



Universidad
de Alcalá

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Automática

ESTRATEGIAS DE NEGOCIACIÓN
AUTOMÁTICA BASADAS EN
RESTRICCIONES DIFUSAS SOBRE SISTEMAS
MULTIAGENTE

TESIS DOCTORAL

Miguel Ángel López Carmona

Ingeniero de Telecomunicación

Alcalá de Henares, 2006



Universidad
de Alcalá

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Automática

TESIS DOCTORAL

ESTRATEGIAS DE NEGOCIACIÓN
AUTOMÁTICA BASADAS EN
RESTRICCIONES DIFUSAS SOBRE SISTEMAS
MULTIAGENTE

Autor:

Miguel Ángel López Carmona

Ingeniero de Telecomunicación

Directores:

Juan Ramón Velasco Pérez

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Bernardo Alarcos Alcázar

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Alcalá de Henares, 2006

A ti Olga, por tu comprensión y apoyo, y a ti Paula, por todas las tardes de parque que me he perdido.

Resumen

El desarrollo de sistemas software en el que múltiples entidades interaccionan de forma autónoma para cooperar, coordinarse, o intercambiar información con el objeto de conseguir sus objetivos individuales, representa un importante desafío que se aborda en este trabajo desde la perspectiva de los sistemas multiagente. El ámbito del comercio electrónico concentra gran parte del esfuerzo investigador en el desarrollo de estos sistemas. En el área del comercio electrónico, y en relación con los sistemas multiagente, podemos identificar a grandes rasgos dos desafíos clave: el desarrollo de agentes con capacidades de razonamiento que puedan operar en entornos abiertos, y la definición de estándares que permitan el desarrollo de estos sistemas de negociación en dichos entornos. De forma específica en la tesis se tratan dos aspectos fundamentales que entran dentro de este marco investigador: el desarrollo de algoritmos de negociación automática, y el diseño de protocolos de interacción.

Esta tesis aborda el problema de la negociación automática, que se puede definir como un proceso de interacción a través del cual múltiples agentes software intentan llegar a un acuerdo al respecto del reparto de unos recursos limitados. Así, se trata el problema de la negociación automática bilateral multiatributo en entornos competitivos de comercio electrónico.

El trabajo desarrollado parte de la hipótesis de que mediante una aproximación basada en el diseño de agentes con mayor capacidad expresiva y en la utilización de restricciones difusas, los procesos de negociación pueden hacerse más eficientes que mediante las aproximaciones descritas en trabajos previos, centrados fundamentalmente en negociaciones posicionales. Este objetivo general nos ha llevado a plantear en primer lugar el diseño de un modelo general de negociación automática basado en restricciones difusas, aplicable en escenarios donde agentes compradores y vendedores negocian la compra de productos. El modelo descrito incorpora todos los mecanismos necesarios para dotar de expresividad a los agentes, y se ha diseñado especialmente para facilitar el contraste de estrategias de negociación. Con este objetivo el modelo utiliza como base teórica el marco de los protocolos de juego de diálogo, siendo esta la primera vez que dicho marco se utiliza en el ámbito de las negociaciones bilaterales basadas en restricciones difusas. En este sentido se propone una instancia concreta, que especifica en detalle cada uno de los mecanismos descritos en el modelo general mediante marcos estratégicos. A través de los perfiles de negociación que hemos incluido en el modelo,

y por extensión, en la instancia propuesta, nos ha sido posible realizar un análisis exhaustivo de la eficiencia de las negociaciones como función del comportamiento estratégico de los agentes, donde dicho comportamiento viene determinado fundamentalmente por los perfiles de negociación especificados. Con el objeto de poder experimentar en escenarios reales de negociación, hemos desarrollado una plataforma software sobre la que se ha implementado el modelo. Los experimentos realizados han confirmado nuestra hipótesis de trabajo y la eficacia de nuestra propuesta basada en la capacidad expresiva de los agentes, y nos han permitido extraer importantes conclusiones en el ámbito de investigación de los sistemas de negociación automática bilateral multiatributo.

Palabras Clave: inteligencia artificial, inteligencia artificial distribuida, sistemas multi-agente, agentes inteligentes, comercio electrónico, negociación automática, restricciones difusas, argumentación.

Abstract

The development of software systems in which multiple entities automatically interact to cooperate, coordinate their activities, or exchange information in order to better achieve their individual objectives, presents an important challenge which is addressed in this work from the perspective of multi-agent systems. A large part of the research effort in the development of these systems is dedicated to e-commerce. Within the area of e-commerce, and in relation to multi-agent systems, there are two important challenges: the development of agents with reasoning capabilities which can operate in open environments, and the definition of standards allowing the development of these systems in such environments. This thesis addresses two main aspects within this research framework: the development of automatic negotiation algorithms, and the design of interaction protocols.

This thesis approaches the problem of automatic negotiation, which can be defined as an interaction between software agents trying to reach an agreement over the exchange of scarce resources. Thus, we are dealing with the problem of bilateral, multi-issue, automated negotiations in competitive trading environments.

Our work is based on the hypothesis that by means of an expressive approach to fuzzy constraint based agent negotiation, the negotiation processes are more efficient than with previous approaches, where mainly positional bargaining is used. So, we have planned the design of a general fuzzy constraint based model for automated purchase negotiations, where buyers and sellers automatically negotiate the purchase of products. The model presented includes all the mechanisms needed to design expressive agents, and it has been designed in order to make the testing of negotiation strategies easy. The model is based on the framework of dialogue game protocols, and this is the first time that such a framework has been used in the field of bilateral negotiations based on fuzzy constraints. A specific instance is proposed in which each mechanism, described in the general model by means of strategic frameworks, is specified in detail. Through negotiation profiles, which have been included in the model and in the proposed request, we have been able to develop an exhaustive analysis of the efficiency of the negotiation in terms of the agents' strategic behaviours, where such behaviours are defined by means of the negotiation profiles. With the aim of being able to experiment in real negotiation scenarios, a software platform has been developed in which the model has been implemented. The experiments show that the hypothesis is correct, so the efficiency of our

approach, based on the expressive capabilities of our agents has been confirmed, and we have been able to obtain important conclusions in the research field of multi-attribute, automated bilateral negotiation systems.

Keywords: artificial intelligence, distributed artificial intelligence, multiagent systems, intelligent agents, e-commerce, automated negotiation, fuzzy constraints, argumentation.

Agradecimientos

Antes que nada me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su cariño, por su esfuerzo y dedicación, y por enseñarme a ver qué es lo realmente importante.

La realización de una tesis, aunque gratificante entre otros motivos por el desafío que implica, supone un esfuerzo considerable y constante que implica no sólo al autor, sino a todos aquellos que de alguna u otra manera han contribuido o contribuyen con su trabajo en el campo de conocimiento abordado. A todos ellos, muchas gracias.

Quiero dar las gracias por supuesto a mis directores de tesis, Juan Ramón Velasco y Bernardo Alarcos, porque han confiado en mí, por su apoyo, y por sus valiosos consejos y orientaciones. Desde nuestras primeras reuniones en las que discutíamos cómo varios agentes podían negociar citas, hasta hoy, ha pasado mucho tiempo, y hemos aprendido mucho, creo que ha merecido la pena.

Mi agradecimiento también a todos los miembros del Grupo de Ingeniería de Servicios Telemáticos del cuál formo parte: Enrique de la Hoz, Iván Marsá, Andrés Navarro, Álvaro Paricio, Antonio José de Vicente, y a todos mis compañeros del Área de Ingeniería Telemática, en especial a José Manuel Arco, Francisco Albarrán, Juan Antonio Carral, y Maite López, por sus consejos y apoyo durante la realización de esta tesis, y por el excelente clima de trabajo que se respira.

Mis últimas palabras de agradecimiento son para mi mujer, Olga, porque sin tu apoyo nada de esto hubiese sido posible, y para Paula, mi “peque”, porque son muchas las horas que no he podido estar a tu lado.

Índice general

Resumen	III
Abstract	V
Agradecimientos	VII
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas	XV
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento de problema	12
1.3. Objetivos y ámbito de las contribuciones	14
1.4. Esquema de la tesis	16
Capítulo 2. Marcos de negociación automática	17
2.1. Introducción	17
2.2. El problema de la negociación	18
2.2.1. El espacio de soluciones	18
2.2.2. Criterios para la evaluación de acuerdos o soluciones	19
2.2.3. Mecanismos de negociación	20
2.3. Aproximaciones a la negociación basada en teoría de juegos	21
2.3.1. Teoría de juegos no cooperativa	21
2.3.2. Teoría de juegos en negociación automática	23
2.3.3. Limitaciones de la teoría de juegos	25
2.4. Aproximaciones a la negociación basada en heurísticas	26
2.4.1. Heurísticas en negociación automática	26
2.4.2. Limitaciones de las aproximaciones heurísticas	27
2.5. Aproximaciones a la negociación basada en argumentación	28
2.5.1. Análisis de flexibilidad en modelos heurísticos y de teoría de juegos	28
2.5.2. Argumentos en una negociación	29
2.5.3. Estructura de los mecanismos de las negociaciones basadas en argumentación	30
2.5.4. Estructura de los agentes en las negociaciones basadas en argumentación	33
2.5.5. Algunos marcos de negociación basada en argumentación	35

2.5.6.	Limitaciones de las aproximaciones basadas en argumentación	38
2.6.	Aproximaciones a la negociación bilateral basada en restricciones difusas . . .	38
2.6.1.	Faratin, Sierra y Jennings	41
2.6.2.	Barbuceanu y Lo	43
2.6.3.	Kowalczyk y Bui	45
2.6.4.	Lai y Lin	45
2.6.5.	Luo, Jennings, Shadbolt, Leung y Lee	47
2.7.	Resumen y consideraciones finales	50
Capítulo 3. Modelo de negociación basado en restricciones difusas		53
3.1.	Introducción	53
3.2.	Motivación	55
3.3.	Un modelo de mercado	62
3.3.1.	Modelo de preferencias del comprador	62
3.3.2.	Modelo de preferencias del vendedor	64
3.4.	El marco de los problemas de satisfacción de restricciones difusas	64
3.4.1.	Los problemas de satisfacción de restricciones (CSP)	65
3.4.2.	Los problemas de satisfacción de restricciones difusas (FCSP)	65
3.5.	Conocimiento del dominio del agente comprador	68
3.6.	Conocimiento del dominio del agente vendedor	71
3.7.	Modelo de diálogo de negociación de compra	73
3.7.1.	Modelo de diálogo de alto nivel	74
3.7.2.	Locuciones del modelo de diálogo	76
3.8.	Arquitectura para los mecanismos de decisión	82
3.9.	Semántica operacional	94
3.10.	Discusión y consideraciones finales	101
Capítulo 4. Propuesta de instancia para el modelo de negociación		105
4.1.	Introducción	105
4.2.	Instancia para el marco de mecanismos de decisión del comprador	108
4.2.1.	B1: Recognize Need	108
4.2.2.	B2: Generate Purchase Requirement	108
4.2.3.	B3: Generate Purchase Requirement Valuation	111
4.2.4.	B4: Consider Offers	112
4.2.5.	B5: Consider Withdrawal	112
4.3.	Instancia para el marco de mecanismos de decisión del vendedor	112
4.3.1.	S1: Recognize Category	112
4.3.2.	S2: Assess Purchase_Requirement	113
4.3.3.	S3: Generate Potential Sale-Offers	113
4.3.4.	S4: Generate Relax Requirement	121

4.3.5. S5: Accept or Reject Offer	122
4.3.6. S6: Consider Withdrawal	123
4.4. Propiedades del marco de negociación	123
4.4.1. Garantía de éxito	123
4.4.2. Satisfacción global	124
4.4.3. Racionalidad individual	125
4.4.4. Distribución y comunicación eficiente	125
4.4.5. Simetría	129
4.4.6. Simplicidad	129
4.4.7. Estabilidad	129
4.4.8. Flexibilidad	130
4.4.9. Pareto eficiencia	130
4.5. Discusión y consideraciones finales	135
Capítulo 5. Análisis experimental de estrategias	137
5.1. Introducción	137
5.2. Extracción de parámetros de experimentación	138
5.3. Análisis de validez de estrategias	141
5.3.1. Análisis de validez de estrategias individuales	141
5.3.2. Análisis de validez de estrategias conjuntas	143
5.4. Declaración de preferencias, valores de reserva y catálogo de productos	146
5.4.1. Las preferencias del comprador	146
5.4.2. Los valores de reserva estimados	147
5.4.3. Catálogos de productos	147
5.4.4. Definición y análisis de experimentos	148
5.5. Resultados de los experimentos	149
5.5.1. Experimentos sin ruido	149
5.5.2. Experimentos con ruido	156
5.6. Análisis global de resultados	168
5.7. Robustez de la propuesta de instancia	169
5.8. Discusión y consideraciones finales	172
Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros	175
6.1. Conclusiones	175
6.2. Contribuciones de la tesis	178
6.3. Investigación futura	180
Bibliografía	183
Apéndice A. Anegsys: una plataforma de negociación automática	195
A.1. Introducción	195

A.2. Arquitectura de la plataforma	196
A.3. Consideraciones finales	198
Apéndice B. Implementación del modelo de diálogo sobre FIPA/ACL	199
B.1. Introducción	199
B.2. FIPA/ACL	199
B.3. Implementación de locuciones sobre FIPA/ACL	199
B.4. Especificación de locuciones	203

Índice de figuras

1.1.	Modelos de negociación competitiva en un mercado electrónico	9
1.2.	Taxonomía de mercados controlados	10
2.1.	Elementos de un Agente de Negociación Clásico	33
2.2.	Elementos de un Agente de Negociación ABN	35
3.1.	Preferencias del Comprador	56
3.2.	Catálogo de Productos del Vendedor	56
3.3.	Ejemplo de Diálogo Inexpresivo	58
3.4.	Ejemplo de Diálogo Expresivo	59
3.5.	Apertura del diálogo	78
3.6.	Fase de negociación	80
3.7.	Fase de confirmación	80
3.8.	Diagrama de reglas de transición	98
4.1.	Esquema del método de la estimación de distancia de un producto p_j a un requerimiento de compra $\lambda_{B,req}^{t,i}$	119
4.2.	Influencia del grado de certidumbre en la estimación de distancia	120
4.3.	Influencia de la velocidad de relajación en la estimación de distancia	121
5.1.	Box-plot de medianas de BANenr vs SANenr	150
5.2.	Mean Ranks en BANenr vs SANenr	151
5.3.	Medias en BANenr vs SANenr	151
5.4.	Box-plot de medianas de BAer vs SAer1	152
5.5.	Mean Ranks en BAer vs SAer1	153
5.6.	Medias en BAer vs SAer1	153
5.7.	Box-plot de medianas de BAer vs SAer0.5	154
5.8.	Mean Ranks en BAer vs SAer0.5	155
5.9.	Medias en BAer vs SAer0.5	155

5.10. Box-plot de medianas de BANer vs SANer con ruido	157
5.11. Mean Ranks en BANer vs SANer con ruido	158
5.12. Medias en BANer vs SANer con ruido	158
5.13. Box-plot de medianas de BAer vs SAer1 con ruido	159
5.14. Mean Ranks en BAer vs SAer1 con ruido	160
5.15. Medias en BAer vs SAer1 con ruido	160
5.16. Box-plot de medianas de BANer vs SAer con ruido	162
5.17. Mean Ranks en BANer vs SAer con ruido	162
5.18. Medias en BANer vs SAer con ruido	163
5.19. Box-plot de medianas de BANer vs SAer05 con ruido	164
5.20. Mean Ranks en BANer vs SAer05 con ruido	165
5.21. Medias en BANer vs SAer05 con ruido	165
5.22. Comparativa de Estrategias BANer vs SANer y BANer vs SAer05	166
5.23. Mejora de la Tasa de Aciertos y Mejora Relativa de Utilidad	167
A.1. Arquitectura de la Plataforma Anegsys	196
A.2. Arquitectura interna de Anegsys	197
A.3. Resumen de tiempos de negociación en función del número de atributos y de productos del catálogo	198

Índice de tablas

2.1. El Dilema del Prisionero	22
2.2. Lenguajes de Comunicación y Dominio en marcos ABN vs no-ABN	31
4.1. Locuciones	106
4.2. Mecanismos de decisión del comprador	106
4.3. Mecanismos de decisión del vendedor	106
4.4. Reglas de transición	107
4.5. Ejemplo de mapa de distribución para 3 restricciones y 10 productos	122
4.6. FCSP del Ejemplo 4.4.4	127
5.1. Perfil de Negociación del comprador	140
5.2. Perfil de Negociación del vendedor	140
5.3. Selección de pares de estrategias en experimentación	145
5.4. FCSP del agente comprador	146
5.5. Resultados de estrategia BANer vs SANer	150
5.6. Resultados de Estrategia BAer vs SAer1 sin ruido	152
5.7. Resultados de Estrategia BAer vs SAer0.5 sin ruido	154
5.8. Resultados de Estrategia BANer vs SANer con ruido	157
5.9. Resultados de Estrategia BAer vs SAer1 con ruido	159
5.10. Resultados de Estrategia BANer vs SANer con ruido	161
5.11. Resultados de Estrategia BANer vs SAer05 con ruido	164
5.12. Variación de la Mediana de Utilidad y Tasa de Aciertos con β para 16 productos	171
B.1. Clasificación de locuciones FIPA ACL	200

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se motiva y describe el objeto de la investigación. En primer lugar se presentan los antecedentes, y a continuación se realiza el planteamiento del problema. Finalmente se describen los objetivos y el ámbito de las contribuciones, y se presenta el esquema de la tesis.

1.1. Antecedentes

Hoy en día no se entiende un sistema informático como un ente aislado, los sistemas están normalmente interconectados, conformando en ocasiones sistemas distribuidos de gran tamaño. Internet es el ejemplo más claro de sistema que es en esencia un sistema interconectado. Los sistemas concurrentes y distribuidos son la norma en los sistemas industriales y comerciales, de tal forma que muchos de los fundamentos de la informática se han tenido que revisar buscando modelos que reflejasen la realidad de los sistemas informáticos como procesos de interacción. Es posible afirmar que los sistemas informáticos actuales marcan una tendencia hacia cinco aspectos muy destacados: *ubicuidad*, *interconexión*, *inteligencia*, *delegación* y *orientación hacia lo humano* [Wooldridge, 2002]. Por ubicuidad se entiende que es posible introducir capacidad de proceso a un coste razonable en prácticamente cualquier lugar. Mientras que los primeros ordenadores eran entidades aisladas, los sistemas actuales están normalmente interconectados, conformando grandes sistemas distribuidos. Otro aspecto cada vez más importante es el relacionado con la construcción de sistemas cada vez más inteligentes, donde el aprendizaje y el conocimiento son elementos clave. Podemos definir un comportamiento inteligente como aquél que tiene como fin último la consecución de unos objetivos, mediante la ejecución de unas tareas tales que optimicen alguna medida de rendimiento. La siguiente tendencia está marcada por un incremento en la delegación de tareas a los sistemas informáticos. La delegación implica básicamente que se cede el control a un sistema informático. La quinta y última tendencia viene definida por la utilización cada vez mayor de metáforas y conceptos que reflejan con mayor fidelidad la forma en la que nosotros entendemos el mundo.

Todas estas tendencias han provocado la aparición de un nuevo campo, el de los *sistemas multiagente*. Un *sistema multiagente* puede ser definido como un sistema constituido por un número de *agentes* que interaccionan unos con otros, normalmente mediante el intercambio

de mensajes a través de una infraestructura de red de ordenadores. La definición que vamos a dar de agente es una adaptación basada en las definiciones de Jennings y Wooldridge descritas en [Wooldridge, 2002, Weiss, 1999]:

Un agente es una entidad computacional autónoma, que tiene control sobre su comportamiento y puede actuar sin intervención humana, capaz de interactuar en un entorno con el objeto de conseguir sus objetivos de diseño. La persecución de dichos objetivos y la ejecución de tareas son el reflejo de un comportamiento inteligente centrado en la optimización de alguna medida de rendimiento.

Son tres los principios generales que se pueden extraer de la definición: *autonomía, inteligencia e interacción*. De aquí en adelante utilizaré el término agente asumiendo su carácter inteligente y autónomo, su capacidad de interacción con otros agentes o humanos, y su capacidad de percepción y actuación sobre el entorno.

El campo de los sistemas multiagente es altamente interdisciplinario, de forma que incorpora diversas áreas de conocimiento: economía, filosofía, lógica, ecología, ciencias sociales e inteligencia artificial. Esto lleva a que sean varias las visiones que se tienen de este campo. Quizás la más cercana al ámbito de esta tesis sea la que describe esta tecnología como un nuevo paradigma de computación, basado en un potente conjunto de metáforas, conceptos y técnicas para la conceptualización, diseño, implementación y verificación de sistemas distribuidos [Jennings, 2001]. La aplicación de la tecnología de agentes abarca desde el comercio electrónico y mercados electrónicos, donde agentes de compra y venta compran y venden productos en nombre de sus propietarios, al control industrial y de tráfico aéreo, monitorización y gestión de redes de telecomunicación, análisis de procesos de negocio, y entretenimiento o investigación social [Parunak, 1999].

Queda claro que en los sistemas multiagente, los agentes necesitan normalmente interactuar para conseguir sus objetivos. De forma general, diferentes tipos de mecanismos de interacción se ajustan a diferentes tipos de entornos y aplicaciones. Estos mecanismos podrían tener como objetivo, por ejemplo, la coordinación de actividades mediante la sincronización y el alineamiento de actividades, o la definición de tareas de colaboración en las que los agentes trabajan juntos para conseguir un objetivo común. El ámbito de esta tesis se centra en uno de los tipos de interacción que más atención está suscitando en la comunidad científica de los sistemas multiagente, la *negociación*. Vamos a dar la siguiente definición de *negociación*, tomada del trabajo sobre filosofía de la argumentación [Walton y Krabbe, 1995]:

Negociación es una forma de interacción en la que un grupo de agentes, con intereses en conflicto y un deseo de cooperar, intentan llegar a un acuerdo mutuamente aceptable en la división de un recurso o recursos escasos.

Los recursos pueden hacer referencia a servicios, tiempo, dinero, etc..., en definitiva, cualquier cosa que es necesaria para conseguir algo. Los recursos son escasos en el sentido de que los requerimientos de los agentes no pueden ser satisfechos simultáneamente. En el contexto de un sistema multiagente, el reto que se plantea en la construcción de un sistema de negociación automática es el de diseñar mecanismos para asignar recursos entre procesos software que representan a individuos que tienen sus propios intereses. Por individuo podemos hacer referencia a humanos, organizaciones o a otros procesos software. El diseño de mecanismos puede verse como el diseño de protocolos para el control de las interacciones entre agentes, de tal manera que dichos protocolos tengan ciertas propiedades deseables. Estas propiedades pueden ser evaluadas conforme a muchos tipos de criterios. A continuación presentamos una lista con los criterios de evaluación más relevantes, basados en [Sandholm, 1999b, Rosenschein y Zlotkin, 1994]:

Garantía de éxito: Un protocolo garantiza el éxito si asegura el acuerdo entre los agentes.

Satisfacción global: Es definido habitualmente como la suma de utilidades que los agentes consiguen dada una solución. Sin embargo, es preferible dar una definición más genérica, entendiendo entonces este criterio como una medida de la bondad global de una solución. De alguna forma, cualquier medida concreta de bondad es arbitraria, en tanto en cuanto requiere una comparación entre utilidades subjetivas. Como ejemplo muy sencillo de la problemática de este criterio pensemos en la maximización de la satisfacción como suma de utilidades para el caso de dos agentes A y B, y hagamos la siguiente pregunta: ¿acaso es igual la satisfacción global si A consigue una utilidad 10 y B una utilidad 0, que si A consigue una utilidad 5 y B una utilidad 5? Evidentemente, y si nos atenemos a la función de cálculo de satisfacción global, ambas soluciones comportan la misma satisfacción, pero también está claro que la segunda solución parece más justa.

Pareto-eficiencia: Una solución se dice que es *pareto-eficiente* o *pareto-óptima* si no hay otro resultado que haga al menos a un agente mejorar sin hacer al menos a otro agente empeorar. Esta medida es también una medida de satisfacción global, aunque menos problemática que la anterior porque no requiere comparaciones de utilidad entre agentes. Las soluciones que maximizan la satisfacción global mediante la suma de utilidades son un subconjunto de las soluciones pareto-óptimas.

Racionalidad individual: La participación en una negociación es individualmente racional para un agente, si el beneficio obtenido en la negociación no es menor que el beneficio que obtendría sin participar en la negociación. En definitiva, el agente tiene que tener un incentivo a la hora de participar en una negociación.

