuales intervienen tres tipos de agentes: generador, comercializador y administrador; estas tareas corresponden a la compra de energía en el SEC y la compra de energía en bolsa.

Para mostrar la implementación de los mecanismos de razonamiento se sigue todo el proceso para una actividad contenida en la tarea "comprar energía en el SEC", desde la identificación y modelamiento hasta su implementación e integración. La tarea "Comprar energía en el SEC" se lleva a cabo de la siguiente manera: el generador envía sus ofertas al SEC, este las registra y las publica a los comercializadores. Posteriormente, los comercializadores revisan las ofertas y teniendo en cuenta parámetros internos y externos envían incrementos sobre ciertas ofertas. El SEC analiza estas contra-ofertas para determinar las contra-ofertas ganadoras. Si la subasta no ha finalizado, el SEC publica a los comercializadores las contra-ofertas ganadoras y el proceso se repite nuevamente. Cuando la subasta finaliza, el SEC envía al administrador las contra-ofertas ganadoras en la subasta.

Tabla 1: Actividades identificadas que requieren de algún mecanismo de razonamiento

ACTIVIDADES	AGENTE ASOCIADO
Actividad1: Determinar precio y cantidad de energía a ofertar.	Generador
Actividad2: Determinar cuanto energía comprará en contratos de largo plazo y cuanto en bolsa de energía.	Comercializador
Actividad3: Determinar por cuales ofertas realizará pujas o contraofertas.	Comercializador
Actividad4: Determinar el incremento de las contraofertas en el desarrollo de las subastas.	Comercializador
Actividad5: Determinar el precio de reserva de cada tipo de contrato para cada periodo.	Comercializador

En esta tarea se identificaron 5 actividades que requieren de un determinado razonamiento (ver Tabla 1). La actividad que se seguirá para explicar su modelamiento, implementación e integración será la actividad

4 "determinar incremento", ya que esta requiere ser realizada cuidadosamente, debido a que si el incremento es muy bajo se podría perder la subasta y si es muy alto las ganancias podrían reducirse significativamente.

Para modelar el razonamiento de esta actividad es necesario identificar los criterios (relaciones relevantes compuestas por 1 o mas parámetros ya sean del mercado, de la oferta o internas del comercializador) que afectan de forma directa al razonamiento, para luego asignar un porcentaje de salida (entre 0.3% incremento mínimo y 5% incremento máximo) que se fijará por medio de funciones de relación, como se muestra en la sección 5.1. Además, se asignará un valor entre 0 y 1 (peso) según la importancia del criterio sobre el razonamiento. Tal peso dependerá de la duración del contrato (CE-mes mensual o CE-año anual). Un resumen de los análisis hechos sobre algunos de los criterios y su respectivo porcentaje basado en la importancia se muestran en la Tabla 2.

En la Figura 1 es posible observar los pasos que debe tener en cuenta un comercializador para obtener un incremento propicio teniendo en cuenta los criterios relevantes a dicho razonamiento. El primer paso es obtener el nombre o identificador del oferente, el cual será comparado con el nombre o identificador propio del comercializador. En caso de ser iguales, el incremento para la oferta en la puja actual debe ser cero, ya que el comercializador ganador de la oferta en ese instante es él mismo. En caso de ser diferentes el razonamiento para obtener el incremento debe continuar debido a que la oferta puede ser la inicial puesta por los vendedores, u otro comercializador se encuentra ganado dicha oferta en este instante. Luego de verificar que los identificadores sean diferentes se debe calcular la reserva (Reserva = Precio tope - Precio ganador, el precio ganador, es el precio actual de la oferta). Si la reserva es menor que cero es por que el precio de la contra-oferta por la cual el comercializador desea pujar excede su precio tope, y en este caso el incremento debe ser cero; si la reserva es mayor que cero el razonamiento para obtener el incremento debe continuar. Posteriormente se verifica la duración del contrato (CE-mes o CE-año), se calcula la diferencia entre el precio promedio contratos propio contra el precio ganador y se calcula la diferencia entre el precio promedio contratos mercado contra el precio ganador. Esto con el fin de verificar que porcentajes de salida asociar a cada uno de los criterios. A medida que se obtengan los porcentajes de salida, estos se deben ir multiplicando por los pesos asociados e ir sumándolos, de modo que al finalizar el razonamiento se pueda obtener un porcentaje de incremento que conlleve a un incremento lógico para la oferta.

