

Integración de Mecanismos de Razonamiento en Agentes de Software Inteligentes para la Negociación de Energía Eléctrica

F. J. Arias, J. Moreno, D. A. Ovalle

GIDIA: Grupo de I + D en Inteligencia Artificial
Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
Calle 59A No 63 – 20, Medellín, Colombia
{fjarias, jmoreno1, dovalle} @ unal.edu.co

Resumen: Una de las características principales de los agentes de software inteligentes es que estos pueden tener un carácter deliberativo, el cual puede ser obtenido por medio de mecanismos de razonamiento que les permita desenvolverse de manera eficiente dentro de su entorno. La implementación de dichos mecanismos de razonamiento puede ser lograda mediante la integración de las plataformas JADE y JESS, con las que es posible implementar agentes de software híbridos (reactivos + deliberativos) mediante mecanismos de razonamiento basados en reglas. El propósito de este artículo es ilustrar y resaltar las bondades en la integración de estas herramientas y su validación mediante una aplicación en concreto: Simulación de la negociación electrónica de contratos en el Mercado de Energía Eléctrica en Colombia.

Palabras Clave: Sistemas Multi-Agente (SMA), Mecanismos de Razonamiento, Plataforma JADE (Java Agent DEvelopment framework), Plataforma JESS (Java Expert System Shell), Sistema Electrónico de Contratación de Energía (SEC).

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 [11]. 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 ellos, sobre alguna decisión a tomar [5, 9].

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 [3, 14]. En este sistema es clara la necesidad de implementar este tipo de agentes de software, debido a que algunos actores propios del mercado de energía, que se pretenden modelar, 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 [7, 10, 13] y JESS [4].

El resto del artículo esta organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta una breve descripción del marco teórico de los Sistemas Multi-Agente y de los mecanismos de razonamiento basados en reglas de inferencia (sistemas expertos), que son en los que se basa la herramienta JESS. En la sección 3 se realiza una descripción en cuanto a las plataformas que serán utilizadas para la implementación del sistema: JADE y JESS. La sección 4 describe el problema de aplicación del sistema propuesto que se refiere al proceso de negociación electrónica de

contratos de energía eléctrica. Por su parte, en la sección 5 se identifican las principales actividades que requieren de mecanismos de razonamiento para luego modelar algunas de estas actividades. En la sección 6, a partir de una de las actividades que fue modelada en la sección 5, se muestra su desarrollo e implementación mediante la integración JESS – JADE. En la sección 7 se realizará un análisis de los resultados obtenidos luego de la implementación. Por último, en la sección 8 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTOS

Uno de 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 éxito de un sistema experto radica fundamentalmente en el conocimiento sobre el dominio que trata y su capacidad de aprendizaje. 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. El aprendizaje, inductivo o deductivo según corresponda, proporcionará al sistema experto mayor autonomía a la hora de abordar problemas totalmente desconocidos; pudiendo generar nuevo conocimiento partiendo del extraído inicialmente del experto o expertos humanos.

Un Sistema Experto está 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.

Básicamente existen tres tipos de sistemas expertos: basados en reglas, basados en casos o CBR (Case Based Reasoning) y basados en redes bayesianas. Los sistemas basados en reglas, que son los que se implementaron en el caso de estudio, trabajan mediante la aplicación de reglas, comparación de resultados y aplicación de las nuevas reglas basadas en situación modificada. También pueden trabajar por inferencia lógica dirigida, bien sea empezando con una evidencia inicial en una determinada situación y dirigiéndose hacia la obtención de una solución, o bien con hipótesis sobre las posibles soluciones y volviendo hacia atrás para encontrar una evidencia existente (o una deducción de una evidencia existente) que apoye una hipótesis en particular.

3. SISTEMAS MULTI-AGENTE

Los Sistemas Multi-Agente (SMA) provenientes de la 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 [2, 16]. 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.

Algunas de las principales áreas de aplicación de la IAD y de los SMA son las siguientes: Comercio Electrónico basado en Protocolos de Subastas, Sistemas Tutoriales Inteligentes, Simulación de Campos de Batalla, Aplicaciones Móviles Ubicuas, Sistemas de Recuperación y Recomendación de Información en la Web, Construcción de sistemas de software complejos basados en agentes, Planificación de Trayectorias en Robótica Móvil, Interpretación de Imágenes de Resonancia Magnética (Radiológicas) y Citológicas (Microscópicas), entre otras.

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 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

En el Mercado de Energía Mayorista -MEM- hay varios tipos de entidades involucradas [12]: los generadores, que se encargan de producir la energía; los comercializadores, que venden energía a otros agentes del Mercado o a los consumidores finales y además pueden comprar la energía que necesitan para satisfacer su demanda por medio de contratos largo plazo o por medio de la bolsa de energía; los transmisores, que son empresas propietarias de activos del Sistema de Transmisión Nacional (STN) y que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV; los distribuidores, que son empresas propietarias de redes de distribución que operan a tensiones menores de 220kV; y los clientes o consumidores, que son los usuarios finales de la energía.