Distribución y Comunicación eficiente: Es preferible un mecanismo de decisión que no implique a una entidad central para la toma de decisiones. En este punto son dos los motivos fundamentales para establecer este criterio: evitar la existencia de puntos de fallo únicos, y minimizar la revelación de información privada. Por otra parte este criterio puede entrar en conflicto con otro aspecto fundamental, que es la de la minimización de las comunicaciones necesarias para converger en un solución deseable.

Simetría: Un mecanismo no debe desviarse a favor o en contra de algún agente en cuanto a criterios inapropiados. Por ejemplo, un mecanismo de compra en el que la capacidad expresiva del agente comprador sea mucho mayor que la del vendedor, puede tener como consecuencia que el poder negociador del comprador sea también mucho mayor.

Simplicidad: Un protocolo simple es aquel que hace que la estrategia apropiada para una negociación sea obvia. Es decir, un protocolo es simple si al usarlo, un agente puede fácilmente determinar la estrategia óptima.

Estabilidad: Un mecanismo es estable si ningún agente tiene un incentivo al desviarse de la estrategia o conjunto de estrategias preestablecidas.

Flexibilidad: Un mecanismo debería conducir a un acuerdo incluso si los agentes no disponían de la información privada correcta y completa en relación con sus propias decisiones y preferencias. Esta propiedad requiere de un mecanismo para permitir a los agentes refinar su toma de decisiones, a la luz de nueva información que se pueda incorporar durante el mismo proceso de negociación.

Se han propuesto y estudiado varios mecanismos de decisión e interacción en el caso de la negociación automática. Algunos se han estudiado de forma analítica utilizando técnicas de *teoría de juegos* [Sandholm, 2002b, Rosenschein y Zlotkin, 1994] y técnicas basadas en *lógica* [Wooldridge y Parsons, 2000], y otros de forma experimental mediante la *programación* de sistemas y la realización de *pruebas* [Kraus, 2001, Faratin *et al.*, 1998, Fatima *et al.*, 2004]. En cualquiera de los casos, todos los marcos de negociación hacen uso del intercambio de ofertas conforme a un determinado protocolo de interacción. Se entiende una oferta como una sugerencia sobre la asignación de los recursos sobre los que se negocia.

Una vez descrito el marco tecnológico, definido el concepto de negociación, y enumeradas las propiedades que permiten evaluar los mecanismos de decisión e interacción que se inscriben en un proceso negociador, vamos a ubicar todos estos aspectos en el marco de aplicación de esta tesis, el *comercio electrónico*.

En los últimos años hemos sido testigos de la aparición del *comercio electrónico* (e-commerce), tanto en la versión negocio-consumidor (business to consumer, B2C) como negocio-negocio (business to business, B2B), y consumidor-consumidor (consumer to consumer, C2C),

fundamentalmente impulsado por la aparición de Internet. El término comercio electrónico generalmente denota la sustitución de la figuras del comprador y vendedor por entidades electrónicas [Bailay y Bakos, 1997]. Sin embargo, en muchas ocasiones estos sistemas no son más que catálogos electrónicos en los que el usuario elige un producto con precio prefijado. Sin embargo, el comercio electrónico ofrece muchas más oportunidades para mejorar la forma en que los negocios o empresas interaccionan con sus clientes y suministradores. El objetivo es aprovechar el potencial real que puede proporcionar un entorno electrónico, dar un paso más, e introducir en los sistemas procesos de *negociación automática*. Por ejemplo, la automatización puede permitir la comparación a gran escala de productos con un gran número de características, abaratar costes, ofrecer servicios más personales, y dotar de mayor agilidad a las transacciones. Dada la naturaleza de las tareas implicadas en el comercio electrónico, la tecnología de agentes puede jugar un papel muy importante, donde los agentes actuarán como compradores, vendedores, mediadores, proveedores de información, etc. . . , en definitiva, los agentes automatizarán una parte o todas las tareas necesarias en los procesos de transacciones comerciales. En cualquier caso, para poder aprovechar todo el potencial real de este nuevo modo de comercio, es necesario abordar un amplio rango de aspectos, tanto de tipo social y legal como técnico.

Gran parte de las aplicaciones de comercio electrónico actuales pueden ser clasificadas como sistemas de *primera generación* [Lomuscio *et al.*, 2001]. Básicamente son servidores accesibles en Internet que permiten que el usuario navegue a través de catálogos de productos (libros, vuelos, paquetes de vacaciones, ordenadores, ...), y que compre algunos de estos productos mediante una tarjeta de crédito por ejemplo. Hay algunas formas más avanzadas como las que se presentan en Jango o BuySell,¹ que funcionan como *asistentes de compra*, poniendo en contacto a usuarios que venden algún producto, u operando como intermediarios en la búsqueda de la mejor oferta una vez se ha decidido el producto que se quiere comprar.

Un problema fundamental de estos sistemas de primera generación reside en el hecho de que están centrados en un único aspecto de la transacción: el precio. Aunque el precio es claramente importante, este aspecto no es el único importante en muchas ocasiones. Por ejemplo, las empresas quieren normalmente fidelizar al cliente, mientras los clientes no sólo están interesados en el precio, sino también en la calidad, garantía, tiempo de entrega o servicio posventa. Queda claro que se necesitan formas más complejas de asistentes de compra. Si analizamos el modelo de comportamiento de compra que se presenta en [He *et al.*, 2003] y [Guttman *et al.*, 1998], vemos que de las seis fases definidas: identificación de una necesidad, gestión de selección de producto, gestión de búsqueda de vendedor, negociación, pago y entrega, y servicio y evaluación, la fase de negociación es la menos implantada. Las tres primeras

¹<http://www.jango.com>, <http://www.BuySell.com>

fases están cubiertas por los sistemas de primera generación, al igual que la fase de pago y entrega, mientras que la última fase no se ha identificado normalmente con sistemas de comercio electrónico, o puede en todo caso ser implementada con sistemas de captación de información triviales. La pregunta es qué puede aportar la automatización de la fase de negociación. En principio hay dos ventajas fundamentales: es posible reducir significativamente el tiempo de negociación (se pueden llevar a cabo un gran número de transacciones en cortos intervalos de tiempo), y se pueden eliminar las retenciones de los humanos a verse implicados en procesos de negociación que podrían a posteriori suponer una ventaja en la transacción. El objetivo es por tanto desarrollar sistemas de negociación prácticos, que aporten ventajas a todos los participantes en un escenario de transacción comercial. En [Sierra, 2004] se presentan algunas de las características de los dominios de aplicación en los que se esperan ver aplicaciones de comercio electrónico con una automatización completa de la fase de negociación:

- Interacciones rápidas. Por ejemplo, en el comercio de reserva de capacidades en enlaces de comunicación, donde las negociaciones suceden de forma muy rápida, y no hay tiempo para interactuar con el cliente entre rondas de negociación.
- Interacciones que se repiten, o con una gran sobrecarga en la comunicación, o en un dominio limitado de tal forma que es posible el aprendizaje del comportamiento del usuario. Muchos mercados B2B exhiben esta característica.
- Cada transacción es de un valor relativamente pequeño. De esta forma es posible monitorizar el proceso y parar después de un tiempo determinado sin pérdidas significativas.
- El producto es relativamente fácil de especificar. Una de las mayores dificultades en la negociación automática reside en el tratamiento de objetos complejos.

Es necesario hacer algunas matizaciones más relacionadas con la tipología de las negociaciones, que nos van a llevar finalmente a plantear el problema concreto tratado en esta investigación. Hemos visto como la integración de capacidades de negociación automática en escenarios de comercio electrónico, constituye un importante desafío en el ámbito del comercio electrónico mediado por agentes. En las negociaciones humanas, dos o más partes interactúan entre ellas para determinar el precio o algún otro término de la transacción. En una negociación automática, son los agentes software los que llevan a cabo procesos similares para llegar al mismo fin. Básicamente lo que se hace es preparar ofertas que se envían a los otros agentes implicados, y analizar las ofertas que se reciben con el objetivo de conseguir el máximo beneficio para el usuario que representan. Estas tareas se desarrollan conforme a una estrategia de negociación, que estará acotada por el protocolo de negociación establecido. Este protocolo es el que define las “reglas de encuentro” entre los agentes [Rosenschein y Zlotkin, 1994], es decir, quien puede decir qué, a quién y en qué momento. Dada la amplísima variedad de posibilidades, no existe una aproximación o técnica universal para el problema de la negociación

automática [Jennings *et al.*, 2001]. En su lugar, los protocolos y las estrategias tienen que adaptarse en función de las diferentes situaciones o escenarios que se plantean. Un escenario determinado depende de un gran número de parámetros, de forma que es importante realizar una clasificación de dichos parámetros con el objeto de tipificar los diferentes escenarios de negociación que se pueden dar. En [Lomuscio *et al.*, 2001] se presenta un esquema para la clasificación de parámetros, que es el que vamos a utilizar como punto de partida:

Cardinalidad: En cuanto al *dominio de negociación* o en cuanto a las *interacciones*.

En el caso del dominio de negociación se hace referencia al número de valores sobre los que se negocia (p.ej. precio, calidad, plazo de entrega, . . .). La cardinalidad en las interacciones hace referencia al número de agentes que participan en la negociación: uno a uno, uno a muchos, o muchos a muchos. Es importante aclarar que es posible un escenario con un gran número de agentes en el que todas las negociaciones se desarrollan uno a uno.

Características del agente: Vienen definidas por el *rol*, la *racionalidad*, el *conocimiento*, el *compromiso*, el *comportamiento social* y la *estrategia de ofertas*. El rol define el tipo de agente (p.ej. comprador, vendedor, intermediario, . . .). La racionalidad puede ser perfecta o acotada [Osborne y Rubinstein, 1994], dependiendo de la capacidad de cómputo ilimitada o no del agente. El conocimiento destaca fundamentalmente dos aspectos: el que describe el conocimiento acerca de los recursos sobre los que se negocia, y el conocimiento acerca de las valoraciones que los oponentes dan a estos recursos (p.ej. conociendo sus funciones de utilidad). El compromiso guarda relación directa con los mecanismos formales, normalmente externos, que van a regir el resultado de una negociación (p.ej. posibilidad o no de renegar de un acuerdo). El comportamiento social refleja la actitud del agente frente a los demás: egoísta, altruista, o un reflejo de ambas actitudes. La estrategia define finalmente la forma de presentar o aceptar ofertas, lo que en definitiva es consecuencia en parte de los parámetros definidos anteriormente.

Características del entorno y bienes: Un entorno es estático o dinámico en función de la variabilidad de los parámetros que lo definen (p.ej. una función de utilidad constante o variable en función del tiempo). En cuanto a las características de los bienes se hace referencia a aspectos tales como la valoración privada y pública que se hace de éstos, y el dominio discreto o continuo de los atributos que definen dichos bienes.

Parámetros de evento: Guardan relación con la forma en que son regulados los diferentes eventos que se pueden producir durante la negociación. Entre otros destacamos los conceptos de *validez* y *visibilidad* de una oferta. La *validez* ajusta la temporización y restricciones a las que se deben someter las ofertas. La *visibilidad*

tiene sentido en negociaciones muchos a uno o muchos a muchos, donde los mensajes pueden estar restringidos a diferentes grupos de agentes.

Parámetros de información: Hacen referencia a todos los tipos de información que no son parte de la oferta en sí misma, como pueden ser los historiales de transacciones similares, o presupuestos realizados por terceros.

Parámetros de asignación: Determinan la forma de asignar los recursos sobre los que se negocia en el caso de escenarios muchos a uno y muchos a muchos. Los diferentes tipos de subastas por ejemplo, establecen diferentes mecanismos de asignación cuando más de un agente muestra interés por un producto.

Atendiendo al número de grupos de características, y dados todos los parámetros que se pueden definir en cada grupo, el número de escenarios que pueden darse es evidentemente enorme. Sin embargo, no todas las combinaciones son factibles, o simplemente, no todas son útiles. Ahora, en lugar de pensar a bajo nivel, es decir, a nivel de parámetros muy concretos de un escenario de negociación, vamos a centrar el análisis a nivel de mercado. La idea es identificar aquellos mercados en los que sea interesante desde un punto de vista práctico la utilización de un sistema de negociación automático.

Podemos distinguir inicialmente entre *mercados no controlados* y *mercados controlados*. Un *mercado electrónico no controlado* es aquel en el que cada participante inicializa un agente que actúa en el interés de su propietario y hace uso de estrategias definidas exclusivamente por él. Se entiende además que no existe un ente central que controla el mercado. Este escenario es lógicamente el más difícil de implementar, y las iniciativas a este respecto, están centradas en la definición de un marco común para la especificación de catálogos, definición de librerías de negocio o especificación de documentos comerciales. El proyecto eCo Framework² aborda todos estos problemas, como respuesta a la proliferación de protocolos de comercio electrónico propietarios basados en el lenguaje de marcas extensible XML.³ Sin embargo, como se afirma en [Kurbel y Loutchko, 2003], la aplicación de tecnología de agentes en un mercado no controlado es más una visión que una realidad.

En el marco de un *mercado electrónico controlado* los participantes tienen que llegar a un acuerdo acerca de qué se compra y vende y cómo puede hacerse. El proceso de negociación por tanto requiere la regulación de tres importantes partes [Beer *et al.*, 1999, Jennings *et al.*, 2001, Jennings *et al.*, 1998, Jennings *et al.*, 2000]:

- Protocolos de Negociación. Definen el conjunto de reglas que gobiernan la interacción entre los agentes.

²<http://www.commerce.net>

³<http://www.w3.org/XML>

- **Objetos de la Negociación.** Definen el rango de aspectos sobre los que debe alcanzarse un acuerdo.
- **Modelos de Toma de Decisiones de los Agentes.** Describen el aparato de toma de decisiones que los participantes utilizan junto con el protocolo de negociación para conseguir sus objetivos.

Una vez prefijadas estas tres partes, el problema del descubrimiento de información, de la comunicación, de las ontologías o la monitorización se simplifican bastante en relación con los mercados no controlados. Aún así, el problema de la negociación en mercados controlados sigue siendo muy complicado, y ha sido resuelto con éxito sólo en casos muy especiales que más adelante destacaremos. Al igual que hemos hecho con los parámetros de bajo nivel que caracterizan un escenario de negociación, vamos a presentar una topología para el caso de mercados controlados basados en sistemas multiagente, que permita llevar a cabo una clasificación de los mismos. En la figura 1.1 se presentan las tres constelaciones de compradores

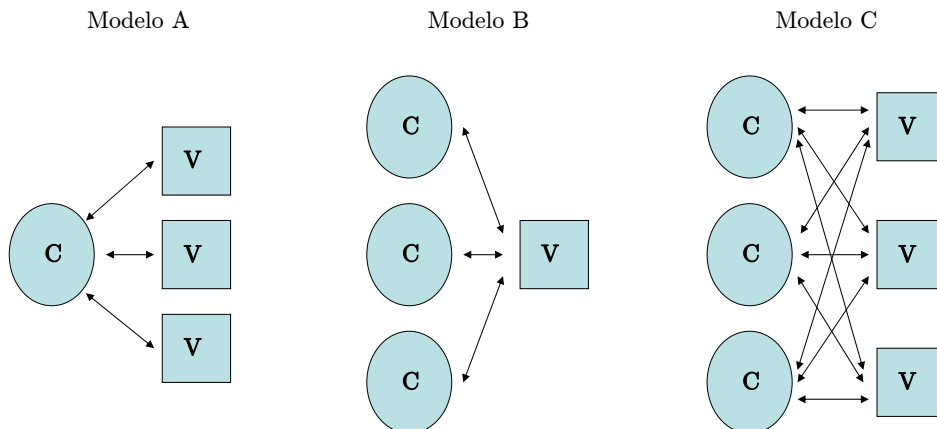


Figura 1.1. Modelos de negociación competitiva en un mercado electrónico

y vendedores que son posibles en cada uno de los diferentes tipos de mercados (B2B, B2C Y C2C). Estas constelaciones son definidas como modelos A, B y C [Guttman y Maes, 1998]. Dado un tipo de mercado, debe conocerse el rango de aspectos sobre los que se quiere alcanzar un acuerdo. En el caso más sencillo puede ser por ejemplo el precio, mientras que en una negociación B2B la negociación puede cubrir un gran número de aspectos diferentes (precio, calidad, penalizaciones, condiciones, plazos, ...). Distinguimos por tanto entre negociaciones de *un solo atributo* y *multiatributo*. La siguiente característica importante es la que permite restringir de alguna manera el rango de valores de los diferentes aspectos sobre los que se negocia. En este caso nos podemos encontrar con *restricciones duras* (*crisp constraints*) y *restricciones difusas* (*fuzzy constraints*). En un marco de restricciones duras el problema se simplifica enormemente dado que todo se reduce a una simple comparación de preferencias de las dos partes que negocian. Sin embargo, en una negociación real, los acuerdos suelen

alcanzarse mediante la realización de concesiones. En definitiva, el potencial real de los mecanismos de negociación automática va a estar en la utilización de restricciones flexibles que permitan realizar concesiones de algún tipo. A modo de resumen, en la figura 1.2 se presenta un esquema de clasificación de mercados electrónicos controlados basado en los criterios expuestos anteriormente y que se recogen en [Kurbel y Loutchko, 2003].

critério	valores posibles		
tipo de mercado	B2B	B2C	C2C
tipo de modelo	1:n (A)	m:1 (B)	n:m (C)
atributos de negociación	un atributo		multiatributo
tipo de restricciones del consumidor	estrictas		difusas
tipo de restricciones del vendedor	estrictas		difusas

Figura 1.2. Taxonomía de mercados controlados

Atendiendo a los diferentes criterios expuestos anteriormente, se llegan a un total de setenta y dos modelos de mercado electrónico diferentes. No todos sin embargo son de interés práctico, y algunos no se han implementado de manera efectiva hasta ahora debido a su tremenda complejidad. En el marco de un mercado real, cada participante se ve implicado normalmente en una negociación multilateral sobre múltiples atributos. Este proceso negociador es un proceso de concesiones mutuas que giran entorno a unas determinadas estrategias. Evidentemente las concesiones sólo van a ser posibles si las restricciones sobre los valores de los atributos que se están negociando son flexibles o difusas y no estrictas. Trasladado a un mercado electrónico donde los agentes actúan en lugar de sus propietarios para satisfacer sus necesidades, corresponde al modelo C, para una negociación multiatributo y restricciones difusas en ambos lados.

Existen varios ejemplos de mercados que siguen un modelo de negociación de tipo A. Uno muy interesante es el denominado Active Buyer's Guide System,⁴ desarrollado por la compañía Active Decisions. Su utilización es muy simple, el usuario selecciona los valores de ciertas características del producto que desea comprar, siendo posible incluso ponderar ciertas de estas características respecto de otras, y un motor de búsqueda selecciona los productos que satisfacen las restricciones, ordenándolos en función del grado de cumplimiento. En este caso estamos hablando de un mercado B2C, ya que el estatus del posible vendedor es diferente del estatus del consumidor. Las restricciones del consumidor son difusas, y las restricciones del vendedor son en cualquier caso estrictas, y por lo tanto, el vendedor no tiene necesidad de ser representado por un agente que negocie nada en su lugar. Parece evidente que los mercados electrónicos multiagente con un modelo A y múltiples atributos no van a existir

⁴<http://www.activebuyersguide.com>

en mercados B2C. En mercados B2B y bajo el modelo A, sin embargo, sí hay aproximaciones como MAGMA [Tsvetovatyy *et al.*, 1997], MAGNET [Collins *et al.*, 1998] y MASCOT [Sadeh *et al.*, 1999] más proclives a la utilización de agentes negociadores. En estas aproximaciones se utilizan formas muy básicas de subasta electrónica, en las que los vendedores preparan ofertas tras una petición previa por parte de un comprador. En estos casos se supone un estatus similar para todos los participantes, siendo un escenario típico el de la gestión automática de contratos en cadenas de suministro.

Las subastas electrónicas [Bichler, 2000] constituyen sin duda ninguna los mercados electrónicos más implantados y de mayor éxito en Internet, tanto en el ámbito B2B como B2C y C2C. Muchas de estas subastas pueden entenderse como pertenecientes a un modelo de negociación B. Uno de los ejemplos más importantes es eBay,⁵ que a través de su página web permite la subasta de productos de cualquier particular. Otro ejemplo destacado es de la casa de subastas electrónicas Fishmarket [Rodríguez *et al.*, 1997], que define un prototipo académico en el que se hace uso de un sistema de subasta Holandesa, y que toma como modelo un mercado de pescado Español. A pesar de estos ejemplos, no parece que la delegación en un agente de las pujas sobre el precio vaya a tener excesivo éxito, fundamentalmente porque el propio acto de participar en una subasta puede ser divertido para el consumidor. Así, se intuye que el único ámbito donde puede ser interesante el modelo B, es en mercados B2B [Shaw, 2000, Subramani y Walden, 2000], donde haya múltiples atributos negociables, y no sea efectiva la puja manual.

Existen varios prototipos que siguen el modelo C, entre los que destacamos Kasbah [Chavez y Maes, 1996], Tete-a-Tete [Guttman y Maes, 1998] y CASBA [Vetter y Pitsch, 1999]. Todos estos prototipos utilizan restricciones difusas en ambos lados, negocian un único atributo en el caso de Kasbah y CASBA, y múltiples atributos en el caso de Tete-a-Tete. Sin embargo, en el caso de Tete-a-Tete el funcionamiento no puede considerarse automático, porque en el proceso de negociación, las ofertas de diversos vendedores a un comprador, son evaluadas manualmente para generar la crítica a la propuesta.

La clasificación presentada no debe entenderse como la única válida, o una clasificación extensible a todos y cada unos de los escenarios que se pueden dar. Nuestro objetivo principal es proporcionar una visión estructurada del campo del comercio electrónico. Queremos destacar también el análisis del estado del arte que se presenta en [He *et al.*, 2003], donde se aborda el papel que los agentes tienen o pueden tener en el ámbito del comercio electrónico, mediante el análisis detallado de los que consideran los nichos claves del comercio electrónico, los mercados B2B y B2C. En el caso de mercados B2C se identifican como mecanismos fundamentales de negociación las subastas y las negociaciones bilaterales, mientras en mercados B2B, los mecanismos clave son las subastas y la contratación electrónica. En cualquiera de los

⁵<http://www.ebay.es>

casos es posible afirmar que existen tres mecanismos genéricos de negociación utilizables en algún u otro escenario:⁶ las *subastas*, la *contratación electrónica* y las *negociaciones bilaterales*.

Las subastas [Sandholm, 1999b, Vickrey, 1961] son los mecanismos de negociación más ampliamente estudiados y empleados. Son un método muy efectivo de asignar recursos en situaciones dinámicas a las entidades que más valoran esos recursos [Wurman, 2001], tanto en el caso de mercados B2B como mercados B2C. La contratación trata la asignación de tareas entre agentes, lo que implica normalmente a un agente que intenta contratar a otros agentes para realizar ciertas tareas a cambio de una determinada recompensa [Kraus, 2001]. Esta técnica ha sido aplicada en mercados eléctricos, asignación de ancho de banda, planificación y temporización en la fabricación, y en mercados financieros [Sandholm, 1999a]. La negociación bilateral implica a dos partes, un comprador y un vendedor, a diferencia de las subastas que vienen determinadas por configuraciones uno a muchos, muchos a uno o muchos a muchos. Las negociaciones bilaterales son interacciones muy importantes, porque pueden erigirse como único mecanismo de negociación entre dos partes, o como complemento final de mejora de otro tipo de mecanismo. Es evidente que independientemente del modelo de negociación que presente un escenario comercial, las interacciones uno a uno en las transacciones comerciales son fundamentales, y en este sentido el máximo interés lo presentan sin duda alguna las negociaciones bilaterales multiatributo.

1.2. Planteamiento de problema

Aunque se han hecho importantes avances en el campo de las negociaciones bilaterales multiatributo, se requiere un esfuerzo todavía mayor para aprovechar todo el potencial real que este tipo de mecanismos pensamos pueden tener. Confiamos además en el carácter transversal de este tipo de mecanismos, en el sentido de que puedan ser utilizados en diferentes tipos de mercados, aunque siendo conscientes de que, al igual que con el resto de mecanismos, no existe un modelo de negociación o estrategia dominante que sea aplicable en todos los dominios. Dado que este tipo de mecanismos están todavía en una fase temprana de desarrollo, una de las problemáticas básicas está en la creación de modelos, protocolos de interacción, mecanismos de decisión y diseño de algoritmos de negociación, que permitan en algún momento la implantación real de sistemas de negociación automática bilateral de forma eficiente. Esta tesis representa un esfuerzo en este sentido, y aunque el dominio de aplicación sobre el que nos hemos centrado es el del comercio electrónico, creemos que las aportaciones pueden ser extensibles a otros dominios.