Esta es una manera de ponderar, ya que se asocian todos los parámetros relevantes en este tipo de razonamiento en criterios definidos, que pueden ser calificados por medio de un porcentaje de importancia.

## 5.1 Calculo de porcentaje de salida para el criterio embalse

A manera de ejemplo, se expone a continuación el cálculo del porcentaje de salida para el criterio embalse identificado anteriormente. Este criterio esta compuesto principalmente por los parámetros embalse actual, embalse histórico, periodo actual y periodo inicio del contrato. En general si el embalse es alto entonces el precio en bolsa es bajo, debido a que es posible generar mayor energía a menor costo, entonces comprar la energía en bolsa resultaría más favorable para los comercializadores y no tendrían la necesidad de comprar energía por medio de contratos largo plazo. En cambio si el embalse es bajo el precio en bolsa es alto, entonces comprar la energía en bolsa resultaría muy caro para los comercializadores y tendrían la necesidad de ganar los contratos largo plazo para no bajar la utilidad teniendo que comprar su demanda propia de energía en la bolsa. Del análisis anterior se puede concluir que el criterio embalse actúa de forma significativa e inversamente proporcional en este razonamiento (ver Figura 2).

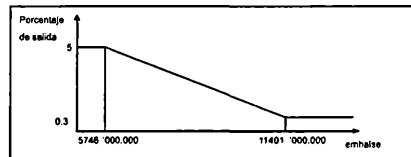


Figura 2: Función de relación asociada al criterio embalse

La función matemática para asignar el porcentaje de salida de este criterio se muestra en la ecuación 1.

$$0 \leq \text{embalse} < 5.746'000.000 \Rightarrow$$

$$\text{Porcentaje Salida} = 5$$

$$5.746'000.000 \leq \text{cantidad} \leq 11.401'000.000 \Rightarrow$$

$$\text{Porcentaje Salida} = \text{Pendiente} * \text{Embalse} + \text{Intercepto}$$

Donde :

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Porcentaje Min} - \text{Porcentaje Max}}{\text{EmbalseMax} - \text{EmbalseMin}}$$

$$\text{Intercepto} = \text{Porcentaje Max} - \text{Pendiente} * \text{EmbalseMin}$$

$$\text{Embalse} > 11.401'000.00$$

$$0 \Rightarrow \text{Porcentaje Salida} = 0.3$$

(1)

## 6 INTEGRACIÓN JESS - JADE

La implementación de los agentes del sistema en el caso de estudio se realizó con la ayuda de la plataforma JADE y la integración de los mecanismos de razonamiento en los agentes de software se realizó por medio de la plataforma JESS.

Tabla 2: Factores de ponderación de los criterios de entrada en la inferencia

Criterio	Descripción	Proporcionalidad	Peso CE-mes	Peso CE-año
Reserva	Diferencia entre precio tope del comercializador y precio ganador de la oferta hasta el momento.	Directa	0.2	0.22
Propensión riesgo	Indica que tan arriesgado es un comercializador para comprar energía en bolsa	Inversa	0.04	0.4
Diferencia demanda proyectada demanda actual CE-anual	Igual que el anterior, pero teniendo en cuenta que se jugando para un contrato CE-año	Directa	0	0.08
Embalse	Indica el nivel de embalse ofertable general en todo el país.	Inversa	0.14	0.1