4.2. Sistema Electrónico de Contratos –SEC–

El Sistema Electrónico de Contratos –SEC- [17], 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 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:** Los contratos tranzados en el mercado deben cumplir con ciertos estándares en cuanto a la duración, la cantidad y el factor de carga, con el fin de llegar a un mercado más homogéneo y eficaz.
- **Anonimato:** El sistema está diseñado de tal forma que los agentes no conocen con quien están transando y es el ASIC quien se convierte en la contraparte para cada agente. Este hecho según los principios del SEC, busca fomentar la entrada de nuevos agentes, es decir, incrementar la competencia.
- **Señal de precios:** La propuesta busca que el mercado desarrolle un indicador, basado en el cálculo de promedios ponderados, 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 esta 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 tranzado 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

Luego de dar a conocer el caso de estudio, se identificaron dos tareas principales en las cuales intervienen tres tipos de agentes: generador, comercializador y administrador (el cual hace las veces de administrador del sistema y de SEC). Las tareas identificadas 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 seguirá todo el proceso para una actividad contenida en una de estas tareas, desde la identificación y modelamiento hasta su implementación e integración.

Como se ve en la Figura 1, 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 se las publica a los comercializadores. Posteriormente, los comercializadores revisan las ofertas, teniendo en cuenta su porcentaje de contratación que determina el porcentaje de contratos que los comercializadores deben tranzar a través de contratos largo plazo y su precio tope, para luego realizar un incremento a ciertas ofertas por las que él quiere pujar y luego le envía sus contra-ofertas al SEC. El SEC analiza estas contra-ofertas para determinar las contra-ofertas ganadoras hasta el momento. Si la subasta no ha finalizado, el SEC publica a los comercializadores las contra-ofertas ganadoras para que estos vuelvan a realizar

pujas sobre estas. Este proceso se repite hasta que la subasta finalice. Cuando esto haya sucedido el SEC le envía al administrador las contra-ofertas ganadoras en la subasta para que este publique los contratos.

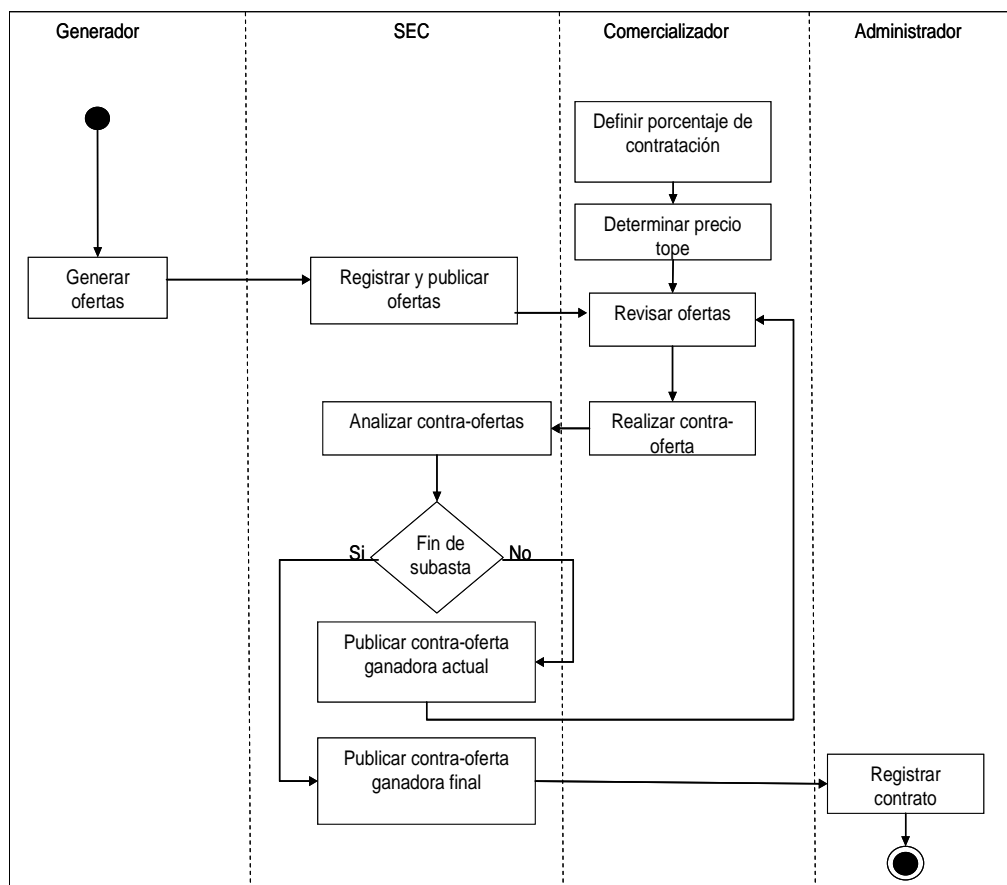


Figura 1. Diagrama de actividad para la tarea “Comprar energía en el SEC”.