El problema crítico para un participante en una negociación es decidir qué ofrecer y cómo responder a una oferta. Este es sin duda ninguna el problema fundamental de los procesos

⁶Existen más formas de negociación, como la negociación multilateral (p.ej. negociación de una cita entre varias partes no cooperativas), pero estos protocolos no se usan habitualmente en comercio electrónico.

de negociación bilateral, que tienen su máximo exponente de complejidad en el caso de la negociación sobre múltiples atributos en entornos competitivos. Hay aproximaciones de diversa índole, como por ejemplo aquellas que basan la toma de decisiones en el análisis del comportamiento del oponente [Sycara, 1998]. Otras soluciones están basadas en la búsqueda de la mejor solución actual, es decir, los mecanismos de decisión están fundamentados en la maximización del beneficio actual del agente a partir de sus restricciones, preferencias y la oferta recibida [Faratin *et al.*, 1998, Faratin *et al.*, 2000, Matos *et al.*, 1998, Kowalczyk, 2000, Kowalczyk y Bui, 2000b, Luo *et al.*, 2003b]. Finalmente el otro gran grupo de soluciones es el que aborda la negociación mediante mecanismos de argumentación, que consisten fundamentalmente en la explicación o justificación de la posición tomada por un agente en el proceso de negociación [Jennings *et al.*, 1998].

Cada una de estas aproximaciones tiene sus ventajas e inconvenientes, y dependiendo del escenario de aplicación tendrá un mayor o menor sentido la utilización de cada una de ellas. Sin embargo, no se ha propuesto todavía una aproximación al problema de la negociación bilateral que integre mecanismos de estos tres grupos de forma simultánea en ningún escenario de comercio electrónico. El problema que aborda esta tesis tiene su origen en un supuesto de mercado electrónico genérico, en el que múltiples compradores entablan negociaciones bilaterales con múltiples vendedores para adquirir productos. Se considera además que este mercado es dinámico, lo que significa fundamentalmente que los catálogos de productos de los vendedores varían en función del tiempo, tanto en número como a nivel de valores que toman los atributos de dichos productos. El escenario que se plantea es de interés en los siguientes aspectos: es de posible aplicación en modelos de mercado B2B y B2C; y al utilizar el catálogo de productos como elemento funcional del vendedor, se está siendo realista en el sentido de que en un mercado real el vendedor será más proclive a utilizar catálogos perfectamente especificados, que modelar los productos como funciones o restricciones flexibles de forma analítica. Por otra parte, en el caso del comprador, las restricciones difusas se presentan como la alternativa más adecuada para modelar preferencias o grados de satisfacción. De forma general, una restricción difusa podemos entenderla como un conjunto de valores de un atributo al que se le asigna un determinado grado de satisfacción, de manera que este rango puede ser representado como un conjunto de valores, o como un término lingüístico que representa de forma abstracta un conjunto de valores [Luo *et al.*, 2003c].

La mayor parte de los marcos de negociación bilateral automática asumen que los agentes tienen predefinidas las preferencias, y que éstas son estáticas. En otras palabras, los agentes han decidido a priori qué necesitan de los otros, y cómo diferentes acuerdos satisfacen estas necesidades. El problema se reduce entonces a una búsqueda que sea lo suficientemente satisfactoria para todos los agentes. Sin embargo, los agentes pueden empezar a negociar sin tener un conocimiento completo y preciso acerca de sus preferencias por acuerdos concretos. Un

caso concreto, que guarda relación con el concepto de mercado dinámico mencionado antes, viene dado por la aparición o desaparición de productos del catálogo de un vendedor, o por la evolución de las utilidades asignadas a cada producto como consecuencia de la existencia de factores externos, como por ejemplo el paso del tiempo. Por otro lado, en mercados competitivos, es inherente la necesidad de minimizar la información privada que revelan los agentes. Sin embargo, esta minimización puede hacer poco efectiva la búsqueda de una solución. Sobre todo en el caso de la presencia de múltiples atributos, es posible llegar a acuerdos en un determinado punto de un proceso de negociación, que mejoren las satisfacciones de ambos agentes, mediante una combinación adecuada de restricciones. Sin embargo, las únicas soluciones propuestas a este problema se basan en mecanismos iterativos y de aproximación de baja eficiencia, y aplicables sobre modelos de preferencias basados en funciones continuas. Como alternativa a esta solución, planteamos una solución basada en el concepto de racionalidad comunicativa, en lugar de una racionalidad meramente estratégica, manteniendo como criterio fundamental el de la minimización de la revelación de información privada. El objetivo es dotar a los agentes de la habilidad suficiente para que sean capaces de dialogar, y que puedan modificar sus preferencias durante el propio proceso de negociación. Vamos a basarnos por tanto en una forma de argumentación de propuestas basada en la declaración parcial de preferencias o grados de satisfacción.

1.3. Objetivos y ámbito de las contribuciones

A la luz de las cuestiones que hemos planteado más arriba, la investigación que se presenta en esta tesis comenzó como un intento por responder a la siguiente cuestión:

¿Cómo podemos construir agentes inteligentes capaces de negociar en entornos de comercio electrónico competitivos y dinámicos de forma efectiva, siendo requisito fundamental la minimización de la revelación de información privada?

La hipótesis sobre la que se fundamenta todo el trabajo realizado para intentar responder a esta cuestión, es que mediante un modelo de interacción suficientemente expresivo que permita la argumentación de propuestas mediante la declaración parcial de preferencias, los agentes pueden llegar a acuerdos de mayor calidad, sin que se vea mermado el requisito de minimización de pérdida de privacidad. En este esfuerzo por construir agentes inteligentes negociadores bajo esta hipótesis, nos planteamos las siguientes cuestiones:

¿Qué modelo de preferencias es el apropiado para construir diálogos expresivos que permitan la argumentación mediante preferencias?

¿Cuáles son las primitivas de comunicación necesarias, y cómo deben articularse dichas primitivas?

¿Qué mecanismos de decisión fundamentales hay que definir, y cómo se pueden estructurar para que sean sencillas las implantaciones de nuevos algoritmos que faculten las tomas de decisiones?

¿Es posible definir un modelo general que permita contrastar la utilización de diferentes estrategias de negociación, fundamentalmente diferenciadas en cuanto a la capacidad expresiva de compradores y vendedores?

Para responder a todas estas preguntas se presenta un modelo general de negociación automática bilateral. Dicho modelo viene definido por: un modelo de preferencias o de requerimientos de comprador y vendedor, donde no sólo se modelan las preferencias sobre atributos de productos, sino que se modelan también las actitudes expresivas y estratégicas de los agentes; un modelo de interacción que permite la generación automática de diálogos expresivos o no expresivos, con diferentes grados de simetría, mediante la definición de las correspondientes primitivas de comunicación; y finalmente, un modelo de mecanismos de decisión, adaptado al modelo de interacción y de preferencias de los agentes. Una vez descrito el modelo, se propone una instancia concreta de dicho modelo, en la que los mecanismos de decisión y la lógica de extracción de preferencias son definidos de forma específica, con el objeto de evaluar el modelo, teórica y experimentalmente, y comprobar que la hipótesis es acertada en determinados escenarios.

Para poder responder a todas estas preguntas, hemos desarrollado una plataforma software de negociación automática (Anegsys), que permite instanciar de forma efectiva el modelo presentado. Los objetivos que se plantearon ante el desafío de construcción de dicha plataforma fueron: la implementación de los modelos de interacción, de decisión y de preferencias deben estar suficientemente desacoplados; cada uno de ellos debe construirse sobre una plataforma software que facilite la instanciación; y finalmente, las tecnologías subyacentes deben estar suficientemente extendidas y ser conocidas. De las tecnologías exploradas, hemos optado finalmente por la utilización conjunta de la plataforma de agentes Jade (Java Agent DEvelopment Framework) [Jade, 2006], y de Matlab [Mathworks, 2006]. Toda la lógica de envío y recepción de mensajes entre agentes se ha desarrollado en Java sobre la plataforma Jade, mientras que la implementación de algoritmos de toma de decisiones y la definición de preferencias, se desarrollan sobre Matlab.

Por último, es imprescindible aclarar, que esta tesis no tiene como objeto la definición de un modelo de negocio basado en un mercado electrónico automatizado. Somos conscientes de que el desarrollo real de un modelo de negocio específico requiere que se tengan en cuenta muchos más aspectos, como el de la confianza, la seguridad, o aspectos legales. Así mismo,

esta tesis no trata aspectos relacionados con el modelado de negociaciones humanas, ni la plataforma desarrollada tiene la pretensión de servir como sistema final que permita una implementación práctica de un mercado específico. Las contribuciones de esta tesis pretenden ser una respuesta a un problema de inteligencia artificial distribuida, basado en la resolución de conflictos sobre recursos.

1.4. Esquema de la tesis

Esta tesis se estructura en 6 capítulos de la siguiente manera:

En el Capítulo 1: se ha presentado el ámbito de la tesis.

En el Capítulo 2: se examinan los trabajos de investigación más relevantes. De forma concreta, se discuten diferentes aproximaciones a la negociación bilateral automática sobre sistemas multiagente.

En el Capítulo 3: se presenta un modelo general de negociación automática bilateral, basado en restricciones difusas y diálogos expresivos sobre sistemas multiagente. Para definir el modelo, se abordan en detalle y de manera formal todos los marcos conceptuales utilizados.

En el Capítulo 4: se aborda la instanciación del modelo presentado, mediante la construcción de algoritmos y funciones que permiten la implementación de un sistema de negociación bilateral automático. Se realizan análisis comparativos respecto de aproximaciones previas al problema, y se demuestran ciertas propiedades del sistema.

En el Capítulo 5: se presenta un análisis experimental del marco de negociación propuesto en los capítulos 3 y 4.

En el Capítulo 6: se presentan las conclusiones y se proponen trabajos futuros.

En el Anexo A: se describe la plataforma software de negociación Anegsys que se ha desarrollado para poder implementar el modelo de negociación propuesto.

En el Anexo B: se describe en detalle la implementación del modelo de diálogo definido en el modelo de negociación bajo el estándar FIPA/ACL.

Capítulo 2

Marcos de negociación automática

En este capítulo se describen y analizan las diferentes aproximaciones al problema de la negociación automática. En primer lugar se introduce formalmente el problema de la negociación. A continuación se describen y analizan las aproximaciones y trabajos más destacados.

2.1. Introducción

Una vez definido el tema de investigación en el capítulo anterior, aquí se presentan de forma resumida los trabajos de investigación más relevantes relacionados con la negociación automática en sistemas multiagente. Los trabajos están agrupados en función del tipo de aproximación al problema de la negociación sobre el que se basan.

Como mencionamos en la introducción, la negociación automática entre agentes autónomos es necesaria cuando éstos tienen objetivos que entran en conflicto, y a su vez, tienen deseo de cooperar. En la literatura relacionada con los sistemas multiagente, se han propuesto varios mecanismos de decisión e interacción para el problema de la negociación automática. Aunque existen muchas formas de clasificar las diferentes aproximaciones a la negociación automática (ya vimos una en la introducción), en este caso vamos a adoptar la clasificación descrita en [Jennings *et al.*, 2001], por ser una de las que mejor estructuran el estado del arte en cuanto a la negociación automática. La clasificación define: aproximaciones basadas en teoría de juegos [Kraus, 2001, Rosenschein y Zlotkin, 1994, Sandholm, 2002b]; aproximaciones basadas en heurísticas [Faratin, 2000, Faratin *et al.*, 2002, Kowalczyk y Bui, 2002]; y aproximaciones basadas en argumentación [Kraus *et al.*, 1998, Parsons *et al.*, 1998, Sierra *et al.*, 1998]. Esta tesis representa una aproximación al problema de la negociación automática que toma elementos de las aproximaciones basadas en heurísticas y de las basadas en argumentación.

El capítulo está organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección se presentan varios conceptos esenciales para el entendimiento del problema de la negociación automática. A continuación, en las tres siguientes secciones se discuten las aproximaciones basadas en teoría de juegos, heurísticas y argumentación. En la sección 2.6 se abordan los trabajos previos más directamente relacionados con esta tesis, en concreto, las aproximaciones a la negociación bilateral automática sobre sistemas multiagente basadas en restricciones difusas. El capítulo concluye con un resumen y una descripción de las consideraciones finales.

2.2. El problema de la negociación

Antes de entrar a discutir los diferentes estudios sobre negociación automática, es importante definir el problema de la negociación de manera precisa. El objetivo de esta sección es el de especificar algunos de los conceptos fundamentales utilizados en la literatura sobre negociación automática.

2.2.1. El espacio de soluciones

Como hemos dicho, una negociación persigue la asignación de unos recursos limitados, de forma que esta asignación sea aceptable para todas las partes. Ya que normalmente existen múltiples asignaciones posibles (o acuerdos, o soluciones), una negociación puede entenderse como una búsqueda distribuida a través de un espacio de acuerdos potenciales. Por ello, lo primero que necesitamos es caracterizar este espacio. A un nivel abstracto, el espacio de soluciones puede definirse como un conjunto de acuerdos $\Psi = \{\Omega_1, \dots, \Omega_n\}$ donde n es el tamaño del espacio de búsqueda. Otra forma de caracterizar el espacio de búsqueda es mediante vectores sobre un espacio Euclídeo multidimensional. En esta caracterización, una solución o acuerdo se define mediante un conjunto de atributos A_1, \dots, A_n (dimensión n), donde cada atributo puede tomar un conjunto de valores a_1^i, \dots, a_m^i . A continuación presentamos un ejemplo:

Ejemplo 2.2.1. *Un comprador y un vendedor negocian la compraventa de un vehículo, donde los atributos sobre los que se negocia son el precio y la marca. Suponiendo que el rango de precios sobre el que se puede negociar está comprendido entre 1€ y 60.000€, y las marcas con las que trabaja el vendedor son BMW, Mercedes, y Seat, toda combinación posible será una solución potencial. Por ejemplo, (BMW, 60.000€) o (Mercedes, 58.000€) pertenecen al espacio de soluciones, que en su conjunto vendrá definido por un total de $3 \times 60,000 = 180,000$ posibles acuerdos.*

El espacio crece significativamente a medida que aumenta el número de atributos y el dominio de cada uno de ellos. En escenarios de muchos atributos y dominios de gran rango, considerar todos y cada uno de los posibles acuerdos no es posible. Este punto, como veremos, es una de las motivaciones clave en la utilización de restricciones difusas que operan sobre rangos de valores.

Podemos concluir, que para definir un marco de negociación, es necesario caracterizar de alguna manera el conjunto de posibles acuerdos, y que esta tarea dependerá del dominio de aplicación concreto.

2.2.2. Criterios para la evaluación de acuerdos o soluciones

Dado que un agente negociador representa a un usuario que tiene el deseo de maximizar sus preferencias de alguna manera, es fundamental la evaluación de los acuerdos o soluciones. Esta evaluación pasa por la definición de los criterios que se van a utilizar. Comenzamos en primer lugar con un análisis de los criterios de evaluación individual, y a continuación nos centramos en los criterios de evaluación de carácter global.

2.2.2.1. Evaluación individual. Dada la naturaleza competitiva de un proceso negociador, en el que los diferentes agentes tiene diferentes preferencias en la asignación de recursos, es necesario definir el concepto de *preferencia individual* sobre el conjunto de posibles acuerdos Ψ . Estas preferencias pueden definirse formalmente mediante una relación de preferencia binaria \succeq_i sobre Ψ , donde i hace referencia al agente i . La expresión $\Omega_1 \succeq_i \Omega_2$ expresa que la asignación Ω_1 es al menos tan buena como la asignación Ω_2 para el agente i . También se utiliza la expresión $\Omega_1 \succ_i \Omega_2$ para denotar una preferencia *estricta*, en la que se cumple que $\Omega_1 \succeq_i \Omega_2$, pero no se cumple $\Omega_2 \succeq_i \Omega_1$. Los economistas consideran que una relación de preferencia es *racional* si ésta es a su vez *transitiva* y *completa* [Mas-Colell *et al.*, 1995]. Una relación binaria \succeq es *transitiva* si dado $x \succeq y$ y $y \succeq z$, se cumple que $x \succeq z$; y se dice que es *completa* si para todo x e y , o $x \succeq y$, o $y \succeq x$, o se cumplen ambas.

Por razones de conveniencia, las relaciones de preferencia se expresan de manera habitual mediante *funciones de utilidad* $U_i : \Psi \rightarrow \mathbb{R}^+$, que asignan a cada solución posible un número real. La función de utilidad $U_i(\cdot)$ representa la relación \succeq_i si $U_i(\Omega_1) \geq U_i(\Omega_2)$ sólo es posible cuando se cumple $\Omega_1 \succeq_i \Omega_2$. En este sentido, una función de utilidad captura el *grado o nivel de satisfacción* de un agente dado un acuerdo o solución. Un agente racional (desde un punto de vista económico), intenta alcanzar un acuerdo que maximice su utilidad.

Cuando los agentes no pueden llegar a un acuerdo en el proceso de negociación, se llega a lo que se denomina *solución conflicto* $\Omega_{conflicto}$. Esta solución suele entenderse como aquella en la que la asignación de recursos es la que existía antes de iniciar la negociación.

2.2.2.2. Evaluación global. Hemos discutido como un agente evalúa y compara acuerdos. Ahora nos vamos a centrar en la evaluación global de los acuerdos. El primer concepto es el de *dominancia*. Una acuerdo Ω_1 *domina débilmente* otro acuerdo Ω_2 si para todos los agentes implicados, se cumple que $U_i(\Omega_1) \geq U_i(\Omega_2)$. Un acuerdo Ω_1 *domina estrictamente* (o simplemente *domina*) a Ω_2 si Ω_1 *domina débilmente* Ω_2 y para al menos un agente k , se cumple que $U_k(\Omega_1) > U_k(\Omega_2)$.

Definición 2.2.2. (Acuerdo Racional Individual) Un acuerdo es *individualmente racional* si éste *domina débilmente* a la solución conflicto $\Omega_{conflicto}$.

Esto quiere decir, que un acuerdo individualmente racional es al menos tan bueno para todos los agentes como mantener la asignación inicial de recursos.

Otro concepto clave y de gran utilidad es el de la optimalidad de Pareto, debida al economista italiano Vilfredo Pareto [Pareto, 1906].

Definición 2.2.3. (Acuerdo pareto-óptimo) *Un acuerdo es pareto-óptimo (o pareto-eficiente), si no es dominado por otro acuerdo.*

En otras palabras, un acuerdo es pareto-óptimo si no existe un acuerdo que haga mejorar la utilidad conseguida por un agente, sin hacer empeorar la utilidad conseguida por otro.

2.2.3. Mecanismos de negociación

Dado un conjunto de agentes, un conjunto de recursos, un asignación de tales recursos inicial y un conjunto de posibles asignaciones o soluciones, el objetivo principal de una negociación es encontrar un asignación que sea *mejor* en algún sentido, si tal asignación existe. Para alcanzar este objetivo, los agentes necesitan algún tipo de *mecanismo*. Un mecanismo especifica las reglas de encuentro: qué pueden decir los agentes y cuándo, cómo se calculan las asignaciones, si los cálculos se realizan de forma distribuida o centralizada, etc. . .

Un ejemplo típico de mecanismo es por ejemplo una *subasta Holandesa*. El escenario en este caso viene dado por un vendedor y un número de compradores potenciales. El vendedor dispone de un recurso (por ejemplo un coche), y cada comprador dispone de una determinada cantidad de dinero. El vendedor propone la venta del recurso a un determinado precio. El mecanismo fija unas reglas que se basan en ofertas de venta sucesivas a precios descendentes. La negociación finaliza cuando algún comprador está dispuesto a pagar uno de los precios ofertados.

Otro ejemplo de mecanismo es el *regateo*, donde dos agentes intercambian ofertas hasta que un agente hace una oferta que es aceptable para el otro.

Como vimos en el capítulo de Introducción, diferentes mecanismos tienen diferentes propiedades, siendo deseable el cumplimiento de ciertas propiedades: simplicidad, eficiencia, distribución, simetría, estabilidad, garantía de éxito. . .

Se han estudiado múltiples mecanismos de negociación, con sus ventajas e inconvenientes. A continuación, se discuten las principales familias de mecanismos.

2.3. Aproximaciones a la negociación basada en teoría de juegos

De forma general la teoría de juegos puede dividirse en dos ramas: *cooperativa* y *no cooperativa*. La *teoría cooperativa* se abstrae de las reglas específicas de un juego, y se centra fundamentalmente en la búsqueda de un solución dado un conjunto de posibles resultados. Se requiere que la solución presente o satisfaga una serie de propiedades, como la estabilidad o justicia, que se denominan axiomas. Por ejemplo, un axioma puede ser que dos negociadores consigan la mitad del recurso que se negocia. Por otro lado, la *teoría no cooperativa* aborda la especificación de juegos mediante la definición de un conjunto de reglas y estrategias, que son conocidas de antemano por los participantes. Una estrategia especifica la acción de un jugador en cada paso del juego dado un historial de la negociación. Por ejemplo, la estrategia de un comprador que negocia con un vendedor el precio, puede ser la de ofrecer en cada paso la media aritmética de la oferta realizada previamente y la oferta recibida del vendedor, y aceptar una oferta si es mejor que la propuesta que se va a realizar a continuación.

En esta sección se abordan las aproximaciones a la negociación automática basada en teoría de juegos no cooperativa, que es la que presenta interés desde el punto de vista de esta tesis. En primer lugar se introducen algunos conceptos, y a continuación se emplean dichos conceptos para describir y comentar las aproximaciones a la negociación automática.

2.3.1. Teoría de juegos no cooperativa

La Teoría de Juegos [Osborne y Rubinstein, 1994] es una rama de la economía en la que se estudian las interacciones estratégicas entre agentes económicos.¹ Tiene su origen en el trabajo de Neuman y Morgenstern [von Neuman y Morgenstern, 1944]. De manera más reciente, se ha empleado en el estudio de las interacciones entre agentes software [Rosenschein y Zlotkin, 1994, Sandholm, 2002b].

La Teoría de Juegos proporciona herramientas para desarrollar dos tipos de análisis:

- Análisis del comportamiento óptimo (o estrategias) de individuos u organizaciones dado un mecanismo de asignación de recursos subyacente.
- Análisis de cómo se pueden diseñar mecanismos óptimos, dado que los agentes se comportan de manera estratégica.

2.3.1.1. Análisis del comportamiento estratégico. Un *juego* es una forma de *encuentro estratégico* entre un número de agentes o *jugadores*, donde cada jugador tiene un conjunto de *alternativas* o *acciones* a su disposición. Las reglas del juego especifican las

¹Hacemos referencia a agentes económicos porque la teoría económica se extiende a la interacción entre personas, organizaciones, etc. . . , y no sólo a agentes software.

acciones disponibles, y el resultado del encuentro, basándose en las elecciones hechas por los jugadores.

El ejemplo más popular de la Teoría de Juegos es el denominado *dilema del prisionero* [Poundstone, 1993], donde los jugadores son dos criminales capturados por la policía e interrogados en habitaciones separadas. Los prisioneros no pueden comunicarse, y cada uno de ellos debe tomar una decisión, con consecuencias para ambos. En concreto, cada uno debe elegir si *confiesa* o *no confiesa* el delito. Si ninguno confiesa, se les libera, y se reparten el botín. Sin embargo, si un prisionero confiesa y el otro no, el prisionero que confiesa y testifica contra el otro consigue la libertad y se lleva todo el botín. Por último, si ambos testifican, ambos van a la cárcel, pero menos años que si sólo testifica uno. Podemos formalizar el juego mediante una representación matricial basada en utilidades. De esta forma, podemos asignar un valor 10 a la utilidad máxima, aplicable cuando sólo uno es liberado, 0 a la mínima cuando el prisionero es encarcelado sólo, 3 cuando ambos confiesan, y 5 cuando no confiesa ninguno y se reparte el botín. La tabla 2.1 muestra la matriz de representación de este juego. La primera fila muestra

Tabla 2.1. El Dilema del Prisionero

	no confiesa	confiesa
no confiesa	5	0
confiesa	10	3

las acciones que puede acometer el prisionero 1, mientras que la primera columna muestra las acciones disponibles para el prisionero 2. El número en la esquina superior derecha de cada celda representa la utilidad que consigue el prisionero 1 de la combinación de acciones o *perfil de estrategia* seguido, mientras el número de la esquina inferior izquierda de cada celda es la utilidad que consigue el prisionero 2.