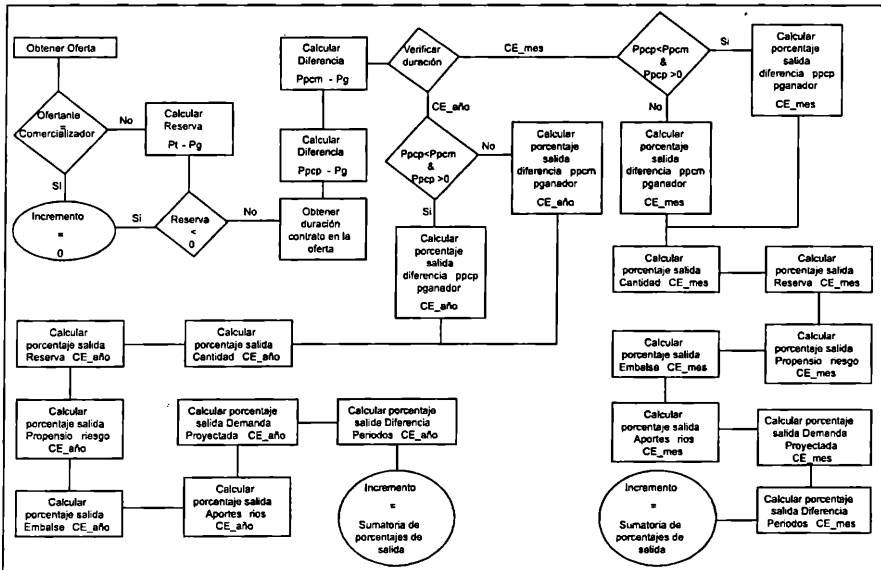


Figura 1: Diagrama de flujo para la actividad 4

### 6.1 Plataforma JADE

JADE es un middleware de código abierto y libre que proporciona tanto un entorno de desarrollo como un entorno de ejecución para la realización y mantenimiento de Sistemas Multi-Agente. El entorno de desarrollo está formado por una serie de librerías en Java que permiten la implementación de agentes de manera limpia e independiente de la plataforma sobre la que se va a ejecutar. El entorno de ejecución permite a los agentes de software existir y comunicarse entre ellos. Está realizado enteramente en Java y proporciona una serie de herramientas gráficas fáciles de utilizar e interpretar que permiten al desarrollador controlar y depurar a los agentes en tiempo real.

### 6.2 Plataforma JESS

JESS no es sólo un shell para sistemas expertos, como motor de reglas propiamente dicho, sino que también provee un lenguaje de script. Toda esta funcionalidad escrita completamente en el lenguaje Java permite el desarrollo de sistemas expertos basados en reglas acoplarse de diferentes formas con el lenguaje de programación. JESS puede manejar hechos e instancias de objetos java, lo cual coloca a esta herramienta un paso más adelante en lo que a los lenguajes basados en reglas se refiere. El hecho de que java pueda comunicarse con JESS a través de un motor de inferencia es la característica más interesante en cuanto a la implementación de los distintos algoritmos en cada uno de los comportamientos deliberativos de los agentes que los requieren.

## 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos en una simulación en la que 2 agentes comercializadores participan en una subasta para obtener un mismo paquete de energía, analizando principalmente el porcentaje de incremento propuesto por dichos comercializadores (ver Tabla 6) según los parámetros significativos (ver Tablas 4 y 5) para determinar el porcentaje de incremento en la oferta inicial detallada en la Tabla 3.

Como primera apreciación, cabe señalar que es posible distinguir parámetros (ver Tabla 4) que afectan por igual a todos los comercializadores y no tienen un impacto relevante entre comercializadores que quieran razonar sobre el porcentaje de incremento sobre una misma oferta en un mismo periodo, sin embargo son de mucha utilidad para obtener en un principio un valor general del porcentaje de incremento que se debe tener en cuenta en cada uno de las ofertas, luego, debido a que el embalse ofertable y los aportes de los ríos son bajos y siendo la cantidad ofrecida y la diferencia de los precios promedio de contratos contra el precio ganador altos (ver Tabla 4), el valor porcentual de incremento en las iteraciones debe

ser mas cercano de 5% que de 0.3%, lo cual se puede observar en los incrementos pertenecientes a los comercializadores 1 y 2.

A partir de la Tabla 6 iteración 1, se puede ver que los comercializadores se encuentran pujando por la oferta inicial, ya que ambos están realizando un incremento porcentual; el comercializador 2 propone un incremento mayor y por lo tanto será el ganador de la oferta en esta iteración. La diferencia entre los porcentajes de incremento entre comercializadores en la primera iteración mostrada en la Tabla 6, radica en los criterios que involucran parámetros propios de estos (ver Tabla 5). Es posible observar en la Tabla 5 que el comercializador 1 posee una propensión al riesgo muy alta, lo cual indica que a este no le importa si tiene que comprar mucha energía en bolsa y por lo tanto no necesita realizar pujas altas; en cambio el comercializador 2 posee una propensión al riesgo muy baja, y por esta razón debe realizar pujas con valores altos de modo que pueda asegurarse de obtener los contratos. Otros parámetros que hacen la diferencia en cuanto al porcentaje de incremento propuesto por los comercializadores son el precio tope y el precio promedio de los contratos propios. En cuanto al precio tope, se ve en la tabla 5 que este valor es mayor para el comercializador 2, lo cual le permite realizar pujas mas altas; y en cuanto al precio promedio de los contratos propios, se ve que este valor es mayor que el precio de la oferta inicial en ambos comercializadores (ver Tablas 3 y 5), y es menor para el comercializador 2, por lo tanto este comercializador requiere reducir el valor porcentual de su puja, en una cantidad menor a la que requiere el comercializador 1.