Partiendo de los resultados obtenidos en el diagrama de actividades para la tarea “comprar energía en el SEC”, se identifican 5 actividades que requieren de un determinado razonamiento, las cuales son mostradas en la Tabla 1

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

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

Se puede considerar que cada una de las actividades de la Tabla 1, requiere de mecanismos de razonamiento por los siguientes motivos:

- **Actividad1:** En esta actividad los generadores determinan la cantidad, el precio unitario, el tipo de contrato y el periodo de inicio de los contratos ofertados en un periodo determinado. Para esto se deben considerar diferentes

aspectos como la hidrología, el promedio de precios del mercado, la capacidad de generación, entre otros. Esta actividad se puede simular mediante algoritmos probabilísticos, los cuales pueden ser implementados en lenguajes procedurales.

- **Actividad2:** Cuando un comercializador recibe las ofertas en un periodo determinado, este debe decidir por que cantidad de energía realizara contra-ofertas y por que cantidad comprar en bolsa, con el fin de obtener mejores ganancias. Para esta actividad los comercializadores deben tener en cuenta información como: propensión al riesgo, efectivo disponible, precio de venta de energía, precio promedio de los contratos propios, precio de la bolsa, entre otros. Tal razonamiento es posible emular con la ayuda de sistemas de inferencia difusa puesto que muchas de las variables de entrada no están bien definidas.
- **Actividad3:** En el momento que los comercializadores reciben las ofertas deben decidir por cual de ellas deben contra-ofertar, basándose en datos exógenos y endógenos además de la experiencia y los datos históricos. Al igual que la actividad 1, esta actividad puede ser simulada mediante algoritmos probabilísticas.
- **Actividad4:** Además de determinar la cantidad de energía y la oferta por la cual el comercializador pujará, es necesario determinar el incremento al precio inicial de la oferta o a la contra-oferta ganadora hasta el momento, teniendo en cuenta que no debe sobrepasar su precio tope. Dicho incremento debe ser realizado cuidadosamente, no debe ser muy bajo ya que podría perder la subasta y no debe ser muy alto puesto que sus ganancias podrían reducirse. Además, se deben tener en cuenta algunos factores como precios históricos de los contratos, la evolución de la hidrología, entre otros.
- **Actividad5:** El precio tope para cada uno de los comercializadores en cada uno de los periodos para cada tipo de contrato varía según algunos parámetros propios y del mercado. Entre estos parámetros se encuentran: propensión al riesgo, utilidad mensual, utilidad acumulada, efectivo disponible, margen de utilidad, precios históricos de contratos, condiciones hidrológicas, entre otros. Para la determinación de este precio se hace necesario la utilización de un mecanismo de razonamiento debido a la gran complejidad que es derivada de la cantidad de parámetros tenidos en cuenta.

6. PLATAFORMAS DE DESARROLLO

A continuación se presentan las plataformas que serán utilizadas para la implementación de los agentes del sistema en el caso de estudio y para la integración de los mecanismos de razonamiento en los agentes de software que lo requieren. En el primer caso se hace una breve descripción de la plataforma JADE con la cual se construyó el SMA; mientras que en el segundo se describe la plataforma JESS con la que se implementaron los mecanismos de razonamiento.

6.1. Plataforma JADE

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) [6, 7, 8] 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 vivir 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.

Un aspecto bastante relevante es que JADE cumple con las especificaciones FIPA [15] para la interoperabilidad de plataformas de Sistemas Multi-Agente, y lo cumple a dos niveles: a nivel de arquitectura y a nivel de Mensajes (FIPA ACL). En cuanto a la arquitectura, implementa características del estándar FIPA como el Directorio Facilitador (DF), el Manejador de agentes del sistema (AMS) y el Canal de comunicación de agentes (ACC). Para la comunicación utiliza Remote Method Invocation (RMI) a nivel interior e Internet Inter-Orb Protocol (IIOP) a nivel exterior (entre plataformas).

6.2. Plataforma JESS

JESS [4] (Java Expert System Shell) 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 de Sun por Ernest Friedman-Hill en Sandia Nacional Laboratorios en Livermore, Canadá, permite el desarrollo de sistemas expertos basados en reglas, que pueden acoplarse de diferentes formas con el lenguaje de programación Java.