Asumamos ahora que el prisionero 1 conoce el conjunto de acciones disponibles para ambos, y conoce además el conjunto de utilidades de la matriz. El prisionero 1 razona de forma estratégica como sigue: si supone que el prisionero 2 no confiesa, debe confesar, y así conseguir utilidad 10; si el prisionero 2 confiesa, debe confesar también y conseguir utilidad 3, porque si no la utilidad será 0. En resumen, independientemente de lo que haga el prisionero 2, lo mejor que puede hacer es confesar. Por lo tanto la *estrategia dominante* para el prisionero 1 es confesar. El análisis realizado es idéntico para el caso del prisionero 2. En definitiva, si ambos prisioneros actúan de forma racional, confiesan y consiguen una utilidad 3. Sin embargo, ambos prisioneros consiguen menos utilidad que si ninguno de los dos hubiese confesado, en cuyo caso la utilidad para ambos sería 5 (esta solución domina de forma estricta a la anterior).

Aquí aparece un concepto fundamental denominado *equilibrio*. Vamos a destacar tres formas de equilibrio ampliamente utilizadas: estrategia dominante, Nash y “*subgame perfect*”.

El equilibrio de estrategia dominante viene definido por el conjunto de estrategias (una para cada jugador), que es la óptima para cada jugador independientemente de las estrategias de los otros jugadores. Las estrategias elegidas por todos los jugadores se dice que están en equilibrio Nash si ningún jugador puede obtener beneficio mediante el cambio unilateral de su estrategia. En el caso del dilema del prisionero, las estrategias de confesión mutua están en equilibrio Nash. Un equilibrio “*subgame perfect*” refina el equilibrio Nash para el caso de juegos con una estructura en árbol en la que los jugadores actúan de forma secuencial. En este equilibrio las estrategias para cada subjuego del árbol constituyen un equilibrio Nash. Un juego es *completo* si las preferencias de un jugador son conocidas por todos los demás, de otra manera se denomina *incompleto*. En negociaciones multiatributo la información de preferencias incluye también la importancia de cada atributo y cómo cada uno se compensa con los demás. En el caso de escenarios competitivos de comercio electrónico, nuestro interés está en el caso de información incompleta bilateral, es decir, ninguno de los agentes conoce de forma completa las preferencias del otro.

2.3.1.2. Diseño de mecanismos. Comprende el diseño de mecanismos de asignación de recursos, en el que cada agente se comporta con el objetivo de maximizar su utilidad. Los diseñadores analizan el comportamiento estratégico, utilizan las nociones de estrategias dominantes, equilibrios, etc. . . , con el objeto de crear mecanismos que tengan ciertas propiedades.

Un ejemplo de propiedad es la denominada “*incentive compatible*”. Se dice que un mecanismo es “*incentive compatible*” si bajo él, la estrategia dominante para todos los agentes es decir la verdad acerca de sus preferencias o *tipos*. Este es un concepto muy potente, ya que garantizando esta propiedad, los diseñadores pueden asegurar que los agentes no pueden manipular estratégicamente el resultado mintiendo acerca de sus preferencias. Esta propiedad es un ejemplo del requerimiento de estabilidad mencionado en el capítulo de Introducción.

2.3.2. Teoría de juegos en negociación automática

La teoría de juegos ofrece herramientas para el estudio de las interacciones estratégicas entre agentes de forma general, y para la negociación automática de forma particular [Binmore y Vulkan, 1999]. En concreto, el campo del diseño de mecanismos computacionales emplea técnicas de diseño de mecanismos con el objeto de construir mecanismos para la asignación de recursos en sistemas multiagente [Dash *et al.*, 2003]. A continuación se hace un recorrido de algunos de los usos más importantes de la teoría de juegos en el campo de la negociación automática.

2.3.2.1. Una teoría de dominios para la negociación automática. Quizás el trabajo más importante centrado en el diseño de mecanismos para el estudio de la

negociación automática es el de Rosenschein y Zlotkin [Rosenschein y Zlotkin, 1994]. Los autores presentan una *teoría de dominios* para la negociación automática, que distingue tres diferentes dominios:

- Dominios orientados a tareas: implican la división de la ejecución de tareas. Las medidas de utilidad vienen dadas en términos de costes asociados con las diferentes asignaciones. Los agentes intentan minimizar el coste de las tareas que tienen que ejecutar.
- Dominios orientados a estados: implican la toma de decisiones conjuntas acerca de qué estados van a alcanzar los agentes. Las medidas de utilidad se dan en términos de preferencia sobre los diferentes estados que se alcanzan a partir de diferentes acuerdos. Cada agente intenta conseguir un estado preferente para él.
- Dominios orientados al valor: implican la toma de decisiones conjuntas acerca de qué objetivos conseguir. Las medidas de utilidad vienen dadas en términos del número de objetivos que se alcanzan con cada acuerdo. Cada agente intenta conseguir tantos objetivos como sea posible.

Los autores utilizan conceptos de teoría de juegos y teoría de diseño de mecanismos para estudiar las estrategias de los agentes en diferentes dominios, y bajo diferentes mecanismos. Abordan de forma particular el diseño de mecanismos centralizados que generan resultados basados en la información que los agentes revelan acerca de ellos mismos. Se demuestra que en determinadas ocasiones, los agentes pueden beneficiarse de la manipulación estratégica, por ejemplo mintiendo acerca de las tareas que tienen que realizar, o acerca de sus preferencias sobre diferentes estados. Este análisis se emplea para diseñar mecanismos “*incentive compatible*”. Sin embargo, estos mecanismos están restringidos por ciertas condiciones. Por ejemplo, los mecanismos que proponen son “*incentive compatible*” cuando los agentes tienen información incompleta acerca de las preferencias sobre estados, pero no en el caso de información incompleta sobre los objetivos de los demás.

2.3.2.2. Mecanismos para subastas combinatorias. En [Sandholm, 2002b] Sandholm utiliza técnicas de teoría de juegos para construir eMediator, un servidor de comercio electrónico que permite la asignación de recursos entre múltiples agentes. eMediator incluye eAuctionHouse, un servidor de subasta configurable que puede manejar subastas combinatorias (se subastan combinaciones de elementos), y eComitter, que es un optimizador de contratos que determina el precio y las penalizaciones óptimas, teniendo en cuenta que los agentes puede romper el contrato de forma estratégica. En otro trabajo relacionado, Sandholm [Sandholm, 2002a] presenta un algoritmo para la determinación del ganador óptimo en subastas combinatorias.

2.3.3. Limitaciones de la teoría de juegos

En el análisis basado en teoría de juegos, se intenta determinar la estrategia óptima analizando la interacción como un juego entre participantes idénticos, y buscando su equilibrio. La estrategia determinada mediante estos métodos puede ser óptima dadas unas reglas, las utilidades, y los objetivos de los participantes, y asumiendo que los participantes no tienen conocimiento de ningún otro a excepción del conocimiento elaborado por introspección.

Esta teoría asume, entre otras cosas, que los agentes:

- Tienen recursos de computación ilimitados.
- Conocen al completo el espacio de resultados o soluciones.
- Son optimizadores de la utilidad en el sentido de la teoría de elección racional [Coleman, 1990].

Desde una perspectiva computacional, estas suposiciones no son realistas. La primera suposición implica que no hay costes de comunicación o de cálculo para alcanzar un acuerdo. Sin embargo, en los entornos informáticos más realistas, esta suposición no es cierta debido a la capacidad limitada de los sistemas informáticos. El tamaño del conjunto de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de atributos, y con el número de valores para cada atributo. Calcular y evaluar todos y cada uno de los posibles acuerdos se hace a veces inviable. De forma similar, en una negociación, el intercambio de todas las posibles ofertas puede no ser práctico, dadas las limitaciones de ancho de banda y tiempo. Sin embargo, los modelos de teoría de juegos no proporcionan una manera de tener en cuenta estos costes y estudiar su impacto sobre las decisiones estratégicas.

La segunda suposición implica que los agentes no sólo tienen capacidad de cómputo ilimitado, sino que también disponen de toda la información de preferencias necesaria para la evaluación de soluciones. En muchos dominios sin embargo puede no ser práctica la especificación completa de preferencias del agente.

La tercera suposición implica que el agente siempre toma decisiones que optimizan su utilidad. Un agente siempre piensa en la estrategia óptima para el oponente, y a continuación deduce la mejor respuesta. Sin embargo, los agentes pueden tener recursos limitados, ser altruistas, maliciosos, o simplemente estar mal programados, de tal manera que el comportamiento del oponente puede no seguir la suposición de teoría de decisión racional.

La teoría de juegos también puede criticarse desde el punto de vista de la ingeniería del software. Ésta aborda fundamentalmente lo que constituye una decisión óptima dada la descripción de un juego. Sin embargo, no dice nada acerca de cómo implementar agentes que razonan de forma óptima.

Es importante apuntar que hay una subárea dentro de la teoría de juegos, denominada “evolutionary game theory” [Samuelson, 1998], que trata algunas de las limitaciones discutidas anteriormente. Esta teoría relaja la suposición de racionalidad ilimitada. En lugar de calcular estrategias óptimas, los juegos se desarrollan de forma repetida y mediante prueba y error se descubren las estrategias que trabajan mejor que otras. Sin embargo, otras suposiciones, como la disponibilidad de funciones de preferencia se siguen manteniendo.

2.4. Aproximaciones a la negociación basada en heurísticas

Cuando se relajan algunos de los supuestos que se aplican en teoría de juegos, principalmente los relacionados con la racionalidad ilimitada, inmediatamente nos salimos del ámbito predecible de la teoría de juegos clásica. Esto significa que conseguir resultados analíticos acerca de estrategias óptimas es en la mayor parte de las ocasiones inviable. En su lugar, se desarrollan estrategias aproximadas o heurísticas con las que se persiguen *buenos* resultados en lugar de resultados *óptimos*. En las aproximaciones heurísticas, el estudio de las propiedades de las diferentes estrategias se basa en la experimentación mediante la simulación. La aprobación de una determinada heurística viene dada por la comparación empírica con otras heurísticas [Kraus, 2001, Faratin, 2000]. Las aproximaciones heurísticas se han aplicado tanto a mecanismos de negociación bilateral como a mecanismos basados en subastas. En la siguiente sección se describen los principales trabajos dentro de esta categoría.

2.4.1. Heurísticas en negociación automática

Faratin, Sierra y Jennings desarrollan y analizan en una serie de artículos [Faratin, 2000, Faratin *et al.*, 2000, Sierra *et al.*, 1997] un conjunto de métodos heurísticos utilizados en el marco de una negociación orientada a servicios. En este marco, se diseñan diferentes funciones de decisión que se utilizan para evaluar y generar ofertas en una negociación multiatributo [Faratin *et al.*, 1998]. En lugar de explorar todos los acuerdos posibles, se intercambian ofertas que se generan a partir de funciones heurísticas que dependen de plazos de tiempo y de la disponibilidad de recursos. En un trabajo posterior, con el objeto de mejorar la convergencia hacia una solución, se presenta un método que permite que un agente genere ofertas similares a las ofertas previas recibidas por el otro agente [Faratin *et al.*, 2002]. Este método se basa en la suposición de que el envío de ofertas similares a ofertas previas recibidas, serán probablemente de mayor aceptación para el oponente.

Kowalczyk y Bui [Kowalczyk y Bui, 2000b] presentan un modelo de negociación con mecanismos de decisión basados en problemas de satisfacción de restricciones distribuidas [Yokoo, 2001]. Se emplean heurísticas utilizadas en el ámbito de los problemas de satisfacción

restricciones para mejorar el proceso de generación y evaluación de ofertas. Posteriormente se extendió este trabajo a la utilización de restricciones difusas [Kowalczyk, 2000] y al caso de múltiples negociaciones concurrentes [Rahwan *et al.*, 2002]. La utilización de problemas de satisfacción de restricciones difusas para el caso de negociaciones bilaterales asimétricas es abordada en gran detalle por Luo [Luo *et al.*, 2003b].

Por su parte Kraus [Kraus, 2001] presenta un marco de negociación automática basado en el modelo de Rubinstein de ofertas alternas [Rubinstein, 1982, Rubinstein, 1985]. Este marco se aplica a problemas de asignación de datos, asignación de recursos y distribución de tareas, y se verifica mediante simulación y en cierta medida mediante el contraste con conceptos de teoría de juegos. En trabajos relacionados, Fatima [Fatima *et al.*, 2001, Fatima *et al.*, 2002, Fatima *et al.*, 2003, Fatima *et al.*, 2004, Fatima *et al.*, 2005] estudian la influencia de la información y de las restricciones de tiempo en las negociaciones bajo un modelo heurístico concreto.

Por último, en [Sycara, 1998, Li *et al.*, 2003, Tesauro, 2002] se estudia la importancia del aprendizaje, y en cómo modelar el comportamiento del oponente puede representar una mejora en la eficiencia de las negociaciones bilaterales.

2.4.2. Limitaciones de las aproximaciones heurísticas

Los métodos heurísticos solventan muchos de los inconvenientes de las aproximaciones basadas en teoría de juegos. Sin embargo, presentan también desventajas [Jennings *et al.*, 2001]. En primer lugar, los modelos llegan a soluciones que son subóptimas porque adoptan una noción aproximada de racionalidad y porque no examinan el espacio completo de posibles soluciones. Y segundo, es muy difícil predecir de manera precisa cómo se van a comportar los agentes. Por ello, los modelos necesitan una evaluación extensa mediante simulaciones y análisis empíricos.

Otra limitación de las aproximaciones heurísticas es que, como en las aproximaciones de teoría de juegos, se asume que los agentes conocen o saben lo que quieren. En otras palabras, los agentes tienen una forma correcta y precisa de calcular la calidad de los resultados o soluciones de una negociación, normalmente mediante el uso de funciones numéricas de utilidad. Como argumentaremos en la siguiente sección, este requerimiento no puede ser siempre satisfecho, en cuyo caso se necesitan técnicas alternativas.

2.5. Aproximaciones a la negociación basada en argumentación

Mencionamos en el capítulo de Introducción cómo una de las propiedades deseables de un mecanismo de negociación es la flexibilidad, que se fundamenta en la capacidad de los agentes para refinar sus procesos de toma de decisiones y cálculo de preferencias durante la propia negociación. En la siguiente sección vamos a realizar un análisis que pretende demostrar que las aproximaciones heurísticas y de teoría de juegos no satisfacen esta propiedad. A continuación presentaremos el marco de las *negociaciones basadas en argumentación* (ABN), que tienen el potencial de solventar esta limitación.

2.5.1. Análisis de flexibilidad en modelos heurísticos y de teoría de juegos

Las aproximaciones heurísticas y de teoría de juegos a la negociación automática, asumen en la mayor parte de las ocasiones que las utilidades de los agentes o preferencias están perfectamente caracterizadas antes de la interacción. La clave es disponer de un mecanismo que permita valorar y comparar las propuestas. Esto es relativamente sencillo por ejemplo cuando la utilidad es definida en términos monetarios. Sin embargo, en situaciones de negociaciones complejas, la información que poseen los agentes puede ser incompleta, lo que de alguna manera limita su capacidad de decisión. Por ejemplo, los agentes podrían:

- tener recursos limitados para tener toda la información,
- tener la información, pero no tener tiempo suficiente para poder hacer el análisis,
- tener creencias inconsistentes o inciertas acerca del entorno,
- carecer de preferencias completamente formadas (p.ej. un vendedor espera recibir de forma explícita la valoración de un comprador para declinar su preferencia por una venta),
- tener preferencias incoherentes.

Existen un gran número de situaciones como las descritas arriba que se dan en el mundo de las negociaciones entre humanos. Por ejemplo, los consumidores construyen sus preferencias basándose en la información de que disponen. La adquisición y modificación de preferencias son el resultado de la interacción con el entorno y con otros consumidores [Lilien *et al.*, 1992]. La publicidad capitaliza esta idea, y puede entenderse como un proceso de argumentación en la que los publicistas intentan persuadir a los consumidores para que cambien sus preferencias entre los diferentes productos [Slade, 2002].

Entre humanos, los procesos de adquisición de información, de resolución de incertidumbres, y de revisión de preferencias a menudo suceden como parte del mismo proceso de

negociación. Sin embargo, en las aproximaciones de teoría de juegos y heurísticas pasa lo siguiente:

- Los agentes intercambian propuestas o acuerdos potenciales. Un ejemplo puede ser la promesa que efectúa un comprador que puja en una subasta inglesa, y se compromete a pagar un precio por un producto, una asignación de valores para todos los atributos en una subasta multidimensional, o una oferta en un encuentro bilateral. En cualquier caso los agentes no pueden intercambiar información adicional al margen de la definida en la propuesta.
- Se asume que las preferencias y utilidades de los agentes son fijas. Un agente racional modifica sus preferencias si recibe nueva información, y los mecanismos tradicionales no facilitan este intercambio de información.
- Las preferencias de los agentes sobre propuestas se asume que son apropiadas en el sentido de que reflejan un beneficio verdadero. Por ejemplo, un agente que intenta comprar un coche puede asignar un gran valor a una marca concreta, basándose en la creencia falsa de que los coches de esta marca son más seguros.

Las aproximaciones basadas en argumentación tienen como objetivo cubrir estas limitaciones permitiendo a los agentes el intercambio de información adicional, con el objeto de influir en las actitudes mentales y creencias de los otros agentes durante el proceso de negociación.

2.5.2. Argumentos en una negociación

En el contexto de una negociación, un argumento puede entenderse como una metainformación que persigue hacer más atractiva o aceptable una propuesta [Jennings *et al.*, 2001, Jennings *et al.*, 1998]. La naturaleza y tipos de argumentos pueden variar enormemente (ver [Sycara, 1989, Kraus *et al.*, 1998] para más detalle). Sin embargo, las categorías más habituales incluyen: *amenazas* (no aceptar la propuesta significa algo negativo), *recompensas* (aceptar la propuesta significa algo positivo), o *apelaciones* (se debería aceptar una opción sobre otra alternativa por algún motivo). En [Jennings *et al.*, 1998] un argumento es definido como un elemento de información que permite a un agente: *justificar* su posición o *influir* la posición del otro agente. De cualquier forma, la justificación es un intento de influir también la posición del otro agente, y la diferencia estriba en el grado de recursión de las justificaciones. Veamos esto con dos ejemplos, uno para el caso de la justificación, y otro para el caso de la influencia.

COMPRADOR: *Me gustaría alquilar un coche durante una semana.*

VENDEDOR: *Disponemos de un Mercedes Clase E a buen precio.*

COMPRADOR: *Tengo un presupuesto limitado a 100€.*

En este caso, en lugar de rechazar de plano la oferta del vendedor, se justifica el rechazo mediante una crítica a la propuesta. El vendedor debería ajustar la propuesta a presupuestos cercanos al mencionado por el comprador. Veamos ahora el caso de la utilización de un argumento de influencia:

COMPRADOR: *Me gustaría alquilar un coche durante una semana.*

VENDEDOR: *Disponemos de un Mercedes Clase E a buen precio.*

COMPRADOR: *¡Demasiado coche!*

VENDEDOR: *La relación calidad de precio hace que merezca la pena.*

En este ejemplo el vendedor intenta modificar la creencia del comprador acerca de la conveniencia de alquilar un coche de gama alta. Queda patente sobre todo en este segundo ejemplo, que el desafío que plantea el diseño de agentes negociadores capaces de argumentar es muy importante. Mientras los tres primeros mensajes podrían traducirse sin problemas a un lenguaje numérico, el último mensaje del vendedor requiere de una infraestructura semántica muy sofisticada.

2.5.3. Estructura de los mecanismos de las negociaciones basadas en argumentación

En esta sección se describen los elementos esenciales en el diseño de marcos de negociación basados en argumentación. Esta descripción va a ayudar a estructurar el ámbito de investigación de esta tesis, y a identificar las vías principales de investigación abiertas en este campo.

2.5.3.1. Lenguajes de comunicación y lenguajes del dominio. Un marco de negociación requiere un lenguaje que facilite la comunicación. No en vano, la negociación es por definición una forma de interacción entre agentes. Los elementos de un *lenguaje de comunicación* son denominados normalmente *locuciones*, *declaraciones* o *actos del habla* [Searle, 1969, Traum, 1999]. En teoría de juegos y en aproximaciones heurísticas las locuciones que normalmente se emplean son: **propose** para hacer propuestas, **accept** para aceptar propuestas, y **reject** para rechazar propuestas. En marcos ABN los agentes necesitan una comunicación más rica y lenguajes de dominio capaces de permitir el intercambio de metainformación. La tabla 2.2 presenta las diferencias fundamentales entre los marcos ABN y no-ABN al respecto de los lenguajes de comunicación y dominio.

En los sistemas multiagente existen dos propuestas fundamentales para el caso de los lenguajes de comunicación: el Knowledge Query and Manipulation Language (KQLM), y

el denominado Foundation for Intelligent Physical Agents' Agent Communication Language (FIPA ACL) [Mayfield *et al.*, 1996, FIPA, 2002a]. FIPA ACL ofrece un total de 22 locuciones diferentes, donde el contenido del mensaje puede venir definido en cualquier lenguaje de dominio. Un mensaje FIPA viene definido fundamentalmente por el tipo de locución, el remitente y los destinatarios del mensaje, y el lenguaje que se utiliza en el contenido o content del mensaje. A modo de ejemplo, el mensaje $\text{propose}(i, j, \gamma, L)$ representa una locución emitida por el agente i destinada a otro agente j , en el que se expresa una propuesta descrita según el lenguaje L mediante γ . Existen locuciones para expresar aceptación, rechazo, solicitudes de propuesta, peticiones, consultas, afirmaciones, declaraciones, etc. . . FIPA ACL ha definido la semántica en forma de pre y post condiciones para cada una de las locuciones. Esta semántica está basada en la teoría de actos del habla, debida a los filósofos John Austin [Austin, 1962] y John Searle [Searle, 1969].

Sin duda ninguna, el principal beneficio de FIPA ACL es su aceptación más o menos extendida dentro del campo de los sistemas multiagente como estándar de lenguaje de comunicación. Sin embargo, falla a la hora de capturar toda la semántica necesaria para ser aplicada en protocolos de negociación. Por ejemplo, no existen locuciones para expresar amenazas, deseos, preferencias, etc. . . Este es en concreto un problema con el que nos hemos tenido que enfrentar a la hora de diseñar la plataforma de simulación implementada en este tesis. Afortunadamente existe una solución consistente en la construcción de un lenguaje de dominio que se puede incluir en el contenido de las locuciones. Esta construcción pasa por la creación de una ontología que recoja toda la semántica que nos sea necesaria. Sin embargo, conviene dejar claro, que la semántica definida no forma parte del propio lenguaje de comunicación. Para clarificar estos conceptos pensemos en la siguiente locución que pretende ser una expresión de deseo de compra: $\text{request}(j, i, \text{sell}(i, \alpha), \text{sell}(i, \alpha) \rightarrow \text{pay}(j, \beta))$. En la locución definida el agente j solicita al agente i la realización de una venta de un producto α , y se afirma que ante el cumplimiento de dicha acción, j realizará una acción consistente en pagar β . Esta locución presenta sin embargo alguna laguna, por ejemplo, la solicitud no matiza si la petición o solicitud es una promesa o una preferencia. Si hacemos más rico

Tabla 2.2. Lenguajes de Comunicación y Dominio en marcos ABN vs no-ABN

	Marcos no-ABN	Marcos ABN
Lenguaje de Dominio	Define sólo propuestas.	Define propuestas y metainformación relativa a preferencias, objetivos, creencias, . . .
Lenguaje de Comunicación	Las locuciones permiten a los agentes enviar solicitudes de ofertas, propuestas, aceptaciones y rechazos.	Las locuciones permiten el paso de metainformación o de forma separada o en conjunción con otras locuciones.

el lenguaje de comunicación, y sustituimos la locución `request` por la locución `promise` o `prefer`, podemos conseguir el efecto deseado, sin tener que delegar en el lenguaje de dominio. En [Ramchurn *et al.*, 2003, Sierra *et al.*, 1998] por ejemplo se proporcionan, entre otras, locuciones (no son FIPA ACL) para expresar amenazas o promesas.

2.5.3.2. Protocolos de negociación. Dado un lenguaje de comunicación y dominio, un marco de negociación debe especificar un *protocolo de negociación* que regule el uso de estos lenguajes [Jennings *et al.*, 2001]. Esta regulación del lenguaje se puede entender como un conjunto de reglas que gobiernan las interacciones entre los participantes. Estas reglas especifican en cada fase del proceso de negociación quién tiene permiso para decir una determinada cosa. Por ejemplo, después de realizar una propuesta, el otro agente puede aceptar dicha propuesta, rechazarla, solicitar su relajación, pero no realizar una contrapropuesta o ignorarla. Las reglas del protocolo pueden depender de un histórico de locuciones previas más o menos extenso.

Basándonos en [Jennings *et al.*, 2001, Esteva *et al.*, 2001] definimos los siguientes grupos de reglas que pueden formar parte de un protocolo de negociación:

Reglas de admisión: especifican cuándo un agente puede participar en una negociación y bajo qué condiciones.