Tabla 3: Datos iniciales de las ofertas

ID oferta	OF-0012
Oferente	generador2
Precio	\$50.0
Cantidad	200.0 Kwh
Duración	CE-año
Periodo inicio del contrato	2

Tabla 4: Datos Generales

Periodo actual	3
Precio promedio contratos mercado	\$60.29
Embalse ofertable	8064.70 Mwh
Aportes de los ríos	1758.51 Mwh
Aportes de los ríos (histórico)	1904.92 Mwh
Embalse ofertable (histórico)	6925.82 Mwh
Precio promedio contratos mercado (histórico)	\$72.01

Tabla 5: Datos Generales

Parámetros	Com 1	Com 2
propensión riesgo	80%	30%
Precio tope	\$74.75133	\$75.075554
Precio promedio contratos propios	\$60.77182	\$59.803635
Demanda proyectada	105.5 Mwh	105.5 Mwh
Demanda contratada acumulada	45 Mwh	45 Mwh

Tabla 6: Desarrollo de la subasta

It.	Val.	Com. 1		Com. 2	
		Inc.	Total	Inc.	Total
1	\$50.0	3.46%	\$51.73	3.56%	\$51.78*
2	\$51.78	3.46%	\$53.57*	0.0%	\$51.78
3	\$53.57	0.0%	\$53.57	3.56%	\$55.48*

\* Valor de la oferta ganadora en la iteración

En la iteración 2 el incremento es igual para el comercializador 1 (3.46%) debido a que el único criterio que podría afectar este valor en este instante (reserva) sigue siendo muy alto y por lo tanto su porcentaje de salida asociado será el mayor valor (5%); en cambio como el comercializador 2 es quien se encuentra ganado la oferta para esta iteración, entonces no requiere realizar incrementos sobre esta, y es por esta razón que el incremento propuesto por este es de 0.0%. Por último es claro que el ganador de esta oferta es el comercializador 2, ya que este realizó una última puja proponiendo un incremento del 3.56% sobre la oferta con precio 53.57, y por lo tanto el comercializador 2 pagará por la oferta \$55.48.

## 8 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ilustraron las bondades de la integración de mecanismos de razonamiento en los agentes de software, obteniendo agentes híbridos los cuales exhiben comportamientos reactivos y deliberativos. Las plataformas utilizadas (JADE y JESS) son fácilmente integrables debido a que las dos fueron desarrolladas

bajo el lenguaje Java. Del análisis realizado sobre el caso de estudio se puede concluir que la implementación desarrollada fue coherente, ya que los comercializadores simulados mostraron porcentajes de incremento acordes al valor de los parámetros de entrada para los criterios tenidos en cuenta en la definición de este razonamiento. Dentro de las actividades identificadas en el problema de aplicación, hasta el momento se han trabajado únicamente las dos mencionadas en este artículo. Como trabajo futuro se propone la implementación e integración de las actividades 1, 2 y 3 (ver Tabla 1), ya sea por medio de algoritmos procedimentales, modelos estadísticos, mecanismos basados en conocimientos, redes neuronales o lógica difusa.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este artículo fue financiado por el proyecto de investigación de la DIME titulado: "Simulación del proceso de negociación de contratos normalizados bilaterales de energía basado en un modelo Multi-Agente de subastas para el sector eléctrico Colombiano", con código 30805914 de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

## REFERENCIAS

- MEM (2006), 'Mercado de energía mayorista'.  
\*En línea: <<http://www.isa.com.co/>> C05/06
- Ovalle, D., Moreno, J., Marulanda, J. y Arias, F. (2005), Simulación del proceso de negociación de contratos normalizados bilaterales de energía basados en un modelo multi-agente de subastas para el sector eléctrico colombiano, Technical report, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Proyecto de Investigación - Código 30805914.
- Wooldridge, M. (2002), *An Introduction to Multi-Agent System*, ISBN: 0-471-49691-X, 1a edn, Baffins Lane, England: John Wiley & Sons Ltd.