JESS, aunque esta programado en Java permite modificar sus métodos y librerías, fue desarrollado en base a CLIPS lo que admite poder compilar casi cualquier archivo .clp implementado en CLIPS. Así como CLIPS maneja hechos, JESS puede manejar igualmente 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. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS RAZONAMIENTOS MEDIANTE LA INTEGRACIÓN JESS – JADE

El desarrollo e implementación de los mecanismos de razonamiento mediante la integración de las plataformas JADE-JESS, se ejemplificará mediante el desarrollo de la actividad 4 “Razonamiento incremento”. En la Figura 2 es posible observar el diagrama de flujo que refleja el razonamiento que debe seguir un comercializador para realizar un incremento lógico sobre una oferta u contra-oferta.

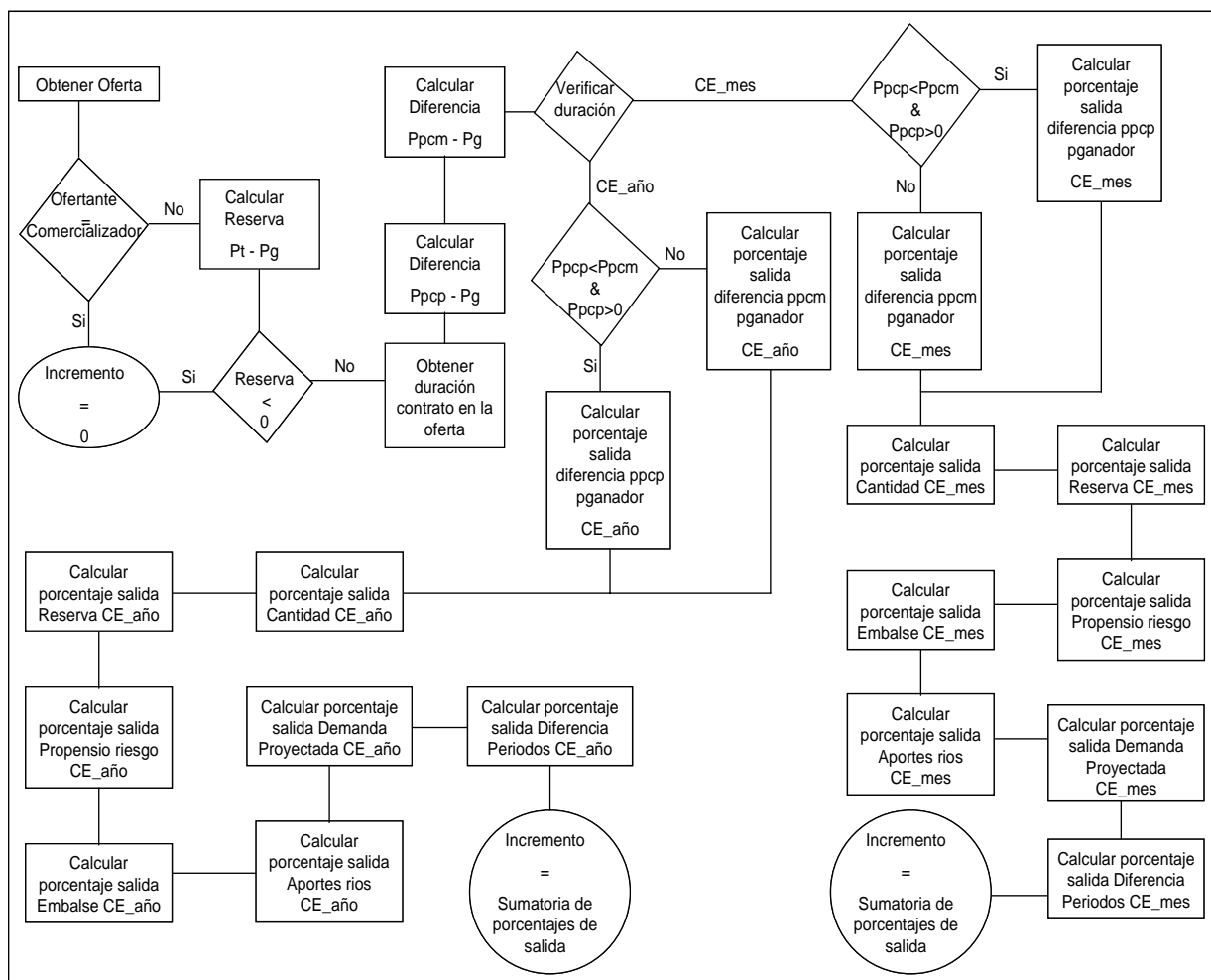


Figura 2. Diagrama de flujo para la actividad 4.