Reglas de abandono de negociación: especifican cuándo un agente puede abandonar una negociación, por ejemplo, tras 5 minutos de negociación.

Reglas de terminación: especifican cuándo termina una negociación, por ejemplo, cuando se alcanza un acuerdo.

Reglas de validez de propuestas: especifican las condiciones que debe presentar una propuesta, por ejemplo, no es posible generar una propuesta realizada previamente.

Reglas para la determinación del resultado: especifican el resultado de la interacción. En un marco de subastas por ejemplo, consistiría en la especificación de la oferta ganadora. En una negociación bilateral, sería por ejemplo el envío de la locución `agree_to_buy` por parte de un comprador.

Reglas de compromiso: especifican la política de compromisos del marco de negociación, es decir, si un agente puede o no romper un compromiso, y en caso afirmativo bajo que circunstancias. Esto guarda relación directa con la gestión de inconsistencias entre locuciones previas y actuales.

Los protocolos de negociación pueden especificarse mediante un formato explícito, o estar implícito en la especificación de los agentes. A priori, los formatos explícitos están abiertos

a una mayor interoperabilidad porque su semántica se hace más independiente de las implementaciones de los agentes. En esta tesis se ha optado por una aproximación explícita basada en *juegos de diálogo (dialogue games)* [Amgoud *et al.*, 2000b, Amgoud y Parsons, 2001, McBurney *et al.*, 2003]. Los juegos de diálogo son interacciones entre dos o más jugadores, donde cada jugador hace un movimiento mediante la locución en un lenguaje de comunicación común, y acorde a un conjunto de reglas predefinidas. Los juegos de diálogo tienen su origen en el campo de la filosofía de la argumentación [Hamblin, 1970], y han sido utilizados en múltiples trabajos para diseñar protocolos en sistemas multiagente [Parsons y Jennings, 1996, Dignum *et al.*, 2000].

2.5.4. Estructura de los agentes en las negociaciones basadas en argumentación

Antes de presentar la estructura genérica de un agente negociador ABN, vamos a presentar la estructura clásica de un agente negociador. Este agente clásico lo entendemos como un agente en el que sus interacciones dependen fundamentalmente del intercambio de propuestas, como es el caso de una negociación bilateral por regateo. La figura 2.1 representa la estruc-

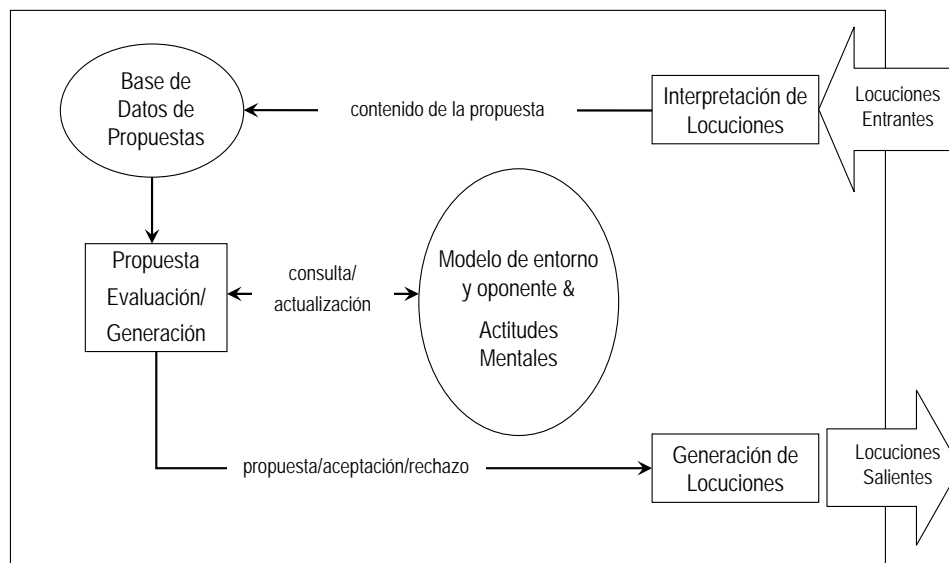


Figura 2.1. Elementos de un Agente de Negociación Clásico

tura de este agente clásico. Según esta estructura, los mensajes procedentes de otros agentes son procesados por un módulo de interpretación, que tendrá que distinguir fundamentalmente entre proposiciones, aceptaciones o rechazos, y la procedencia de los mensajes (en casos de múltiples remitentes). Los mensajes de aceptación implican normalmente la finalización de la negociación, mientras que los rechazos o las propuestas pueden almacenarse en una

base de datos de propuestas. Las propuestas o rechazos se pasan a continuación al módulo de evaluación y generación de propuestas, que en último lugar toma la decisión de aceptar, rechazar o generar una contrapropuesta, e incluso terminar una negociación. Finalmente este módulo alimenta el módulo de generación de locuciones que se encarga de dar forma a la respuesta que se envía al otro agente. En implementaciones más sofisticadas los agentes pueden mantener una base de datos de conocimiento del dominio, que aglutina un modelo del entorno y del oponente, y un perfil de actitudes mentales (creencias, deseos, preferencias, . . .) [Wooldridge, 2002]. Este conocimiento puede ser utilizado en la evaluación y generación de propuestas. Sin embargo, las actualizaciones de la base de datos de conocimiento están limitadas debido a que la información de que dispone el agente durante las interacciones tiene su origen en:

- Propuestas del oponente.
- Rechazos a propuestas.
- Modificaciones del entorno (p.ej. en un vendedor el catálogo de productos se ve modificado por la entrada de nuevos productos).

Por último conviene puntualizar que dos o más agentes clásicos que negocian no tienen por qué tener la misma estructura descrita, debido fundamentalmente a que dependiendo del grado de simetría serán de utilidad algunos módulos o no. Por ejemplo, un vendedor al que sólo se le permita emitir un mensaje de rechazo o aceptación no necesitará de un módulo de generación de propuestas. De cualquier forma, el esquema presentado no pretende ser una generalización, sino un esquema orientativo que permita entender el problema de la negociación.

En la figura 2.2, se presenta la estructura de un agente ABN, en el que como rasgo fundamental los agentes tienen la posibilidad de intercambiar metainformación de forma explícita, de alguna manera podemos hablar de un incremento de la expresividad de los agentes [Lopez-Carmona y Velasco, 2006a]. Este aspecto puede tener influencia directa sobre la base de conocimiento del agente. Así, además de evaluar y generar propuestas, un agente capaz de entablar una negociación basada en argumentos debe estar equipado con mecanismos para evaluar y generar argumentos. Si una locución contiene un argumento, se invoca un mecanismo de evaluación o interpretación que actualiza el estado mental del agente. En función de esta actualización el agente puede generar nuevas propuestas, de forma que cobra un sentido mucho mayor la reevaluación de propuestas previas que pueden incluso haber sido rechazadas antes. Podemos intuir, como ejemplo, que en entornos de mercado electrónico dinámicos, esta reevaluación puede cobrar un interés notable. Como resultado de la evaluación de propuestas, el agente puede generar nuevas propuestas o contrapropuestas, un rechazo o aceptación, y nuevos argumentos que pueden acompañar a dichas propuestas. Por ejemplo, tras una decisión de rechazo, se puede introducir un argumento que describa los motivos de dicho rechazo.

De manera intuitiva, y como podremos comprobar de forma experimental mediante la propuesta realizada en esta tesis, esta realimentación argumental puede ayudar en la eficiencia y calidad de los acuerdos conseguidos en procesos de negociación automática.

En conclusión, además de las capacidades de agentes clásicos, un agente ABN debe ser capaz de:

- Evaluar los argumentos recibidos y actualizar el estado mental de forma acorde.
- Generar argumentos para enviar a los otros participantes.

2.5.5. Algunos marcos de negociación basada en argumentación

En esta subsección se van a presentar de forma general algunos de los marcos de negociación basada en argumentación sobre sistemas multiagente más destacados, para centrarnos finalmente en el trabajo de McBurney [McBurney y Parsons, 2002, McBurney *et al.*, 2002, McBurney *et al.*, 2003, McBurney y Parsons, 2003], que toca aspectos fundamentales de nuestra investigación, en lo relativo fundamentalmente a locuciones y protocolos de interacción.

Sierra en [Sierra *et al.*, 1998] presentaron un marco ABN en un escenario de gestión de procesos de negocio. El lenguaje de comunicación contenía locuciones de la forma *locucion (remite, destinatario, contenido, tiempo)*, para expresar peticiones, aceptaciones, rechazos, abandonos, amenazas, recompensas y declaraciones. En términos de estrategias de diálogo los autores definen dos estrategias basadas en la autoridad, de forma que un agente de mayor autoridad ejerce su potestad sobre agentes de menor autoridad. Así, los agentes autoritarios manejan amenazas que los agentes de menor jerarquía aceptan como argumentos válidos.

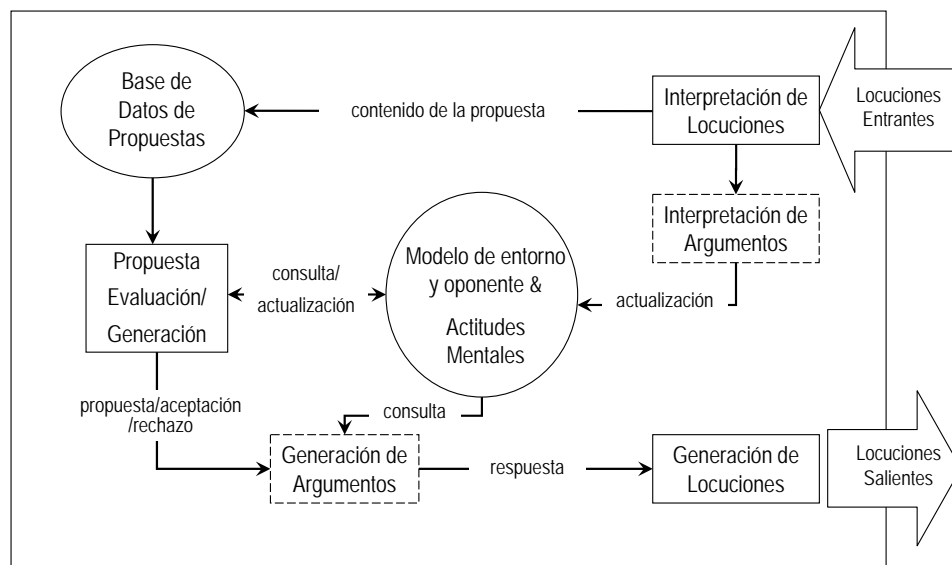


Figura 2.2. Elementos de un Agente de Negociación ABN

Esta especificación está basada en la suposición de que en un dominio de gestión de procesos de negocio, el concepto de autoridad es el único capaz de determinar la potencia de un argumento. En Ramchurn [Ramchurn *et al.*, 2003] los autores, basándose en la aproximación anterior, elaboraron un marco de negociación basado en la confianza puesta en el emisor de un argumento y en una función de utilidad. Mediante esta aproximación la evaluación de los argumentos se basa en criterios subjetivos. Parsons en [Parsons *et al.*, 1998] presentan un marco ABN en el contexto de agentes de negociación que siguen el principio belief, desire, intention (BDI). Este marco es más expresivo que los anteriores, porque permite distinguir a los agentes entre creencias, deseos e intenciones. Este marco ha sido posteriormente extendido por Leila Amgoud en [Amgoud *et al.*, 2000b]. El protocolo permite la utilización de locuciones para expresar peticiones, rechazos, promesas y preferencias. El problema de este marco de negociación es que requiere que los agentes sean cooperativos, de forma que no es apropiado en nuestro caso.

2.5.5.1. Diálogos automáticos. Por último vamos a hacer referencia al trabajo de McBurney en [McBurney *et al.*, 2003] en el que se presenta un marco para la negociación automática en escenarios de compraventa de productos. En realidad este trabajo no se restringe a una teoría concreta de argumentación, y está centrada fundamentalmente en el desarrollo de un marco de protocolos de interacción y locuciones. El objetivo central de este trabajo es presentar un modelo basado en un conjunto de locuciones y un protocolo general con el que generar diálogos automatizados aplicables en escenarios de comercio electrónico. El artículo demuestra que si los mecanismos que se definen en los agentes satisfacen ciertas condiciones, establecidas conforme a lo que se denominan reglas de transición, y se sigue el protocolo de interacción establecido haciendo uso de las locuciones correspondientes, se pueden generar diálogos automáticos en este tipo de escenarios.

El marco descrito define tres tipos de agentes: *compradores*, *vendedores* y *consejeros*. El rol de los consejeros es el de proporcionar información a los compradores acerca de los productos que se pueden adquirir. Un diálogo está estructurado según las siguientes fases:

1. **Open Dialogue**
2. **Inform:** el comprador busca información acerca de posibles ofertas de venta y sus atributos.
3. **Seek Criteria:** el comprador busca información acerca de qué criterios son apropiados para evaluar e incluir ofertas potenciales. Se pueden buscar las razones que motivan las sugerencias de criterios recibidas y entrar en un debate al respecto.
4. **Assess Criteria:** se valoran los criterios obtenidos en la fase anterior y se obtiene una lista final con los criterios apropiados para poder evaluar ofertas.

5. **Form Consideration Set:** el comprador aplica los criterios de inclusión sobre los productos recibidos para generar lo que se denomina un conjunto de consideración.
6. **Select Options:** el comprador aplica los criterios de selección sobre las ofertas almacenadas en el conjunto de consideración para generar la oferta preferida.
7. **Negotiate:** se desarrollan procesos negociadores entre el comprador y vendedor al respecto de la oferta preferida.
8. **Confirm:** los participantes confirman el acuerdo.
9. **Close Dialogue:** el diálogo termina de manera normal.

Finalmente los autores limitan las fases a 7, eliminando de la lista las fases 3 y 4, que ciertamente requerirían de las locuciones y de la sintaxis adecuada para poder argumentar las preferencias y los criterios de decisión, lo que en sí es un proceso de negociación también. Así, se presupone el conocimiento de los criterios de establecimiento de preferencias a priori, sin posibilidad de que sean modificados durante el proceso de negociación.

El lenguaje de comunicación incluye dos locuciones que implican un compromiso de intercambio de recursos: `agree_to_buy()` y `agree_to_sell()`. Para facilitar el intercambio de propuestas, y evitar la necesidad de locuciones explícitas para que los compradores y vendedores se puedan retractar de compromisos previos, se dispone de las locuciones: `desire_to_buy()` y `willing_to_sell()`, que son declaraciones acerca de los deseos de compra y venta respectivamente, pero que no implican compromiso. De forma parecida, se especifican locuciones que permiten que un agente pueda iniciar un diálogo, buscar información, rechazar una compra, rechazar una venta, declarar preferencias, acordar una compra, acordar una venta, o abandonar un diálogo.

El modelo de agente comprador está inspirado en los trabajos sobre teoría de marketing y conductas de compradores en [Lilien *et al.*, 1992, Roberts y Lilien, 1993]. Sin embargo, los agentes no son especificados en detalle, y son definidos a un nivel muy abstracto. Por ejemplo, el mecanismo del comprador definido como **Generate New Options**, es especificado como un mecanismo implementado en el vendedor que genera nuevas ofertas de venta, pero en ningún caso se especifica de forma concreta cómo se generan esas ofertas.

Una vez especificadas las locuciones y los mecanismos de decisión, los autores presentan una serie de reglas de transición que explican cómo el sistema cambia conforme al envío de una determinada locución y la consecuente invocación de un determinado mecanismo de decisión.

El trabajo de McBurney en [McBurney *et al.*, 2003] tiene una significación máxima en el caso de la caracterización y formalización de diálogos complejos, ya que define un marco de locuciones y una forma de especificar y enlazar dichas locuciones con mecanismos de decisión genéricos (mediante reglas de transición), que pueden ser de gran utilidad en la implementación práctica o teórica de nuevos protocolos, fundamentalmente en el ámbito de entornos

o mercados electrónicos de adquisición de productos. Por otra parte, como hemos dicho, no realiza aportaciones sustantivas en cuanto al diseño de mecanismos de decisión, porque en realidad no especifica ninguno concreto, y sólo define de forma abstracta las entradas y salidas de datos de mecanismos potenciales. Además, aunque el trabajo pretende enmarcarse en el ámbito de la negociación basada en argumentación, la utilización de metainformación es mínima, y se reduce a la utilización de la locución *prefer*, que además de poder ser utilizada únicamente por parte del comprador, no especifica cómo una declaración de preferencias sobre productos puede influir en los estados mentales de los agentes (no se especifican los mecanismos de decisión).

2.5.6. Limitaciones de las aproximaciones basadas en argumentación

Los marcos de negociación basados en argumentación son cada vez más populares, debido a su capacidad potencial de generar diálogos flexibles con los que definir procesos de negociación más eficientes. El gran inconveniente sin duda alguna de estas aproximaciones radica en su tremenda complejidad, mucho mayor normalmente que otras aproximaciones. Requiere el diseño de complejos protocolos y lenguajes de comunicación, lenguajes de dominio muy sofisticados, y la implementación de procesos de evaluación y generación de argumentos que por definición son tareas que presentan gran dificultad. La implementación práctica en escenarios de comercio electrónico reales queda todavía muy lejos, aunque creemos que sí hay un gran potencial a más corto plazo en la aplicación de formas de argumentación más básicas, como las basadas en la declaración de preferencias. En este sentido la investigación desarrollada en esta tesis ahonda en la utilización de argumentación basada en *preferencias*.

Una vez analizadas las diferentes aproximaciones al problema de la negociación automática sobre sistemas multiagente, queda patente como decíamos, que no existe una aproximación universal, y que cada una presenta pros y contras. Esta tesis propone una aproximación intermedia, que va a aglutinar conceptos ya mencionados en las aproximaciones heurísticas y de argumentación. En la siguiente sección se aborda el ámbito específico en el que se encuadra nuestro trabajo, la negociación automática bilateral basada en restricciones difusas en mercados electrónicos.

2.6. Aproximaciones a la negociación bilateral basada en restricciones difusas

Independientemente del escenario de aplicación o del tipo de técnica utilizada, el modelado de preferencias, utilidades, o grados de satisfacción, es una componente fundamental

en cualquier sistema de negociación automática. Dado que los participantes en una negociación desean maximizar de alguna manera su beneficio, la especificación de un modelo de preferencias que permita interoperar con los mecanismos de decisión de los agentes de forma eficiente es un aspecto clave (ver 2.2.2). En este sentido los *modelos de preferencias basados en restricciones difusas*, se presentan como una alternativa muy adecuada para solucionar el problema de la formalización y representación de preferencias. En el caso concreto de la negociación automática en mercados de comercio electrónico sobre sistemas multiagente se ha elegido el marco de *Problemas de Satisfacción de Restricciones Difusas* o *Fuzzy Constraint Satisfaction Problems* (FCSP) [Dubois *et al.*, 1994, Dubois *et al.*, 1996, Dubois y Prade, 1999, Luo *et al.*, 2003c] por los siguientes motivos [Luo *et al.*, 2003b]:

- En múltiples ocasiones los compradores desconocen los detalles de los productos que desean comprar, de forma que los requerimientos son expresados mediante restricciones sobre múltiples atributos. Pensemos por ejemplo en el deseo de compra de un vehículo. Aunque ciertamente podemos tener muy claras nuestras ideas acerca de qué es lo que queremos, normalmente, el hecho de que la adquisición dependa de múltiples parámetros, y no sólo del precio, hace que nuestra 'propuesta' mental como compradores sea una secuencia mucho más vaga de restricciones sobre dichos atributos. Por ejemplo, deseo comprar un coche de gama media, con un consumo bajo, aunque me sería indiferente que fuese una berlina, y por supuesto, entre otras cosas, "a precio muy muy bajo".
- Las diferentes ofertas no siempre son completamente aceptables o completamente inconsistentes respecto de las restricciones aplicadas. De forma que en lugar de evaluar el cumplimiento de cada restricción de forma bipolar (o satisface la restricción o no), se utiliza el concepto de grado de satisfacción de una restricción, que mide como una restricción es satisfecha o no de forma parcial. Por ejemplo, una oferta consistente en el vehículo Alfa Romeo 156, satisface en gran medida la restricción de gama, aunque el consumo no es del todo bajo, es una berlina, y el precio está lejos de ser muy muy bajo.
- Para atributos individuales, un comprador puede tener preferencia por diferentes rangos de valores (p.ej. Alfa Romeo, suponiendo la existencia de un atributo 'marca', puede ser menos preferido que Mercedes o BMW). Esta preferencia puede expresarse como una restricción difusa sobre un atributo, de manera que el nivel de preferencia por un cierto valor de dicho atributo es el grado de satisfacción de la restricción. De forma idéntica, para el caso de múltiples atributos, un comprador puede tener preferencia por ciertas combinaciones de atributos (p.ej. se prefiere en mayor medida un monovolumen de bajo consumo que una berlina de consumo medio). Esta preferencia puede expresarse de forma idéntica al ejemplo anterior mediante una restricción

difusa sobre múltiples atributos, donde cada combinación tendrá asignado un grado de satisfacción determinado.

- El hecho de poder definir restricciones difusas sobre múltiples atributos, tiene una ventaja fundamental que vamos a destacar aquí. Pensemos en el ejemplo anterior, en el que un monovolumen de bajo consumo es preferido a una berlina de consumo medio. Si en lugar de definir una relación de dominio de una combinación de atributos sobre otra, asignamos el mismo valor de satisfacción a ambas combinaciones, estamos diciendo que ambas soluciones son igual de preferidas. Si analizamos este supuesto a nivel de atributo individual, puede darse el siguiente caso: la berlina es preferida al monovolumen, y lógicamente el consumo bajo es preferido al consumo medio. Es decir, las dos combinaciones de atributos se compensan, si se relaja la restricción de tipo de vehículo, se requiere que el consumo sea menor, y al revés, se admite un tipo de vehículo que aún no siendo el más deseado tiene un consumo bajo. Este concepto de compensación se encuentra de forma muy habitual en la literatura bajo la denominación *trade-off*, y es un concepto clave que hemos desarrollado en esta tesis, y que permite la búsqueda de soluciones con las que llegar a un acuerdo mejor sin necesidad de que ninguna de las dos partes realicen concesiones [Faratin *et al.*, 2002].
- Las restricciones definidas no siempre tienen la misma preferencia, una restricción de marca puede ser más importante que una restricción sobre precio, o al revés. En los trabajos de Dubois [Dubois *et al.*, 1994, Dubois *et al.*, 1996, Dubois y Prade, 1999], y en los trabajos de Luo *et al.* [Luo *et al.*, 2003b, Luo *et al.*, 2003c], se define y aplica el concepto de PFCSPs (FCSP priorizado). El proceso de definición de preferencias basados en restricciones difusas priorizadas viene dada por dos fases perfectamente diferenciadas: la captura de restricciones individuales (se incluyen también las restricciones sobre múltiples atributos) [Castro-Sanchez *et al.*, 2004], y la priorización de dichas restricciones. La captura de restricciones consiste en la declaración individualizada de restricciones, donde los grados de satisfacción de cada una de estas restricciones se ponderan entre valores que van del 0 al 1 (p.ej. un precio muy alto reporta una satisfacción 0, un precio medio 0.5, y un precio bajo 1). Una vez se tienen tabuladas las restricciones la priorización consiste en la aplicación de un operador que transforma las escalas de cada una de las restricciones de forma independiente (p.ej. imaginemos que las variables precio y marca tienen definido entre otros un valor 0.9 de satisfacción para los valores precio bajo y BMW. Tras aplicar la transformación la variable precio queda tal cual, mientras que el valor 0.9 para la marca se convierte en 0.8). La transformación definida en el ejemplo implica que la prioridad de la restricción marca (por lo menos para ese escalón de grado de satisfacción concreto) es mayor que la restricción de precio, dado que para esos dos

valores concretos de precio y marca la satisfacción individual al respecto de la marca es menor.²

Las ventajas que acabamos de enumerar están centradas fundamentalmente en la captura de preferencias de usuario, en el caso concreto de un mercado electrónico podría ser un comprador o vendedor. Sin embargo, existe otra ventaja más, fundamental desde un punto de vista práctico y de eficiencia en la negociación, que se consigue cuando se usan restricciones para expresar las ofertas, en lugar de soluciones puntuales. La ventaja viene dada porque de esta manera las propuestas cubren regiones del espacio de soluciones en lugar soluciones individuales. En un sólo intercambio de propuestas puede explorarse un rango mayor del espacio de soluciones, lo que puede significar un búsqueda más eficiente de una solución aceptable. Además, según los teóricos de la negociación entre humanos [Fisher y Ury, 1981], la negociación sobre restricciones, conocida como de *negociación basada en el interés (interest-based negotiation)*, es siempre mejor que las negociaciones sobre soluciones puntuales, denominadas de *negociación posicional (positional bargaining)*.³

Los trabajos que han aplicado estos modelos al problema de la negociación automática bilateral en sistemas multiagente, para el modelado de preferencias y/o emisión de propuestas, entran dentro de las aproximaciones a la negociación mediante heurísticas, y en menor medida de las aproximaciones mediante argumentación. A continuación, hacemos un recorrido pormenorizado de las aportaciones más relevantes en este campo que se pueden encontrar en la literatura. Incluimos también los trabajos de: Barbuceanu y Lo [Barbuceanu y Lo, 2000], que aunque no hace uso de un modelo de restricciones difusas como tal, trata el mismo problema de negociación desde el punto de vista de la *teoría de la utilidad multiatributo* [Keeny y Raiffa, 1976, Russell y Norvig, 2003]; y el trabajo de Faratin [Faratin *et al.*, 2002] que aborda el problema del cálculo de similitud entre ofertas y contraofertas puntuales para lograr una convergencia en la negociación, aspecto éste directamente relacionado con el concepto de compensación de restricciones (*trade-off*) antes comentado.

2.6.1. Faratin, Sierra y Jennings

En [Faratin *et al.*, 2002] Peyman Faratin, Carles Sierra y Nicholas Jennings presentan un algoritmo que emplea la noción de *similitud difusa* [Zadeh, 1971], aplicado al proceso de búsqueda de productos similares a ofertas de producto previas, con el objeto de llegar a soluciones más satisfactorias en negociaciones bilaterales, sin necesidad de que los agentes tengan que hacer concesiones. Según la experiencia de los autores [Faratin *et al.*, 1998, Faratin, 2000,

²Estamos asumiendo que el operador que permite generar la satisfacción global a partir de las satisfacciones individuales de cada una de las restricciones es por ejemplo una T-norma [Luo *et al.*, 1997].

³En [Cohen, 2002] puede encontrarse un tratamiento detallado acerca de las razones de esta afirmación.

Faratin *et al.*, 2000, Jennings *et al.*, 1996], en los dominios de la gestión de procesos de negocio y gestión de redes de telecomunicación, hay casos en los que los agentes necesitan actuar de una forma más responsable desde el punto de vista social, por ejemplo, los agentes pueden pertenecer a la misma organización u operador. En estos casos los agentes están interesados en conseguir un máximo beneficio, pero además, también desean que el oponente consiga la mejor solución posible. En definitiva, es importante el concepto de *satisfacción global* o *social*, y eso lleva a la definición de un modelo que permita la búsqueda de soluciones *ganador-ganador* (*win-win*) [Raiffa, 1982]. Este principio, llevado al ámbito del regateo entre dos partes que negocian un acuerdo, se traduce en un proceso de actuaciones conducentes a generar ofertas, que siendo del mismo valor para el que las propone, pueden beneficiar al oponente de manera que la utilidad conjunta se incremente.

En este trabajo se presenta una descripción formal del problema consistente en buscar la solución más favorable para el oponente sin realizar concesiones, y se presenta un algoritmo iterativo para la búsqueda de esta solución.

La formalización del problema comienza por la definición de la *iso-curva* para un valor de utilidad θ . Esta iso-curva se define como $iso_a(\theta) = \{x | V^a(x) = \theta\}$, que en este caso hace referencia al conjunto de soluciones x cuya utilidad o valoración $V^a(x)$ es igual al valor θ para el agente a . El objetivo es conseguir que el oponente realice una oferta que se encuentre dentro de esta iso-curva, donde se supone que el oponente intentará por su parte maximizar su utilidad. Ya que los agentes desconocen las funciones de utilidad de los oponentes, se emplea una heurística consistente en ofrecer aquello que más se parece a la última oferta recibida. Para calcular esta similitud se emplea el concepto antes mencionado de *similitud difusa*, en la que se aplica un razonamiento del tipo: “*si es aproximadamente p, entonces es aproximadamente q*”. De esta manera, enviada una oferta x , y recibida la contraoferta y , donde $\theta = V^a(x)$, se genera una nueva oferta a partir de la función:

$$tradeoff(x, y) = \arg \max_{z \in iso_a \theta} \{Sim(z, y)\}$$

donde *Sim* es una medida de similitud basada en una ponderación de las similitudes de cada uno de los atributos.

El algoritmo comienza cuando los dos agentes a y b envían las ofertas x e y respectivamente.⁴ El algoritmo que se presenta está dividido en S etapas, en cada una de las cuales se generan de forma local y aleatoria N soluciones (*hijos*)⁵ a una determinada distancia de la iso-curva de a . En concreto la distancia viene determinada por el cociente $E = \frac{v(x)-v(y)}{S}$ tomando como referencia la utilidad de la última oferta de b , es decir, $v(y^{j+1}) = v(y^j) + E$. Esto significa que cada paso implica la generación de *hijos* que se irán acercando a la iso-curva

⁴El algoritmo se explica desde el punto de vista del agente a , lo mismo puede aplicarse a b .

⁵Los valores S y N son valores arbitrarios.

de a . De estos *hijos* se elige el de mayor similitud respecto de la propuesta recibida y^j . Una vez seleccionado el *hijo* más parecido a la última oferta de b se envía como oferta hacia b . Este proceso se irá repitiendo hasta que la oferta recibida pertenezca a la iso-curva. El algoritmo funciona por tanto como una búsqueda iterativa en la que se van generando ofertas de utilidad local en sentido ascendente, con un intento de convergencia en la región de soluciones objetivo, esto es, la iso-curva.

Discusión

El algoritmo que se presenta aborda un problema fundamental como es el de la gestión de la compensación entre atributos para conseguir soluciones *win-to-win* en negociaciones bilaterales, y es un importante avance en la aplicación de un concepto fundamental en la negociación: el análisis de la similitud. Uno de los problemas de este algoritmo viene dado por el hecho de que está pensado para trabajar sobre soluciones puntuales. La negociación mediante soluciones puntuales es problemática porque salvo que se utilice algún mecanismo de argumentación, y asumiendo desconocimiento acerca de las utilidades del oponente, el único recurso para lograr una convergencia es la similitud. El problema se ve incrementado si las utilidades locales de las diferentes ofertas potenciales de un agente no tienen una correlación con los valores de los atributos. Este problema puede aparecer con frecuencia en el caso de negociaciones en las que no todos los parámetros que caracterizan un producto son negociables. Puede darse el caso de un catálogo de productos de un vendedor que tiene definidos cuatro atributos: precio, marca, plazo de entrega y tiempo en el almacén. De éstos, sólo se negocia sobre los tres primeros atributos. Sin embargo, la utilidad que le reporta al vendedor la venta es fuertemente dependiente del tiempo que lleva en el almacén el producto. Puede darse el caso de que dos productos muy distintos en cuanto a los tres primeros atributos, tengan tiempos de almacenaje similares, y utilidades por tanto muy similares también. Un problema similar aparece en el caso de mercados dinámicos en los que durante el mismo proceso de negociación pueden verse modificadas las utilidades.

Por último cabe decir que este trabajo no trata el problema de la comunicación entre agentes, y no existe un modelo o perfil de usuario predefinido que caracterice a los agentes participantes.

2.6.2. Barbuceanu y Lo

Mihai Barbuceanu y Wai-Kau Lo presentan en [Barbuceanu y Lo, 2000] uno de los primeros trabajos que abordan el problema de la negociación bilateral haciendo uso de propuestas basadas en restricciones y no propuestas puntuales. Como marco de trabajo para modelar la preferencias de los agentes, y como referente para ejercitar la toma de decisiones hacen uso de la *teoría de la utilidad multiatributo (MAUT)* [Keeny y Raiffa, 1976]. Bajo MAUT,

las preferencias de cada agente se presentan como una serie de intervalos en los que se divide el dominio de valores de cada atributo, y a cada intervalo se le da un determinado valor de utilidad. Una propuesta viene definida por una serie de intervalos, cada uno de ellos perteneciente a uno de los atributos,⁶ de forma que la utilidad de dicha propuesta para el agente que la propaga es igual a la suma de utilidades. En esencia, aunque con una terminología diferente, la aplicación de MAUT en el contexto de este trabajo es idéntica a la utilización de restricciones difusas.

Definidas las preferencias conforme al esquema descrito arriba, los agentes tienen implementado un mecanismo de relajación por el cual, en cada etapa cada uno de los agentes relaja las propuestas de tal manera que la pérdida de utilidad se vea minimizada. El protocolo de interacción asume que los agentes intercambian de forma alternativa ofertas mediante la técnica de relajación comentada. En este caso, la solución que se consigue, si existe, es una solución pareto-óptima.

Discusión

Este trabajo es uno de los pioneros en la utilización de restricciones (bajo una formalización MAUT) en la propagación de propuestas. Sin embargo, no se presenta un modelo de interacción completo, y no se presentan las locuciones que permiten desarrollar un diálogo. El modelo tampoco permite generalizar el mecanismo de definición de utilidades globales, estando limitada a la suma de utilidades. Aunque se afirma que se consiguen soluciones pareto-óptimas, las condiciones que se tienen que dar para que esto sea así, hace que el modelo carezca de utilidad en entornos competitivos. El problema fundamental reside en la concepción del proceso de negociación como un proceso completamente simétrico. Si los dos agentes se modelan con restricciones, estamos antes el mismo problema que se plantea en negociaciones posicionales simétricas, ¿cuánto relaja cada agente en cada interacción o intercambio de mensajes? Este problema es estudiado con detalle en [Faratin *et al.*, 1998, Fatima *et al.*, 2001, Fatima *et al.*, 2002, Fatima *et al.*, 2005, Sandholm y Vulkan, 1999], de forma que se analizan las estrategias dominantes en encuentros bilaterales bajo determinadas circunstancias como son los *horizontes temporales*, la utilización de *factores de descuento*, o el conocimiento de los *valores de reserva* de los oponentes. De forma muy resumida, podemos afirmar que si el poder de negociación no es simétrico, el agente de mayor *poder*⁷ debe esperar a la concesión del oponente, mientras que en casos de poder simétrico, pueden darse casos en los que la estrategia dominante para ambos sea no ceder, extendiéndose la negociación hasta el infinito.

⁶En este trabajo se hace también referencia a la posibilidad de codificar múltiples atributos de forma conjunta.

⁷El poder o la potencia negociadora de una agente viene determinado por el conocimiento que se tiene del oponente acerca de los valores de reserva o los plazos de finalización. También está determinada de forma indirecta por los valores de estos parámetros, aunque sean en sí mismos desconocidos por los oponentes. Pensemos en un agente con un plazo de finalización de 1h, que negocia con otro agente que tiene un margen de 2h. El poder del segundo agente es mayor, en tanto en cuanto si para el primer agente es mejor la concesión total a una solución conflicto, al llegar la primera hora, tendrá que aplicar esta concesión.

La conclusión es que los agentes van a actuar de forma estratégica, de forma que el protocolo que se plantea en este trabajo es difícilmente asumible en condiciones reales. Los autores reconocen este hecho, y proponen como alternativa la utilización de una entidad central que se encargue del proceso negociador. Esto evidentemente no es asumible desde el punto de vista de nuestro trabajo.

2.6.3. Kowalczyk y Bui

Ryszard Kowalczyk y Van-Anh Bui tratan en varios trabajos [Kowalczyk y Bui, 2000a, Kowalczyk, 2000, Kowalczyk y Bui, 2000b, Kowalczyk, 2002, Kowalczyk y Bui, 2002] el problema de la negociación multiatributo basada en *Problemas de Satisfacción de Restricciones Difusas* o *Fuzzy Constraint Satisfaction Problems* (FCSP) [Dubois *et al.*, 1994], y desarrollan una plataforma denominada *FeNAs* (Fuzzy e-Negotiation Agent system), que permite múltiples negociaciones bilaterales correladas. Es uno de los primeros trabajos en los que se presenta de forma explícita el problema de la negociación multiatributo bajo un modelo de preferencias basado en FCSP.

Discusión

El principal problema de FeNAs reside en que es una aproximación posicional, es decir, se propagan soluciones puntuales, y el escenario de aplicación es simétrico, de forma que aparece el mismo problema que hemos descrito al respecto del trabajo de Barbuceanu. Además, no se tienen en cuenta las respuestas del oponente, de manera que el proceso de búsqueda de soluciones no es eficiente.

2.6.4. Lai y Lin

Robert Lai y Menq-Wen Lin presentan en [Lai y Lin, 2004] un marco general para la negociación multiatributo y multilateral basado en restricciones difusas en el ámbito del negocio electrónico. Este trabajo condensa las aportaciones que se abordan en trabajos previos de los mismos autores [Lai y Lin, 2001, Lai y Lin, 2002b, Lai y Lin, 2002a, Lin *et al.*, 2003].

El modelo de negociación está basado en FCSP, que al aplicarse a un dominio distribuido de agentes se formaliza como una red de restricciones difusas distribuidas (DFCN). Al igual que en las aproximaciones anteriores, el intercambio de propuestas es puntual, es decir, no se propagan restricciones, y no existe argumentación. El primer aspecto que hay que destacar es el relativo a la mecánica definida para el cálculo de la satisfacción que comporta una oferta recibida. En este caso, el cálculo es siempre la media ponderada de la satisfacción que se consigue con cada restricción, es lo que definen como *satisfacción agregada*. Sin embargo, para que esta oferta sea considerada, debe haber cumplido un requisito previo, consistente en superar un umbral de corte α , en relación con todas y cada una de las restricciones locales

definidas. Al valor resultante de calcular el mínimo de las satisfacciones conseguidas con cada una de las restricciones le denominan *grado de satisfacción global*.

Dado un umbral de corte α , que fija un umbral de satisfacción global, un agente genera propuestas puntuales que estén por encima del umbral α , de manera que se debe cumplir siempre que la satisfacción agregada de estas propuestas debe ir en sentido no estrictamente decreciente. En definitiva, dado un conjunto de propuestas posibles dado α , el agente es capaz de ordenar dichas propuestas en orden descendente de satisfacción agregada, de manera que el mecanismo de emisión de propuestas comienza por las propuestas de mayor valor agregado, y termina por las de menor. En cualquiera de estos envíos se aplica el concepto de racionalidad, de manera que si una oferta recibida (por encima de α) tiene un agregado de satisfacción mayor que la siguiente propuesta en la lista de envíos, se llega a un acuerdo. Cuando en algún momento la lista de propuestas que están por encima de un nivel de corte α se agota sin llegar a una solución, el agente relaja el valor de corte, y repite el mismo proceso anterior.

Para formalizar el proceso de relajación de ofertas que se generan a un nivel de corte α , se define una *estrategia de concesión flexible* y una *estrategia de compensación*. La primera funciona a partir de dos componentes: el estado mental del agente de negociación y el comportamiento estimado del oponente. Como ejemplo de estado mental utilizan el concepto de *urgencia* para denotar la prisa que el agente tiene por llegar a una solución. El comportamiento estimado del oponente se obtiene a partir de sus respuestas. El valor de urgencia y el valor de concesión del oponente son entradas de un sistema de reglas difusas del tipo: “si la urgencia es baja, y la concesión estimada es media, entonces mi concesión es pequeña”. La *estrategia de compensación* funciona generando ofertas que no implican una pérdida de valor de agregación de satisfacción. Del conjunto de estas ofertas se selecciona aquella que tiene mayor grado de similitud respecto de las ofertas recibidas. Para calcular esta similitud se aplica una medida de distancia Euclídea normalizada.

Finalmente se define una metaestrategia que aplica por orden de prioridad: una *estrategia de compensación*, una *estrategia de concesión*, y finalmente si no es posible, una relajación del umbral α . Si llegado un momento no es posible relajar más el umbral de *satisfacción global*, el agente abandona la negociación.

Discusión

Este trabajo realiza aportaciones muy importantes. Además de realizar un fantástico trabajo en cuanto a la formalización de los mecanismos de cómputo del grado de satisfacción y de las estrategias disponibles de concesión y de compensación, introduce técnicas de lógica difusa en el ámbito de la toma de decisiones de relajación, que permiten definir estrategias de concesión que son función de las creencias y deseos de los agentes. Mediante un sencillo protocolo de emisión de ofertas por turnos, muestran un escenario de negociación en el que varios

agentes negocian y llegan a acuerdos concretos, llegando incluso a comparar diferentes alternativas de concesión derivadas de la *estrategia de concesión flexible* descrita anteriormente: una *estrategia fija, reactiva y colaborativa*.⁸

Aunque el modelo se basa en la propagación de propuestas puntuales, y no hay argumentación, la toma de decisiones está basada en parte en el comportamiento del oponente, y en el tipo de ofertas recibidas mediante la aplicación de una función de similitud. Partiendo sólo del modelo teórico, no está suficientemente claro cómo se generan todas las propuestas dado un nivel de corte α . En el ejemplo que plantean la convergencia es rápida porque las funciones de utilidad y los pasos elegidos enseguida entran en zonas de intersección. El problema fundamental de esta propuesta viene dado por el hecho de generar propuestas puntuales. Conforme a los procedimientos descritos, si no hay una convergencia en los primeros pasos de relajación, el número de propuestas crece exponencialmente. Si el número de atributos es grande, el número de posibles propuestas para un determinado nivel de corte se hace enorme. Aunque la función de similitud puede ayudar en la convergencia, se está asumiendo un cierto grado de conocimiento de las funciones de utilidad del oponente, lo que no siempre es posible tener.

Por último cabe decir que el modelo parte de unas medidas de satisfacción específicas: una T-norma para la aceptabilidad de propuestas, y un operador de suma de utilidades para calcular el grado de satisfacción. Sin embargo, no queda claro que esta propuesta vaya a funcionar bien con otras funciones de utilidad, con lo que el modelo no es generalizable. Tampoco se presenta un modelo de comunicación, de manera que se asume la existencia de un conjunto reducido de primitivas que conforman los mensajes.

2.6.5. Luo, Jennings, Shadbolt, Leung y Lee

Xudong Luo desarrolla en [Luo *et al.*, 2003b] un modelo para la negociación bilateral multiatributo basado en restricciones difusas en entornos de comercio electrónico minorista. El ámbito de aplicación del modelo es el de un entorno definido por los autores como *semi-competitivo*. En un entorno semi-competitivo los agentes, aunque intentan maximizar su beneficio, están también interesados en conseguir que la utilidad conjunta sea alta. Este entorno semi-competitivo se ejemplifica con la existencia de relaciones comerciales en las que se desean establecer vínculos que se extienden en el tiempo. En estos casos los compradores y vendedores no son hostiles, y ambos persiguen también que haya un grado de satisfacción que permita mantener la relación comercial en el futuro. Este tipo de entorno se ajusta desde el punto de vista de la teoría de la negociación al método general

⁸La estrategia fija define un margen de relajación predefinido e independiente, mientras las estrategias colaborativa y reactiva son función de las concesiones del oponente. En la reactiva se relaja lo mismo que el oponente, y en la colaborativa se relaja algo más de lo que relaja el oponente.

de negociación conocido como *Principled Negotiation* o *Negociación basada en Principios* [Fisher y Ury, 1981, Hiltrop y Udall, 1995, Pruitt, 1981, Cohen, 2002].

En base a esta aproximación a la negociación entre humanos, el desarrollo que realizan los autores se basa en tres principios fundamentales:

- Las soluciones deben ser justas para ambas partes.
- Los agentes persiguen la máxima satisfacción durante el curso de la negociación.
- Los agentes intentan minimizar la cantidad de información revelada acerca de sus preferencias.

Dadas estas directrices su modelo está basado en la noción de *restricciones difusas* (FCSP), noción que se trata en detalle en trabajos anteriores [Luo *et al.*, 1997, Luo *et al.*, 2003c], y que tiene su origen en [Dubois *et al.*, 1994, Dubois *et al.*, 1996, Dubois y Prade, 1999] (los motivos que llevan a la utilización de un FCSP se han descrito al comienzo de esta sección). El modelo está definido a partir de una descripción del conocimiento del dominio de los agentes, un conjunto de acciones primitivas, varios protocolos de comportamiento y un lenguaje de comunicación. La especificación del modelo se ha desarrollado adoptando la metodología CommonKADS [Schreiber *et al.*, 2000]. A continuación destacamos los aspectos más destacados del modelo.

Un *agente vendedor* es un sistema de conocimiento definido por 5 elementos:

$$(\mathcal{G}, \mathcal{A}, \mathcal{P}, \omega, \Theta)$$

El primer elemento de la tupla, $\mathcal{G} = \{g_i | g_i = (c_i, r_i, u_i, p_i)\}$ es el modelo de producto. Cada producto g_i está definido respectivamente por una *restricción* asociada a dicho producto (p.ej. el comprador debe ser mayor de edad), una *recompensa* que puede utilizarse para persuadir al comprador, una utilidad que se consigue si se vende el producto, y finalmente p_i que describe el conjunto de atributos que caracterizan el producto. El elemento $\mathcal{A} = \{generate, update, propose - restriction, propose - reward, receive, present\}$ define un conjunto de acciones primitivas que el agente puede adoptar en el curso de una negociación, mientras que \mathcal{P} especifica las reglas que el agente obedece. Finalmente ω es el puerto de comunicación del agente, donde se depositan y reciben las propuestas, y Θ es la memoria de trabajo del agente.

Un *agente comprador* es otro sistema de conocimiento definido por 7 elementos:

$$(\mathcal{C}, \mathcal{B}, \tau\mathcal{A}, \mathcal{P}, \omega, \Theta)$$

El elemento \mathcal{C} es un PFCSP que define los requerimientos del comprador en forma de grados de satisfacción. \mathcal{B} representa el perfil del comprador, de manera que aquí se definen mediante

un conjunto de proposiciones difusas declaraciones del tipo: “El comprador es un estudiante, es fumador, desea tener teléfono (lo que le supondría una satisfacción del 60%)”. Estas declaraciones son utilizadas en la evaluación de ofertas del vendedor, y tienen una doble aplicación: permiten que una determinada oferta en principio no aceptable, se convierta en aceptable (p.ej. si el vendedor ofrece como recompensa en su oferta un teléfono); y al revés, una oferta en principio aceptable, puede convertirse en no aceptable debido a que una de estas proposiciones entre en conflicto con las restricciones asociadas al producto en cuestión (p.ej. la habitación en alquiler es para fumadores, y mi perfil es de no fumador). El elemento τ es un umbral de aceptabilidad que fija el mínimo valor de satisfacción que el comprador está dispuesto a asumir. $\mathcal{A} = \{select, verify, satisfy, evaluate, critique, relax, receive, present\}$ define el conjunto de primitivas del comprador. Los tres elementos restantes tienen la misma funcionalidad que en el caso del vendedor.

El protocolo de interacción está basado en la emisión de propuestas del comprador dadas en forma de restricciones explícitas, y la emisión de ofertas por parte del vendedor en forma de soluciones puntuales. En determinados casos, el vendedor puede enviar mensajes que contienen elementos de recompensa (p.ej. regalo de un teléfono), que tienen el objeto de persuadir al comprador acerca de la aceptación de una oferta previamente rechazada. En toda negociación, el comprador intenta maximizar el grado de satisfacción global, para ello:

- Cuando se envían restricciones, siempre se usa un nivel de corte tan alto como es posible para transformar una restricción difusa en una restricción estricta o dura (crisp o hard).
- Cuando se tiene que enviar una nueva restricción se elige aquella de prioridad más alta de entre aquellas que todavía no se han enviado.
- Cuando se relaja una restricción, se relaja primero aquella con la prioridad más baja.

Ante una oferta del vendedor, el comprador comprueba la aceptabilidad, y si no se cumple, solicita una nueva oferta para las mismas restricciones. Hay que tener en cuenta como hemos comentado antes, que la aceptabilidad es función también de las restricciones asociadas al producto, de manera que un producto puede ser aceptable en cuanto a atributos, y ser el comprador el que no cumpla con los requisitos o restricciones que lleva asociado el producto (p.ej. alcohol para mayores de 18 años). El vendedor por su parte ofrece productos que cumplen las restricciones recibidas, y si el producto no es aceptado, intenta ofrecer una recompensa (si es posible) para convencer al comprador. Si el vendedor en algún momento no dispone de un producto con el que satisfacer las restricciones del comprador, solicita la relajación de las restricciones.

Discusión

Luo hace sin duda un gran trabajo al definir un modelo específico de negociación para mercados minoristas, donde todas las partes que integran dicho modelo están perfectamente detalladas sin dejar nada al azar. Además, es el primer trabajo que propaga las propuestas en forma de restricciones explícitas, en el sentido comprador-vendedor. El modelo integra el concepto de recompensa, que puede funcionar como argumento de una propuesta en determinados casos, de forma que podemos decir que este modelo entra dentro de las aproximaciones heurísticas y de argumentación. El concepto de restricción asociada al producto es también una novedad en los modelos de negociación automática, aunque se podría haber integrado como un atributo más del producto, con lo que en este sentido la repercusión es menor. Los aspectos más notorios del modelo son los relacionados con la función de aceptabilidad, y con los operadores utilizados para aplicar la priorización de restricciones difusas en el FCSP que modela el comprador.