7.1. Explicación del diagrama de flujo para la actividad 4

Teniendo en cuenta que las ofertas por las que el comercializador va a pujar son las iniciales, o las contraofertas ganadoras en un determinado periodo, el primer paso que se debe realizar en el razonamiento es obtener el nombre o identificador del ofertante, 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 ($\text{Reserva} = \text{Precio tope} - \text{Precio ganador}$, 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, en este caso el incremento debe ser cero, si la reserva es mayor que cero el razonamiento para obtener el incremento debe continuar.

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

Criterio	Descripción	Proporcionalidad	Importancia CE-mes	Importancia CE-año
Cantidad	Cantidad de energía que se negocia	Directa	0.05	0.08

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 ppcp pganador >0	Diferencia entre precio promedio de contratos propio y precio ganador de la oferta hasta el momento (cuando mayor que cero)	Directa	0.05	0.08
Diferencia ppcp pganador <=0	Diferencia entre precio promedio de contratos propio y precio ganador de la oferta hasta el momento (menor o igual que cero)	Directa	0.16	0.2
Diferencia ppcm pganador >0	Diferencia entre el precio promedio de contratos del mercado y el precio ganador de la oferta hasta el momento (cuando es mayor que cero)	Directa	0.05	0.08
Diferencia ppcm pganador <=0	Diferencia entre el precio promedio de contratos del mercado y el precio ganador de la oferta hasta el momento (cuando es menor o igual que cero)	Directa	0.16	0.2
Embalse	Indica el nivel de embalse ofertable general en todo el país	Inversa	0.14	0.1
Aportes ríos	Indica el nivel de aporte de los ríos general en todo el país	Inversa	0.14	0.1
Diferencia demanda proyectada demanda actual CE_mes	Diferencia entre demanda proyectada y demanda contratada hasta el momento teniendo en cuenta que se puja para CE-mes	Directa	0.1	0
Diferencia demanda proyectada demanda actual CE_anual	Igual que el anterior, pero teniendo en cuenta que se pujando para un contrato CE-año	Directa	0	0.08
Diferencia periodos	Diferencia entre el periodo de inicio del contrato y el periodo actual	Inversa	0.12	0.1

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. Es decir, en caso de que el precio promedio contratos propio menos el precio ganador sea menor que el precio promedio contratos del mercado menos el precio ganador, entonces el criterio que será tenido en cuenta para el razonamiento es la diferencia entre el precio promedio contratos propio y el precio ganador, en caso contrario el criterio tenido en cuenta será la diferencia entre el precio promedio contratos del mercado y el precio ganador.

Luego a cada criterio identificado (el cual puede estar compuesta por 1 o mas parámetros ya sean del mercado, de la oferta o internas del comercializador) que será tomada en cuenta en el razonamiento se le asigna un porcentaje de salida (entre 0.3% incremento mínimo y 5% incremento máximo), este porcentaje se fija por medio de funciones de relación que serán obtenidas teniendo en cuenta los datos históricos de dichas relaciones y la proporcionalidad de estas sobre el incremento (directa o inversa). Además según la importancia de la variable dentro del razonamiento, se le asignará un valor entre 0 y 1 (peso del criterio). Tal peso dependerá de si la duración del contrato es de tipo CE-mes o si es de tipo CE-año. Un resumen de los análisis hechos sobre los criterios y su respectivo porcentaje basado en la importancia se muestran en la Tabla 2.

Como se explicó anteriormente, para cada una de los criterios que son tenidos en cuenta, su peso es asignado según la duración del contrato (CE-mes o CE-año) y 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 refleje un incremento lógico para la oferta, según la información proporcionada por las variables internas de la oferta o del mercado que conforman cada una de las relaciones. 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, de modo que al sumar la salida de todos los criterios, se obtendrá un valor ponderado que reúne todos los parámetros relevantes.

7.2. Calculo de porcentaje de salida para el criterio embalse

Anteriormente se expuso la posibilidad de realizar funciones de relación que asocien un porcentaje de salida correspondiente al incremento (valor entre 0.3% y 5%) que corresponde a la variable de salida del razonamiento, el cual será multiplicado posteriormente por la importancia asignada al criterio (valor entre 0 y 1, y la sumatoria de las importancias de las relaciones deben ser igual a 1), y de esta manera se logra obtener un incremento porcentual ponderado que tendrá en cuenta todas las variables en las relaciones. A continuación se presenta como ejemplo el análisis sobre el criterio “embalse”, para definir una función de relación que determine un porcentaje de salida correspondiente a un incremento razonable.

El nivel del embalse es un criterio de gran importancia a la hora de decidir el incremento que se debe realizar en una puja determinada, esta se compone principalmente de los parámetros embalse, embalse histórico, periodo actual y periodo inicio del contrato.