Para la utilización del modelo se asume que el agente vendedor no actúa de forma estratégica, omitiendo ofertas a la espera de que el comprador relaje más sus restricciones por ejemplo. Este último aspecto reduce bastante la utilidad práctica de la propuesta. Asumiendo un escenario válido, en el que la estrategia dominante del vendedor sea ofrecer el primer producto que cumpla las restricciones, el modelo no es suficientemente eficiente porque presenta una gran asimetría. Mientras el comprador tiene un gran poder en la comunicación (emite propuestas consistentes en restricciones), el vendedor solamente puede ofrecer productos concretos, o solicitar la relajación de las propuestas. De esta manera se está perdiendo la oportunidad de aplicar alguna técnica de compensación de soluciones con la que conseguir soluciones ganador-ganador. Este aspecto es fundamental como veremos sobre todo en mercados dinámicos, donde las preferencias varían en función del tiempo.

2.7. Resumen y consideraciones finales

De todo lo comentado hasta ahora la primera conclusión importante es que no existe una aproximación universal a la negociación. Si nos basamos en la división por aproximaciones planteada, a priori, las aproximaciones basadas exclusivamente en teoría de juegos no parecen ser la mejor solución en el campo de la negociación multiatributo, debido a que en la mayor parte de los casos el problema es intratable. Por otra parte las aproximaciones basadas exclusivamente en argumentación son al día de hoy difíciles de llevar al campo práctico, no sólo porque técnicamente sean difíciles de implementar, sino porque de forma inherente el manejo de metainformación requiere en primer lugar de un proceso de normalización o estandarización que se antoja también muy complicado. En cuanto a las aproximaciones heurísticas podemos afirmar que juegan con la ventaja de basarse fundamentalmente en la experimentación, lo que puede repercutir en una mayor credibilidad de este tipo de modelos, aunque con las desventajas ya comentadas anteriormente.

En el siguiente capítulo se presenta un modelo de negociación basado en restricciones difusas.

Capítulo 3

Modelo de negociación basado en restricciones difusas

En este capítulo se presenta un modelo negociación automática bilateral basado en restricciones difusas, aplicable en el ámbito de las negociaciones automáticas de compraventa en mercados electrónicos.

3.1. Introducción

En el capítulo anterior hemos concluido que no existe una aproximación universal al problema de la negociación automática, y que las aproximaciones basadas en argumentación o en heurísticas son más adecuadas en el caso de negociaciones multiatributo que las basadas en teoría de juegos. Analizando las diferentes aproximaciones existentes hemos llegado también a la conclusión de que no existe una solución híbrida que permita aprovechar de forma eficiente las ventajas de las aproximaciones heurísticas y de argumentación. Pensamos que el planteamiento de una aproximación híbrida puede ser una buena solución al problema de la negociación bilateral. Para ello, y teniendo en cuenta la primera premisa referente a la no existencia de una aproximación universal, creemos también que fijar como objetivo la definición de un modelo negociación para un escenario concreto es otra premisa que debe aplicarse. En este sentido hemos definido como ámbito de aplicación específico (aunque abierto a nuevos ámbitos de aplicación) la negociación en escenarios de comercio electrónico dinámicos, donde varios compradores y vendedores pueden entablar negociaciones bilaterales.

Una vez especificado el escenario, y vista la posibilidad de utilizar técnicas heurísticas y de argumentación de forma simultánea, la opción de utilizar restricciones difusas como núcleo de un modelo de negociación parece una buena estrategia. Sin embargo hemos visto como las aproximaciones existentes que hacen uso de restricciones difusas, en la mayor parte de las ocasiones las utilizan únicamente para definir funciones de evaluación de propuestas, y dichas propuestas son soluciones puntuales. Por otra parte, el único trabajo que propaga las restricciones de forma explícita [Luo *et al.*, 2003b], carece de un modelo del oponente que permita conseguir soluciones ganador-ganador, con lo que llegan a soluciones subóptimas con una gran probabilidad.

Nuestro desafío inicial es definir entonces un modelo de negociación bilateral automática basado en restricciones difusas, que permita además que los agentes sean capaces de influir en las preferencias de los demás para conseguir soluciones ganador-ganador con mayor probabilidad, haciendo para ello uso de alguna forma de argumentación.

En este capítulo se presenta un marco para la negociación bilateral automática que se fundamenta en el estilo de negociación basado en principios, frente al estilo de negociación posicional. El modelo está fundamentado en la utilización de FCSP, y la utilización de argumentación en forma de declaración de preferencias, con el objeto de dotar a los agentes de mayor capacidad expresiva.

El objetivo central de este capítulo es definir todas la estructuras de datos, mecanismos de decisión genéricos, y todos los mecanismos formales de comunicación con los que los agentes puedan llegar a acuerdos comerciales eficientes. El modelo de mercado específico sobre el que se trabaja, es un mercado en el que agentes compradores y vendedores entablan negociaciones bilaterales para adquirir y vender productos. El marco de negociación que presentamos no se restringe a un modelo específico de relación comercial (B2C, B2B, . . .), de manera que si no todos, algunos de los principios que fundamentan toda la investigación, podrían ser aplicados en diversos ámbitos sin gran dificultad.

Este capítulo realiza varias contribuciones en el campo de la negociación automática sobre sistemas multiagente. Primero, presenta un nuevo modelo negociación basado en restricciones difusas que incorpora mecanismos de argumentación. En segundo lugar, se definen mecanismos de decisión que incorporan técnicas de medidas de similaridad entre soluciones puntuales y restricciones, lo que representa una novedad en este ámbito, y permite que los agentes puedan realizar búsquedas más eficientes. En tercer lugar, el marco presentado permite el modelado de actitudes de los agentes de una forma sencilla, de forma que podemos definir actitudes cooperativas o competitivas a diferentes niveles. En cuarto y último lugar, el protocolo de interacción está definido como un protocolo de juego de diálogo, permitiendo la generación automática de diálogos expresivos entre los agentes negociadores.

El capítulo está organizado de la siguiente manera. La siguiente sección explica la necesidad de definir un marco de negociación basado en restricciones difusas y argumentación basada en preferencias, y discute las características con las que tenemos que dotar al modelo. A continuación en la sección 3.3 se describe el modelo de mercado a partir del cual se va a construir el modelo de negociación. Este modelo de mercado se describe a partir de los modelos de preferencias de los agentes compradores y vendedores, desde una perspectiva de alto nivel. La sección 3.4 presenta las bases teóricas de los problemas de satisfacción basados en restricciones difusas, que constituyen el núcleo de nuestro modelo. Con estas herramientas es posible pasar a describir los conocimientos del dominio de los agentes comprador y vendedor,

definidos en forma de modelo de requerimientos. Éstos se presentan en las secciones 3.5 y 3.6 respectivamente. La sección 3.7 presenta el modelo de diálogo, donde se hace una descripción de alto nivel en primer lugar, y a continuación se formalizan las locuciones utilizables en un diálogo. Una vez especificado el modelo de diálogo, en la sección 3.8 se presenta una arquitectura para los mecanismos de decisión. Esta arquitectura se presenta como un marco formal en el que se especifican los mecanismos que van a tener a su disposición los agentes para tomar decisiones. Estos mecanismos estarán en algunos casos totalmente especificados, y en otros se presentarán marcos estratégicos que den cabida a diferentes implementaciones mediante instanciación. En la sección 3.9 se presenta una semántica operacional, que se entiende como el conjunto de reglas que rigen la invocación de mecanismos a partir de la recepción de locuciones. Esta sección enlaza el modelo diálogo con la arquitectura para los mecanismos de decisión. El capítulo concluye con un resumen y una descripción de las consideraciones finales.

3.2. Motivación

En esta sección se motiva la necesidad de dotar a los agentes de mayor capacidad expresiva para conseguir soluciones más eficientes, y se analizan las ventajas que implica la utilización de un modelo basado en restricciones difusas. Para que la exposición sea más clara, presentamos un escenario de negociación bilateral concreto, y comparamos dos aproximaciones, una *expresiva* y otra no *expresiva*, sobre las que se van a argumentar todas las ventajas que puede aportar nuestra aproximación al problema [Lopez-Carmona *et al.*, 2004, Lopez-Carmona y Velasco, 2006a], y que constituye nuestra hipótesis de trabajo.

Un comprador y un vendedor entablan un diálogo negociador acerca de la compra de un vehículo, que puede definirse a partir de unas características determinadas que vamos a llamar *atributos*. El comprador tiene una idea aproximada de lo que quiere, y en ese sentido, como argumentábamos en el capítulo anterior, un modelo de preferencias basado en restricciones difusas es normalmente un forma más natural de expresar formalmente las necesidades de un comprador. Así, este comprador expresa su deseo de compra de la siguiente manera: “deseo adquirir un coche a un precio bajo, de alta calidad, y lo más nuevo posible”. De este enunciado se adivina que hay tres atributos de interés para el comprador que son el *precio*, la *calidad*, y la *antigüedad* del coche, y además que cada uno de los atributos está restringido. Las necesidades del comprador están definidas por tanto a partir de tres “*restricciones difusas*”, de manera que a priori, no hay definido un intervalo específico para cada atributo que determine el cumplimiento o no de las restricciones. Por contraposición, una formulación de preferencias de compra mediante restricciones estrictas o duras (*crisp*) tendrían el equivalente siguiente: “deseo un coche entre 16000€ y 17000€, con un nivel de calidad 7 sobre 10, y del año 2006”. En este segundo caso es evidente que una hipotética negociación tendría un final por lo

menos rápido, las restricciones se cumplen o no. Es evidente que en una negociación real, las restricciones deben ser flexibles de alguna u otra manera. En el caso del vendedor podríamos plantear una formulación de preferencias o deseos de venta de forma similar, sin embargo, como argumentábamos antes, en escenarios de compraventa el vendedor va a ser más proclive a la definición de catálogos de productos perfectamente especificados. Este último aspecto no contradice el hecho de que los atributos de los productos puedan variar incluso durante un proceso de negociación. Además, en un extremo, de una formulación basada en restricciones difusas siempre podemos extraer productos concretos, y al revés, de una representación en forma de catálogo podemos generar una aproximación basada en restricciones.

En la figura 3.1 y la figura 3.2 aparecen los requerimientos o preferencias del comprador,

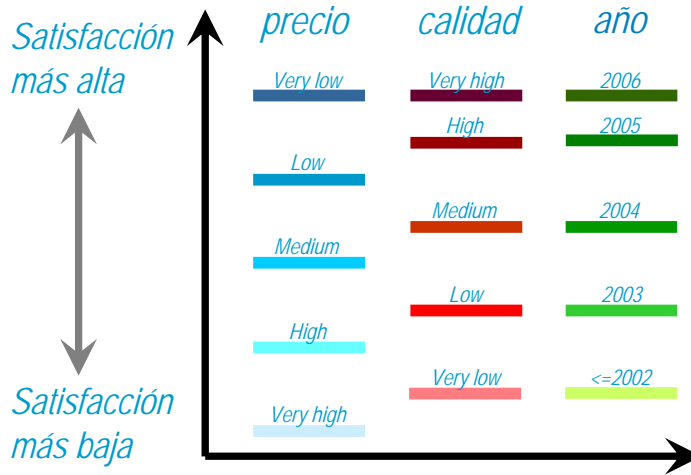


Figura 3.1. Preferencias del Comprador

Productos	precio	calidad	año	utilidad
p_1	Very low	Very low	2006	Very low
p_2	Very high	Very high	2006	Very high
p_3	Low	High	2004	Medium
p_4	Low	Medium	2005	Very low
...				
p_n				

Figura 3.2. Catálogo de Productos del Vendedor

y un resumen del catálogo de productos del vendedor respectivamente. Las preferencias del comprador por cada uno de los atributos están representadas mediante escalones. Las etiquetas encima de cada uno de los escalones representan rangos del dominio de valores de los atributos, de manera que estos rangos pueden venir dados en forma de intervalos o grupos numéricos, o en forma de términos lingüísticos.¹ Los escalones situados a mayor altura representan grados de satisfacción mayor. Si analizamos este esquema vemos que por ejemplo, la restricción difusa expresada como “precio bajo”, se ha dividido en intervalos conforme a los diferentes grados de satisfacción del comprador.²

El catálogo de productos viene definido por una serie de filas, cada una de las cuales caracteriza un producto. Para cada producto se presentan los rangos del dominio de valores de los atributos del comprador que satisface.³ La última columna representa la utilidad que el vendedor consigue en un determinado momento tras vender dicho producto. Este valor de utilidad no tiene por qué tener una correlación directa con los atributos negociables, pudiendo existir otros atributos privados que tengan más influencia sobre dicho valor de utilidad.

Los dos agentes desean entablar una negociación, pero desconocen a priori las preferencias del oponente. Así, los dos agentes necesitan dialogar para llegar a un acuerdo, pero por otra parte son reticentes a revelar información privada, de manera que ambos se rigen por el principio de mínima revelación de información [Pruitt, 1981, Raiffa, 1982].

Para ejemplificar nuestra hipótesis de trabajo presentamos en primer lugar un posible diálogo de negociación entre el comprador y el vendedor (ver figura 3.3) que vamos a denominar *inexpresivo* [Lopez-Carmona y Velasco, 2006a, Lopez-Carmona y Velasco, 2006b, Lopez-Carmona *et al.*, 2006]. En esta forma de diálogo las capacidades de los agentes en cuanto a la posibilidad de incorporar metainformación, o lo que es lo mismo, capacidad de argumentación al respecto de sus propuestas es mínima. El comprador emite propuestas en forma de restricciones duras que se extraen de forma estratégica a partir de las restricciones difusas que representan sus requerimientos globales. Por su parte, el vendedor sólo tiene capacidad para rechazar o aceptar propuestas. Así, vemos que en el ejemplo el comprador relaja sucesivamente sus pretensiones, debido a que tras cada requerimiento, el vendedor responde con un rechazo (carece de productos que satisfacen las restricciones). Finalmente, en el último paso de mensajes, el vendedor encuentra un producto p_4 , que cumple con los requisitos

¹Por término lingüístico hacemos referencia a una proposición difusa, por ejemplo, “un precio muy bajo (very low)”. En este tipo de declaración el propio intervalo es en sí mismo difuso.

²Por ejemplo, el escalón *high* en la columna de la restricción sobre el precio vendría a significar que un precio alto (high) implica un grado de satisfacción bajo, debido a que el escalón está en una posición baja. En realidad, podríamos haber utilizado otra forma de representación más centrada en la restricción, de manera que cada escalón representase en realidad el grado de cumplimiento de la restricción difusa “precio bajo”. En este último caso, el escalón que definimos como *high*, se tendría que definir en realidad como *low*, debido a que un precio alto implica un pobre cumplimiento de la restricción difusa.

³De esta manera, y gracias a los códigos de colores que hemos utilizado, es fácil ver qué zonas de las restricciones del comprador satisface un producto.

especificados por el comprador. Sin embargo, esta solución le reporta al vendedor un beneficio muy bajo (Very low). Es evidente que el poder de negociación del comprador es mucho mayor, sus necesidades están descritas con gran detalle en cada propuesta, mientras que el vendedor en ningún momento da pista alguna acerca de cuáles pueden ser sus preferencias. Además, dado que las propuestas del comprador cubren un conjunto o rango de soluciones en lugar de una solución puntual, la búsqueda puede realizarse de forma más eficiente [Barbuceanu y Lo, 2000, Luo *et al.*, 2003b]. Sin embargo, las limitaciones del lenguaje utilizado hacen que el único criterio de decisión posible sea la preferencia local por las soluciones. La pregunta que nos podemos hacer es si existía alguna otra solución, que sin hacer empeorar al comprador, hiciese mejorar al vendedor, y la respuesta es que sí. En concreto, la solución $p3$ le hubiese reportado al vendedor una satisfacción mayor sin hacer empeorar al comprador.⁴ Bajo un supuesto de aproximación a la *negociación basada en principios* [Fisher y Ury, 1981], ambos agentes estarán de acuerdo en que conseguir soluciones con una grado de satisfacción global mayor es positivo y necesario, con lo que aplicar alguna mecánica que permita llegar a soluciones mejores (aunque sólo reporten beneficio a uno de los agentes sin hacer empeorar al otro) puede ser asumible por cualquiera de ellos. La conclusión es que con este tipo de

⁴Hay que dejar claro que esto es cierto bajo la suposición de un cálculo de satisfacción global basado en el mínimo de las satisfacciones de cada una de las restricciones.

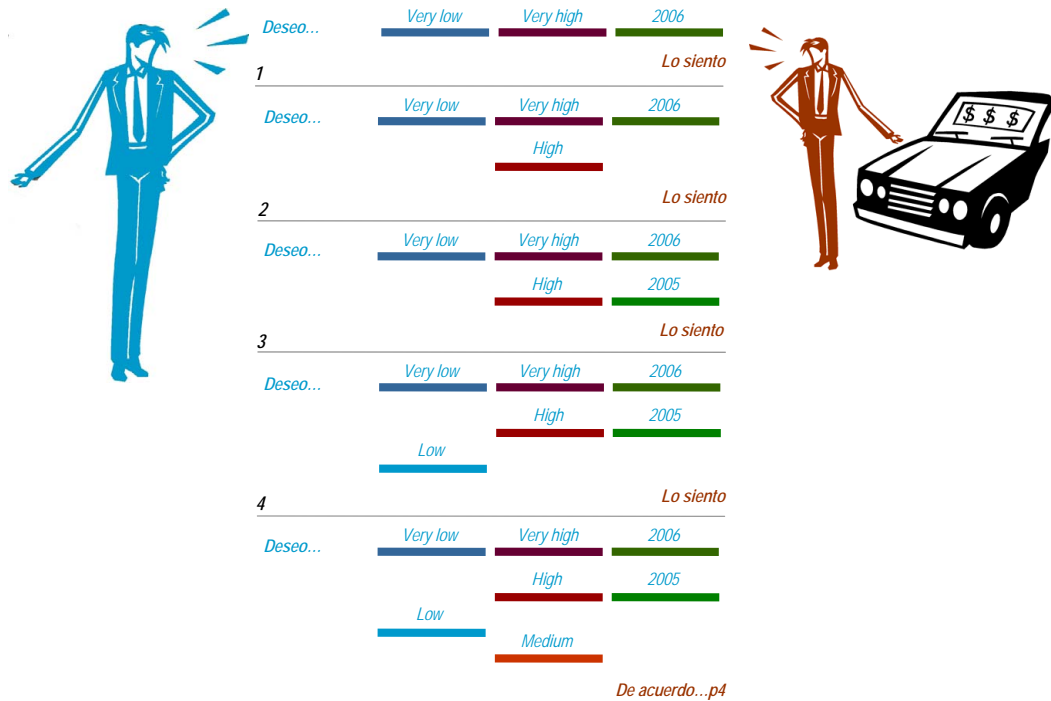


Figura 3.3. Ejemplo de Diálogo Inexpresivo

negociación *inexpresiva*, la solución que se alcanza es aleatoria⁵ porque la aproximación es *posicional*.

Como alternativa, presentamos a continuación un nuevo diálogo que vamos a denominar *expresivo*, en el que se aplican los conceptos que constituyen la base de nuestra hipótesis: mediante mecanismos de argumentación basados en preferencias sobre un marco de negociación basado en restricciones difusas se pueden alcanzar soluciones más satisfactorias. En la figura 3.4 el comprador y el vendedor negocian la compra de un coche bajo las mismas condicio-

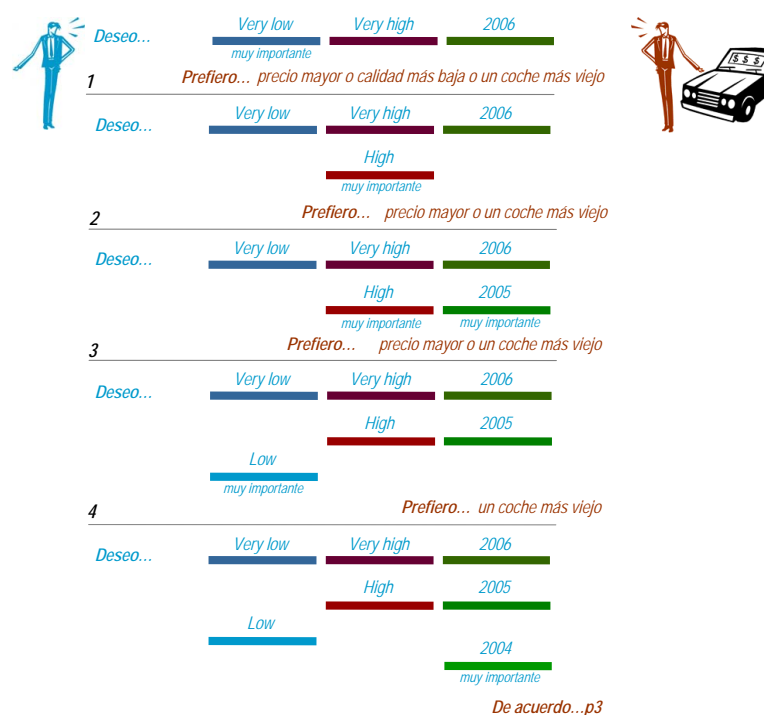


Figura 3.4. Ejemplo de Diálogo Expresivo

nes de preferencias utilizadas en el diálogo anterior. En el diálogo aparecen dos novedades importantes: en primer lugar el comprador no solamente tiene capacidad de emisión de requerimientos en forma de restricciones, sino que además, dichas restricciones se puede valorar de forma subjetiva; en segundo lugar el vendedor tiene la capacidad de matizar su rechazo a ofrecer un producto, haciendo uso de locuciones que expresan preferencias de relajación explícitas al respecto de las restricciones emitidas por el comprador. En lugar de enfocar el proceso de negociación según la forma tradicional mediante la defensa de posiciones, es decir, adoptando una determinada posición negociadora, se negocia sobre la base de los intereses de

⁵Estamos asumiendo que el vendedor no actúa de forma estratégica omitiendo la existencia del producto *p4* a la espera de vender *p3*. De momento la justificación de este comportamiento no estratégico la definiremos como la reticencia del vendedor hacia actitudes de riesgo, es decir, se prefiere vender un producto en cuanto es posible.

las partes, intereses que subyacen a las posiciones que las mismas suelen adoptar en el proceso de negociación [Fisher y Ury, 1981, Pruitt, 1981]. Analicemos ahora el curso del diálogo.

1. La primera propuesta del comprador es la que subjetivamente le podría reportar mayor satisfacción. Además de la propuesta definida como un conjunto de restricciones duras, dichas restricciones incorporan metainformación que califica las mismas en función del grado de importancia de cada una. Así, la restricción Very low es considerada como muy importante, y así se expresa en la locución.⁶ El vendedor no dispone de un producto que satisfaga todas las restricciones, así que no tiene más remedio que rechazar la propuesta. Sin embargo, argumenta el rechazo con un ataque basado en preferencias, sugiriendo la relajación de las restricciones con diferentes grados de preferencia. En la primera locución, cualquiera de las restricciones debe relajarse desde el punto de vista del vendedor.⁷
2. La segunda propuesta del comprador ha implicado la relajación de la restricción de calidad. Dado que el vendedor no tenía una preferencia expresa por que se relajase una restricción más que otra, el comprador opta por relajar una de las restricciones que menor pérdida de satisfacción comporta (calidad o antigüedad) de forma aleatoria. La restricción de calidad se convierte ahora en la preferente para el comprador porque una relajación posterior implica una pérdida de satisfacción mayor que la relajación de cualquier otra restricción. El vendedor por su parte, al recibir la propuesta no encuentra un producto que satisfaga todas las restricciones. Sin embargo, llega a la conclusión de que los productos $p2$ y $p3$ están cerca de alguna manera de las pretensiones del comprador, y también de alguna manera el vendedor está interesado en esa venta. Concretamente, el vendedor razona de la siguiente manera: *“ $p2$ es el que más beneficio me puede reportar, pero por otra parte, $p3$, aunque me da un beneficio ligeramente menor, está más cerca de las pretensiones del comprador”*.⁸ Una vez el vendedor hace el razonamiento anterior, la forma de intentar persuadir al comprador es emitir una locución de solicitud de relajación de forma preferente sobre las restricciones de precio y antigüedad.⁹
3. La tercera etapa en la negociación sigue parámetros similares a la etapa anterior.
4. En la cuarta propuesta del comprador la restricción más importante es la restricción sobre precio. El vendedor analiza su catálogo y descarta $p1$ por su baja utilidad y

⁶La calificación aplicada a la restricción es consecuencia de un criterio que aplica el comprador consistente en valorar más aquellas restricciones que si tuviesen que ser relajadas supondrían una pérdida de satisfacción mayor.