El valor del embalse obtenido se puede analizar de la siguiente manera: si el valor del embalse es alto entonces el precio en bolsa tiende a ser bajo, debido a que es posible generar mayor energía a menor costo, entonces comprar la energía en bolsa resultaría mas 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 tiende a ser alto, entonces comprar la energía en bolsa resultaría muy caro para los comercializadores y tendría 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 es significativo e inversamente proporcional (ver Figura 3) para elegir un incremento apropiado. En la Figura 3 se muestra la gráfica asociada a la función de relación que asigna el porcentaje de salida para el criterio embalse según los porcentajes de salida mínimo y máximo y los embalses mínimos y máximos obtenidos desde el año 2000 al 2005 en la base de datos Neon [1].

De la gráfica para la función de relación asociada al embalse se podría decir que la función matemática para asignar el porcentaje de salida para este criterio es como se muestra en la ecuación (1):

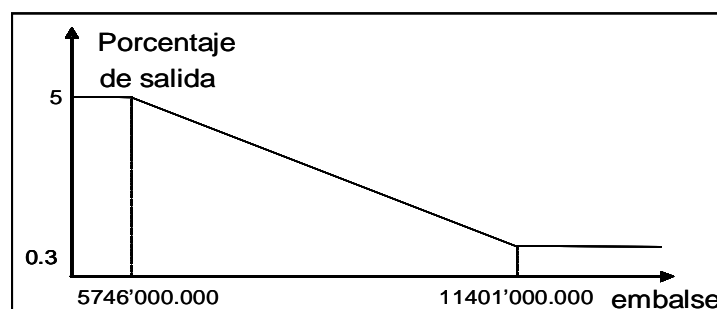


Figura 3. Gráfica función de relación asociada a la criterio embalse

$$0 \leq embalse < 5.746'000.000 \Rightarrow \\ Porcentaje Salida = 5$$

$$5.746'000.000 \leq cantidad \leq 11.401'000.000 \Rightarrow \quad (1) \\ Porcentaje Salida = Pendiente * Embalse + Intercepto$$

Donde :

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

$$Intercepto = Porcentaje Max - Pendiente * EmbalseMin$$

$$Embalse > 11.401'000.00$$

$$0 \Rightarrow Porcentaje Salida = 0.3$$

De esta misma manera, se deben asociar los porcentajes de salida para cada una de los criterios que se muestran en la Tabla 2.

7.3. Integración de JADE y JESS

Para lograr la integración de las plataformas mencionadas e implementar los mecanismos de razonamiento definidos dentro de los agentes de software que hacen parte del modelo de simulación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Adicionar la carpeta que contiene el código fuente, documentación y el API de JESS en la misma carpeta donde se encuentre los archivos .class asociados al proyecto.
2. Crear una clase nueva (RazonamientoIncremento) que al compilar, sus .class asociados queden guardados en el mismo paquete donde se encuentran guardados los archivos .class del proyecto, además se debe importar la carpeta JESS para poder utilizar todas las clases pertenecientes a este, y de este modo poder implementar dichos razonamientos.

En este caso, debido a la técnica adoptada, es necesario crear un método para cada uno de los porcentajes de salida de las funciones de relación para cada una de los criterios. En la implementación de cada una de estas funciones de relación está reflejado el análisis y la función matemática obtenida para cada una de los criterios que se muestran en la Tabla 2.

3. Dentro de esta misma clase se deben crear las variables que tendrán los valores de los porcentajes de salida para cada una de las relaciones.
4. Se crea un método en el cual se realiza todo el razonamiento comenzando por asignar a las variables creadas en el paso 4 cada una de las funciones de relación por medio de un llamado a los métodos creados en el paso 3 para asignar cada una de los porcentajes de salida. Debido a que este método es el que debe ser llamado desde el agente *comercializador* (que es el encargado de simular su contraparte del mercado real) para realizar el razonamiento acerca del incremento, es este método quien debe recibir toda la información necesaria proporcionada por el comercializador para realizar el incremento.
5. Luego de realizar los pasos anteriores es posible crear e instanciar un atributo dentro del método publico *calcularIncremento* de tipo *Rete* el cual pertenece a la librería de JESS. Esta clase es la encargada de controlar todo el mecanismo de búsqueda.

```
Rete r = new Rete();
```

6. Como la finalidad de esta técnica para implementar el razonamiento es ponderar el valor obtenido por medio de la función de relación para cada uno de los criterios multiplicándolo con su porcentaje de importancia, es necesario

crear dentro del atributo de tipo Rete una variable por cada porcentaje de importancia (peso) perteneciente a cada una de los criterios mostradas en la Tabla 2.

```
//Pesos de los parámetros
r.store("cantidad_CE-mes", new Value(0.05, RU.FLOAT));
```

En este ejemplo se muestra como crear una variable dentro del algoritmo Rete por medio del método store("cantidad_CE-mes", new Value(0.05, RU.FLOAT)) el cual recibe como parámetros el nombre de la variable y una variable de tipo Value la cual es una clase perteneciente a la librería JESS, la clase Value posee un constructor al que se le deben pasar un valor y su tipo.

Posteriormente se deben crear las plantillas necesarias para la inserción de hechos que luego dispararán las reglas necesarias para realizar el incremento. Para el razonamiento del incremento fueron necesarias 4 plantillas. A continuación se presenta la plantilla "Información porcentajes", la cual es necesaria para crear un hecho que posea toda la información de los porcentajes de salida obtenidos por medio de las funciones de pertenencia.

```
Deftemplate dt1 = new Deftemplate("Informacion_porcentajes", "porcentajes para
razonamiento", r);
Value zero = new Value(0.0, RU.FLOAT);
dt1.addSlot("cantidad", zero, "FLOAT");
dt1.addSlot("reserva", zero, "FLOAT");
....
```

Luego de tener creada la plantilla, esta debe ser asignada al algoritmo Rete que hemos creado en el paso 6 como se muestra a continuación.

```
r.addDeftemplate(dt1);
```

7. Luego, se debe insertar dentro del algoritmo la base de hechos iniciales utilizando las plantillas creadas en el paso anterior como se muestra a continuación.

```
Fact f1 = new Fact("Informacion_porcentajes", r);
f1.setSlotValue("cantidad", new Value(porcentaje_cantidad, RU.FLOAT));
f1.setSlotValue("reserva", new Value(porcentaje_reserva, RU.FLOAT));
...
```

Cuando se terminen de asignar los valores a cada uno de los campos en el atributo de tipo Fact, se debe insertar el hecho en el algoritmo Rete que se creó.

```
r.assertFact(f1);
```

Los hechos iniciales para nuestro razonamiento fueron: la información de los porcentajes asociados por medio de las funciones de relación, el nombre del comercializador y el periodo actual, la información referente a la oferta por la cual se desea pujar y los datos de la diferencia ppcp pganador y diferencia ppcm pganador que serán utilizados posteriormente.

8. A continuación se crean las reglas que serán disparadas por los hechos iniciales de la siguiente forma:

```
r.executeCommand("(defrule calcular_embalse_CEmes" +
"(continuar si)" +
"(Oferta (duracion \"CE-mes\"))" +
"(Informacion_porcentajes (embalse ?a))" +
"=>" +
"(assert (activo calcular_embalse_CEmes))" +
"(store RESULTADO (+ (* (fetch embalse_CE-mes) ?a) (fetch RESULTADO))))");
```

Aquí solo se muestran una regla que fue implementada para este razonamiento. Si esta regla se activa entonces a la variable RESULTADO se le suma el porcentaje de salida multiplicado por el peso o importancia.

9. Finalmente se pone a correr el algoritmo Rete para que se realicen las creaciones e inserciones de hechos y disparo de reglas y de este modo obtener el incremento.

```
r.run();
```

Con dicha clase implementada de esta manera es posible crear desde el agente *comercializador* una instancia de la clase RazonamientoIncremento e invocar el método *Calcular_incremento* en el comportamiento e instante en el que debe incrementar el valor de la oferta por la cual desea contra-ofertar y de esta manera el comercializador obtiene un incremento razonable de acuerdo a la información propia y del mercado.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis sobre los resultados obtenidos en la implementación del razonamiento del incremento mediante la integración de las plataformas JADE-JESS, se realizó un caso de estudio, en el cual se analizó el razonamiento empleado por dos comercializadores para obtener el porcentaje de incremento bien sea sobre el precio inicial de una oferta, o sobre el precio de la contraoferta ganadora en un determinado instante de un periodo específico.

A continuación se presenta el resultado de los parámetros significativos (ver Tablas 4 y 5), componentes de los criterios, para determinar el porcentaje de incremento sobre una oferta inicial detallada en la Tabla 3.

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	3

Tabla 4. Datos Generales

Parámetro	Valor
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 de contratos mercado (histórico)	\$72.01

Tabla 5. Datos de los agentes

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

Tabla 6. Desarrollo de la subasta

Iter.	Valor	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

acumulada		
-----------	--	--

A partir de la Tabla 6 iteración 1, se puede observar que los comercializadores se encuentran pujando por la oferta inicial, ya que ambos están realizando un incremento porcentual y además el valor de la oferta es igual al precio de la oferta inicial. En esta primera iteración el comercializador 1 realiza un incremento del 3.46% y el comercializador 2 del 3.56%. Por lo tanto el ganador de la oferta en ese instante será el comercializador 2.

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

La diferencia entre el porcentaje de incremento propuesto por los comercializadores en la primera iteración mostrada en la Tabla 6, radica en los criterios que involucran parámetros propios de los comercializadores (ver Tabla 5) los cuales afectan directamente a cada uno de ellos. Estos criterios son: reserva, diferencia de precios promedio contratos propio contra el precio ganador, propensión al riesgo y demanda proyectada CE-año (ya que la duración del contrato en la oferta inicial es de tipo CE-año).

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 este comercializador debe realizar pujas con valores altos de modo que pueda 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 nota en la tabla 5 que este valor es mayor para el comercializador 2, lo cual le permite realizar pujas mas altas, ya que su reserva (precio tope menos precio de la oferta) será mayor que la reserva del comercializador 1; 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, 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.

Por las razones expuestas en el párrafo anterior, el comercializador 2 obtiene un incremento porcentual mayor sobre la oferta inicial. Por otro lado, con este caso de estudio fue 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 para una misma oferta, 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.

En la iteración 2 el valor de la oferta se encuentra en 51.78 para ambos comercializadores debido a que el comercializador 2 fue quien gano la oferta inicial con un incremento del 3.56%. En esta misma iteración 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%), como ocurrió en la primera iteración; en cambio como el comercializador 2 es quien se encuentra ganando la oferta para la iteración 2, entonces este comercializador no requiere realizar incrementos sobre esta, y es por esta razón que el incremento propuesto por este es de 0.0%.

Por ultimo es claro que el ganador de esta oferta es el comercializador 2, ya que este realizó una ultima 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.

9. 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. En particular se presentó la implementación de mecanismos de razonamiento en un sistema para la simulación del proceso de negociación de energía en el que se requiere de sistemas complejos de toma de decisiones.

La implementación de los mecanismos de razonamiento identificados en los agentes se realizó por medio de la plataforma JESS, la cual brindó buenos resultados en cuanto al desempeño, modularidad y por ende mayor control en su creación. Dado que las dos plataformas utilizadas (JADE y JESS) fueron desarrolladas bajo el lenguaje Java, son fácilmente integrables, permitiendo la adición de mecanismos de razonamiento a los agentes de software.

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

- [1] Base de datos Neon. www.5.isa.com.co/neonweb .
- [2] Bond y Gasser. Readings in Distributed Artificial Intelligence. 1988.
- [3] Demetrio Arturo Ovalle, Julián Moreno Cadavid, Jorge Alejandro Marulanda, Francisco Javier Arias. Proyecto de Investigación – Simulación del proceso de negociación de contratos normalizados bilaterales de energía basados en un modelo Multi-Agente de subastas para el sector eléctrico colombiano. Código 30805914 de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. 2005.
- [4] Documentación Jess, The Expert System Shell for the Java Platform, Version 6.1RC1 24 March 2003.
- [5] Durfee et al 1989 E.H. Durfee, Cooperative Distributed Problem Solving. The Handbook of AI, vol. 4, chp. XVII, A. Barr, P.R. Cohen, E.A. Feigenbaum, eds., Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [6] Escuela de primavera de agentes. Tutorial Básico de JADE. 19 de Febrero de 2005.
- [7] Fabio Bellifemine, Agostini Poggi, Giovanni Rimassa. JADE – A FIPA compliant agent framework. 1999.
- [8] Fabio Bellifemine, Giovanni Rimessa, Tiziana Trucco, Giovanni Caire. JADE PROGRAMMER'S GUIDE. 2 de Marzo de 2005.
- [9] Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Tiziana Trucco, Giovanni Rimaza. JADE ADMINISTRATOR'S GUIDE. 2 de Marzo de 2005.
- [10] Giovanni Caire. JADE TUTORIAL. Jade programming for beginners. 4 de Diciembre de 2003.
- [11] Grupo de Investigación HIDRA Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación Universidad de los Andes, AGENTES Y SISTEMAS MULTIAGENTE: INTEGRACIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS.
- [12] <http://www.isa.com.co/>. <http://www.ceditec.etsit.upm.es>.

- [13] Juan Francisco Garamendi Bragado. Agentes Inteligentes: JADE. Abril de 2004.
- [14] Julián Moreno Cadavid & Julián Esteban Santamaría. Informe de Avance del Proyecto de Investigación DIME - Diseño e implementación de un Sistema Multi-Agente que simule el comportamiento del mercado energético en Colombia. Modulo: "Componentes del Mercado de Energía Eléctrica en Colombia", 2003.
- [15] O'Brien, P. D. Nicol, R. C. FIPA – Towards a standard software agents. 3 de Julio de 1998.
- [16] Ovalle C., Demetrio A. & Pérez T. Fernando. Meta-Modelo de Coordinación de Tareas para Sistemas Multi-Agente. Caso de estudio: Control de un Robot Móvil. Revista DYNA, Facultad de Minas, ISSN: 0012-7353, pp. 9-16, 2002.
- [17] Sistema electrónico de contratos normalizados bilaterales – SEC-. Documento CREG- 005. 16 de Enero de 2004.