⁷El criterio de decisión para la aplicación de preferencias de relajación no será único, pudiendo depender por ejemplo de lo parecidos que sean determinados productos a las restricciones del comprador, de la importancia que cada una de las restricciones tiene para el comprador, o de la utilidad que reporte su venta.

⁸Para poder hacer este razonamiento, es evidente que el vendedor necesita entre otras cosas de algún mecanismo para estimar el “parecido” respecto de las pretensiones del comprador.

⁹Ambos productos cumplen la restricción de calidad, ninguno cumple la restricción de precio, y mientras $p2$ satisface la restricción de antigüedad, $p3$ no.

lejanía estimada. El razonamiento del vendedor se centra entonces en los otros tres productos. Respecto a $p2$ resuelve que cumple las restricciones de calidad y antigüedad, en cuanto a $p3$ que cumple las restricciones de precio y calidad, y por último que $p4$ cumple las restricciones de precio y antigüedad. A priori, los tres productos están relativamente cerca de los requerimientos del comprador, sin embargo, la calificación de la restricción precio como muy importante para el comprador, hace que se refuerce la estimación de lejanía o distancia de $p2$. La estimación de distancia de los productos $p3$ y $p4$ es similar, de forma que el comprador discrimina por la utilidad de las soluciones. La conclusión es que el vendedor deduce que $p3$ es la mejor oferta posible. Su esfuerzo va destinado a la consecución de la venta de $p3$, que no cumple la restricción de antigüedad. Por ello, la petición de relajación se vuelca en esta restricción de antigüedad.

5. El comprador, tras recibir la propuesta de relajación, se encuentra con que a priori, no tendría inconveniente en relajar la restricción de calidad o antigüedad. Bajo el supuesto de negociación basada en intereses o principios, el comprador acepta relajar la restricción sobre la antigüedad. El vendedor dispone de un producto que sí cumple los requisitos actuales, $p3$. La satisfacción global de la solución es mayor que en el caso de la negociación inexpressiva.

Debe quedar claro que este es un ejemplo que pretende fundamentar nuestra hipótesis. En ningún caso es una demostración que pruebe que mediante estos mecanismos se consiguen siempre mejores soluciones. En base a la aproximación que vamos a seguir en la construcción de nuestro modelo, heurística y de argumentación, la demostración se tendrá que fundamentar en un contraste empírico.

Una vez analizado el ejemplo, intuimos que la utilidad de este tipo de aproximación al problema de la negociación bilateral puede encontrarse también de forma muy concreta en escenarios de comercio electrónico dinámicos, donde los modelos de preferencias de compradores y vendedores se vean modificados incluso durante el propio curso de la negociación. El hecho de incluir en la comunicación metainformación referente a las preferencias parciales de los participantes, puede permitir que en el transcurso de la negociación, ésta se pueda reconducir hacia zonas del espacio de negociación donde aparezcan las nuevas intersecciones.

Por último queremos destacar el desafío que supone formalizar todos los conceptos, que implican entre otras cosas: formalizar los modelos de preferencias de los agentes; definir los perfiles de negociación con los que modelar las actitudes de los agentes frente a sus oponentes; crear un modelo de comunicación que entre otras cosas describa las locuciones necesarias para poder tratar todos los matices expresivos vistos en el ejemplo; presentar una arquitectura que estructure todos los mecanismos de decisión necesarios; y por último, describir una semántica operacional [McBurney y Parsons, 2003] que permita enlazar los mecanismos de decisión con

las locuciones de que disponen los agentes. Todos estos aspectos son tratados y presentados con detalle en las siguientes secciones, constituyendo el núcleo de esta tesis, y las primeras aportaciones realizadas.

3.3. Un modelo de mercado

En esta sección se revisan las especificaciones de alto nivel de los modelos de preferencias de comprador y vendedor que se van a utilizar. En primer lugar se describe de forma abstracta el modelo de preferencias de compra, en base a los modelos de comportamiento de los consumidores que se han venido utilizando en teoría de mercados [Lilien *et al.*, 1992, Roberts y Lilien, 1993]. A continuación se presenta el modelo genérico de decisión del vendedor, conceptualmente más sencillo que el del comprador.

3.3.1. Modelo de preferencias del comprador

En teoría de marketing se establece un principio fundamental por el cual si un consumidor percibe un bien como una simple mercancía, es una evidencia de que la mercadotecnia está fallando. Esta interpretación es equivalente a definir al precio como único criterio de distinción entre bienes. Sin embargo, desde hace cuatro décadas [Lancaster, 1966, Lancaster, 1971] la teoría de marketing ve el producto como una colección de atributos o características que lo definen. La preferencia de un consumidor por un producto será función del valor que tome cada uno de esos atributos, y evidentemente, de la interpretación subjetiva que el consumidor haga de ese valor. Además, cada consumidor asignará una importancia relativa a cada uno de los atributos. La decisión de compra de un consumidor puede ser modelada por tanto como una función de diferentes combinaciones de atributos [Keeny y Raiffa, 1976]. Los modelos de toma de decisiones de compra asumen que el proceso exhaustivo de evaluación de productos no se lleva a cabo sobre todos los productos disponibles en el mercado, sino sobre un subconjunto reducido denominado *conjunto de consideración* [Hauser y Wernerfelt, 1990]. Este conjunto de consideración se entiende como aquel conjunto de productos que superan los umbrales predefinidos para uno o más atributos. Estos umbrales son los mínimos requisitos que todo producto debe cumplir para que sea tenido en consideración a la hora de pasar a la fase de selección del producto preferido. Estos atributos que tienen definidos unos umbrales mínimos para la inclusión en el conjunto de consideración se denominan *no compensatorios*. Esto significa que un valor por debajo del umbral no puede compensarse con valores de otros atributos.

Ejemplo 3.3.1. *En la compra de un vehículo el consumidor define como requisito indispensable que la marca sea Japonesa. Cualquier otro vehículo no Japonés es directamente descartado como opción de compra, independientemente de las características que presente.*

Una vez formado un conjunto de consideración definido por vehículos Japoneses, el consumidor analiza el resto de atributos con el objeto de declarar su preferencia por uno de ellos. En esta segunda fase los atributos se pueden compensar, lo que significa por ejemplo que un precio alto puede compensarse con una calidad también alta.

Vemos en el ejemplo que en la segunda fase de extracción de preferencias los atributos pueden compensarse, son los denominados atributos *compensatorios*.

La forma de modelar estos dos tipos de criterios de selección condiciona fuertemente la definición de un modelo de interacción que permita llevar a cabo un proceso de negociación automática. Distinguimos dos aproximaciones fundamentales: división del proceso de extracción de preferencias en dos fases, una de *inclusión* y otra de *selección*, o fusión de las dos fases en una mediante la adaptación de los umbrales de inclusión en el modelo de decisión compensatorio. La primera requeriría de un diálogo previo que estableciese los criterios de inclusión de forma explícita. De esta forma el diálogo excluiría automáticamente aquellos productos no pertenecientes al conjunto de consideración. La segunda aproximación no requiere de un diálogo previo porque los criterios de inclusión están implícitos en el modelo de preferencias único, y son aplicables durante todo el proceso negociador. Hemos preferido seguir esta segunda aproximación por dos motivos: en primer lugar, la primera alternativa es trivial en cuando a la declaración explícita de criterios de inclusión, y no es de interés desde el punto de vista del estudio de mecanismos de negociación automática, porque no es en si mismo un proceso de negociación; y en segundo lugar, el hecho de utilizar argumentación permite que la valoración subjetiva de los atributos sea declarada de forma explícita, lo que puede permitir que un atributo sea tenido en cuenta por el vendedor como un criterio de inclusión.

Una vez hemos establecido como requisito la creación de un modelo de preferencias único, que incorpora la semántica de inclusión y de selección simultáneamente, falta por definir el formato de representación de dichas preferencias. Como argumentábamos en la sección 2.6 al respecto de las ventajas de la utilización de FCSP en la formalización de preferencias, las restricciones difusas permiten gestionar de forma adecuada la compensación de atributos. Además, una restricción difusa siempre puede ser formulada como una restricción dura, de manera que bajo el mismo formato de representación podemos aplicar criterios de inclusión y de compensación. Estos y otros aspectos mencionados antes nos llevan a basar la representación de preferencias en forma de restricciones difusas a modo de un problema de satisfacción de restricciones. Sin embargo, en esta tesis no se van a abordar los posibles mecanismos de extracción de preferencias. Es decir, no se van a tratar los mecanismos que permiten extraer o capturar las preferencias reales de un consumidor. Desde nuestro punto de vista existe un mecanismo del cual nos abstraemos que permite definir el FCSP que

describe las preferencias del comprador. Existen trabajos que abordan este problema concreto, de los cuales nos gustaría destacar los trabajos de Jose Javier Castro y Xudong Luo en [Castro-Sanchez *et al.*, 2004, Luo *et al.*, 2003a], que tratan de forma muy concreta la captura de preferencias en el caso de formulaciones basadas en restricciones difusas. Ambos trabajos abordan de forma detallada la definición de mecanismos para la adquisición de situaciones de compensación entre atributos. No abordar el problema de la captura de preferencias no supone en cualquier caso una limitación en nuestra aproximación, por que este problema es completamente independiente, bajo una descripción de preferencias con FCSP, respecto de los protocolos de negociación y mecanismos de decisión que se definen.

3.3.2. Modelo de preferencias del vendedor

El modelo de decisión del vendedor es notablemente más sencillo que el modelo del comprador, a efectos de declaración de preferencias. Cada agente vendedor dispone de un conjunto variable de productos que desea vender. Cada uno de los productos está definido por un conjunto de atributos, donde podemos hacer una distinción entre *atributos visibles y no visibles*. Un atributo es visible si es negociable, es decir, pertenece al espacio de negociación. Un atributo es no visible, si no es negociable. Tanto los atributos visibles como no visibles puede influir en la percepción del vendedor acerca de la preferencia que tenga por realizar una venta concreta en un determinado momento. Esta preferencia se va a modelar como una función de utilidad que no tiene por qué ser invariable ni el tiempo ni para cada producto. Esto último significa que de forma determinista el vendedor podría asignar a un producto una determinada utilidad independientemente de las utilidades de otros productos atendiendo a cualquier criterio. La idea de aplicar estas suposiciones es permitir la definición de un catálogo tan flexible como queramos. Estos supuestos no limitan nuestro modelo de negociación, porque el modelo parte de la declaración explícita de una utilidad asignada al producto en cuestión. Por último hay que dejar claro que el precio no tiene por qué ser el único criterio de utilidad, es decir, la venta de un producto muy caro no tiene por qué implicar una utilidad mayor.

3.4. El marco de los problemas de satisfacción de restricciones difusas

En esta sección se describe el marco formal de los problemas de satisfacción de restricciones difusas (FCSP). En primer lugar se describen los problemas de satisfacción de restricciones (CSP), y a continuación se definen los problemas de satisfacción de restricciones difusas (FCSP).

3.4.1. Los problemas de satisfacción de restricciones (CSP)

Definición 3.4.1. (Problema de satisfacción de restricciones (CSP)) *Un problema de satisfacción de restricciones o constraint satisfaction problem (CSP) [Yokoo, 2001] es una tupla (X, D, C) , donde:*

1. $X = \{x_i \mid i = 1, \dots, n\}$ es un conjunto finito de variables.
2. $D = \{d_i \mid i = 1, \dots, n\}$ es un conjunto de dominios. Cada dominio d_i es un conjunto finito que contiene los posibles valores para las correspondientes variables x_i en X .
3. $C = \{R_i \mid R_i \subseteq \prod_{x_j \in \text{var}(R_i)} d_j, i = 1, \dots, m\}$ es un conjunto de restricciones. En este caso $\text{var}(R_i)$ define el conjunto de variables incluidas en una determinada restricción R_i :

$$\text{var}(R_i) = \{x'_1, \dots, x'_{k_{R_i}}\} \subseteq X$$

Definición 3.4.2. (Etiqueta y etiqueta compuesta) *Una etiqueta de una variable x es una asignación de un valor a la variable, que vamos a llamar v_x . Una etiqueta compuesta $v_{X'}$ de todas las variables del set $X' = \{x'_1, \dots, x'_n\} \subseteq X$ es una asignación simultánea de valores a todas las variables del set X' :*

$$v'_{X'} = (v_{x'_1}, \dots, v_{x'_n})$$

Definición 3.4.3. (Función característica) *En un CSP (X, D, C) , la función característica de $R_i \in C$, $\mu_{R_i} : (\prod_{x_j \in \text{var}(R_i)} d_j) \rightarrow \{0, 1\}$, se define como:*

$$\mu_{R_i}(v_{\text{var}(R_i)}) = \begin{cases} 1 & \text{si } v_{\text{var}(R_i)} \in R_i, \\ 0 & \text{el resto.} \end{cases}$$

Una solución al CSP (X, D, C) es una *etiqueta compuesta* $v_X = (v_{x_1}, \dots, v_{x_n})$ de todas las variables en X tal que:

$$\forall R_i \in C, \mu_{R_i}(v_{\text{var}(R_i)}) = 1$$

En definitiva, una restricción sólo permite dos posibilidades, que se cumpla o que no se cumpla la restricción. Una solución debe satisfacer todas las restricciones. Sin embargo, esta representación de restricciones es excesivamente rígida. Este es el motivo por el que se introduce el CSP difuso [Dubois *et al.*, 1994].

3.4.2. Los problemas de satisfacción de restricciones difusas (FCSP)

Definición 3.4.4. (Problema de satisfacción de restricciones difusas (FCSP)) *Un problema de satisfacción de restricciones difusas o fuzzy constraint satisfaction problem*

(FCSP) es una tupla (X, D, C^f) , donde X y D son los mismos que en la definición 3.4.1, y C^f es un conjunto de restricciones difusas:

$$C^f = \left\{ R_i^f | \mu_{R_i^f} : \left(\prod_{x_j \in \text{var}(R_i^f)} d_j \right) \rightarrow [0, 1], i = 1, \dots, m \right\}$$

donde $\text{var}(R_i^f)$ designa el conjunto de variables incluidas en R_i^f .

Utilizando una técnica de corte de matemática difusa [Klir y Yuan, 1995], una restricción difusa puede inducir una restricción dura.

Definición 3.4.5. (Nivel de corte y extracción de una restricción dura) Dado un nivel de corte $\sigma \in [0, 1]$, la extracción de una restricción dura R^c a partir de una restricción difusa R^f implica que:

$$\mu_{R^c}(v_{\text{var}(R^f)}) = \begin{cases} 1 & \text{si } \mu_{R^f}(\text{var}(R^f)) \geq \sigma, \\ 0 & \text{el resto.} \end{cases}$$

Este nivel de corte no es más por tanto que un umbral. Si el nivel de satisfacción sobrepasa este umbral, la solución es satisfactoria.

Finalmente es necesario definir una medida de satisfacción global de las restricciones, dada una etiqueta compuesta.

Definición 3.4.6. (Grado de satisfacción global) El grado de satisfacción global¹⁰ de una etiqueta compuesta v_X se define como:

$$(3.4.1) \quad \alpha(v_X) = \otimes \{ \mu_{R^f}(v_X) | R^f \in C^f \}$$

donde \otimes es un operador de agregación de $[0, 1]^n$ a $[0, 1]$.

El operador de agregación utilizado para calcular el grado de satisfacción global de una etiqueta compuesta depende fundamentalmente de las necesidades del usuario. Si basta con que una de las restricciones sea satisfecha puede utilizarse una *T-conorma* ∇ , sin embargo, si se requiere el cumplimiento de todas las restricciones puede utilizarse una *T-norma* Δ [Zadeh, 1965, Bellman y Zadeh, 1970, Luo *et al.*, 2003c]. Dos de las propiedades más importantes de estos operadores son las siguientes:

Lema 3.4.7. $\forall a_1, \dots, a_n \in [0, 1]$,

$$\Delta(a_1, \dots, a_n) \leq \min\{a_1, \dots, a_n\} \leq \max\{a_1, \dots, a_n\} \leq \nabla(a_1, \dots, a_n)$$

¹⁰No hay que confundir este grado de satisfacción global a efectos de restricciones locales, con el correspondiente a la estimación de la bondad de una solución desde el punto de vista de todos los agentes en conjunto. Este último concepto ya se trató en el capítulo de Introducción.

Lema 3.4.8. $\forall a \in [0, 1]$,

$$a \triangle 0 = 0,$$

$$a \nabla 1 = 1$$

Ejemplo 3.4.9. *Estos son algunos ejemplos de T-normas y T-conormas (dentro de cada ejemplo, el operador de la izquierda representa una T-norma y el de la izquierda una T-conorma) [Luo et al., 2003c]:*

1) Zadeh (\wedge, \vee)

$$a \wedge b = \min\{a, b\},$$

$$a \vee b = \max\{a, b\}$$

2) Probabilidad $(\bullet, \hat{+})$

$$a \bullet b = a \times b,$$

$$a \hat{+} b = a + b - a \times b$$

3) Einstein (\dot{E}, \hat{E})

$$a \dot{E} b = \frac{ab}{1 + (1-a)(1-b)},$$

$$a \hat{E} b = \frac{a+b}{1+ab}$$

4) Límite (\odot, \oplus)

$$a \odot b = \max\{0, a + b - 1\},$$

$$a \oplus b = \min\{1, a + b\}$$

De estos operadores, los operadores Zadeh se centran en el mínimo y máximo, por lo que se pierde mucha información. Se puede establecer el siguiente orden para dichos operadores:

$$\odot \leq \dot{E} \leq \bullet \leq \wedge \leq \vee \leq \hat{+} \leq \hat{E} \leq \oplus$$

Seleccionando el operador apropiado es posible modificar los criterios de cálculo del grado de satisfacción global, desde una T-norma muy pesimista a una T-conorma muy optimista. Debe quedar claro, como se apuntó antes, que en cualquiera de los casos, los criterios para la aplicación de operadores son subjetivos, y función de la percepción de utilidad que defina el usuario.

Una vez descrito el marco de los problemas de satisfacción de restricciones difusas podemos pasar a describir el modelo de negociación, comenzando por los ámbitos de conocimiento de los agentes comprador y vendedor.

3.5. Conocimiento del dominio del agente comprador

En esta sección presentamos nuestra conceptualización de un agente comprador. Dicha conceptualización la vamos a basar en la definición de un conjunto de requerimientos genéricos que se van a plasmar en un modelo de requerimientos.

En la sección 3.3.1 y a lo largo de todo el capítulo 2 hacíamos referencia a la importancia de la extracción de preferencias de los agentes negociadores, y a la formalización de dichas preferencias. Concluíamos que un modelo de definición de preferencias basado en restricciones difusas era muy conveniente para el caso de un agente comprador. En este sentido, el primero de los aspectos fundamentales en la definición de un modelo de requerimientos es el que trata la descripción de preferencias. Por otra parte, sabemos que en base a esas preferencias el agente comprador interacciona conforme a una estrategia para conseguir los objetivos, normalmente la maximización de sus preferencias. Sin embargo, nuestro objetivo es tratar el problema de la negociación mediante una aproximación híbrida heurística y argumental, de manera que a priori, las estrategias más adecuadas tendrán que ser contrastadas mediante experimentación. Así, parece interesante introducir en el modelo de requerimientos un perfil de comportamiento o actitud del agente. De esta manera extendemos el concepto de preferencia al ámbito de la actitud frente al oponente, con el objeto de conseguir un modelo de negociación más general. Definimos a continuación el ámbito de conocimiento básico de un agente comprador, como un modelo de requerimientos basado en un modelo de preferencias sobre los atributos de productos, y un modelo de actitud o perfil negociador.

Definición 3.5.1. (Modelo de requerimientos de un comprador) *El modelo de requerimientos de un comprador es definido como $\mathcal{B}_{req} = (F, N_b)$, donde $F = (X, D, C^f)$ es un FCSP que describe el modelo de preferencias sobre los atributos de productos, tal que X es un conjunto de atributos de un producto, D es el conjunto de dominios de los atributos, y C^f es un conjunto de restricciones difusas que expresan los requerimientos sobre los atributos. $N_b = \{\xi, \eta\}$ es el perfil negociador del comprador, donde $\xi \in \{0, 1\}$ representa el perfil expresivo del agente, y $\eta \in [0, 1]$ representa el perfil receptivo. El perfil expresivo discrimina entre la utilización o no de argumentos en las propuestas emitidas a un vendedor, mientras el perfil receptivo modula la importancia que van a tener en los procesos de decisión los argumentos procedentes de un vendedor.*

La funcionalidad del *modelo de preferencias* es doble, por una parte permite calcular la satisfacción que le reporta a un comprador la adquisición de un determinado producto, y por

otra permite disponer de una fuente de información a partir de la cual generar peticiones de compra basadas en la maximización de la utilidad subjetiva. En base a esta funcionalidad, por otra parte imprescindible en un agente de compra, vamos a presentar una serie de definiciones derivadas que son piezas clave en el ámbito operativo del agente. En primer lugar vamos a formalizar la evaluación del grado de satisfacción que obtiene un comprador con un producto, y en segundo lugar vamos a formalizar el concepto de requerimiento de compra y la evaluación del grado de satisfacción que puede obtener un comprador a partir de un requerimiento de compra.

Definición 3.5.2. (Grado de satisfacción global para un producto) *Dado un modelo de preferencias F de un comprador, el grado de satisfacción global para un producto $p_k = (a_1, \dots, a_n)$, donde a_j representa el valor del atributo j , viene dado por la ecuación 3.4.1 descrita en la definición 3.4.6 del cálculo del grado de satisfacción global de una etiqueta compuesta.*

En este caso el producto p_k es equivalente a la *etiqueta compuesta*, de manera que el grado de satisfacción global será función del grado de cumplimiento de las funciones características de cada una de las restricciones definidas en F .

Definición 3.5.3. (Requerimiento de compra) *Sea $R_i^{c(\sigma_i)}$ una restricción dura extraída a partir de la restricción difusa $R_i^f \in C^f | i = 1, \dots, m$ a un nivel de corte σ_i , un requerimiento de compra se define como una proposición:*

$$\lambda_{\mathcal{B}_{req}} = \bigwedge \{R_{k_1}^{c(\sigma_{k_1})}, \dots, R_{k_i}^{c(\sigma_{k_i})}\} \subseteq C^f | k_j \in \{1, \dots, m\}$$

Esto significa que un requerimiento de compra es una proposición que enlaza un conjunto de restricciones duras mediante operadores lógicos. Estas restricciones duras se extraen de sus correspondientes restricciones difusas a niveles de corte independientes. El requerimiento de compra podrá estar formado por un subconjunto o por el conjunto de restricciones difusas definidas en el modelo de preferencias. Hay que aclarar que aunque el operador definido \bigwedge es una “y lógica”, también sería factible por ejemplo la aplicación de una “o lógica” \bigvee , o una combinación de operadores lógicos distintos. La selección de un operador u otro debe ser función del operador utilizado en el cálculo de satisfacción global (ver ecuación 3.4.1). Preferimos fijar de todas formas un operador único, de manera que cualquier combinación lógica más sofisticada se describa en las propias restricciones de forma individual.

Definición 3.5.4. (Grado de satisfacción global potencial de un requerimiento de compra) *Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, el grado de satisfacción global que un*

comprador puede alcanzar si dicho requerimiento es satisfecho por el vendedor, es el denominado grado de satisfacción global potencial, que se define como:

$$\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}} = \otimes\{\sigma_i | i = 1, \dots, m\}$$

donde el operador \otimes es el operador utilizado en la ecuación 3.4.1 para el cálculo del grado de satisfacción global, y σ_i representa el nivel de corte aplicado a la restricción R_i^f para la generación del requerimiento de compra.

Es importante puntualizar que mientras un requerimiento de compra no tiene por qué incluir un extracto de todas las restricciones difusas, el cálculo de la satisfacción potencial de un requerimiento de compra requiere el cálculo del grado de cumplimiento de todas las restricciones. Recordemos que un requerimiento de compra está formado por restricciones duras que se extraen de un subconjunto o el conjunto completo de las restricciones difusas definidas, es decir, un comprador puede enviar un requerimiento muy vago donde sólo se envíe información al respecto de una o dos restricciones por ejemplo. Sin embargo, independientemente de la emisión del requerimiento y en definitiva de lo que se haya querido expresar en la locución enviada a un vendedor, un producto ofertado por el vendedor debe satisfacer no sólo la restricciones enviadas, sino todas aquellas que localmente determinan el grado de satisfacción deseado. Esto significa que deben tenerse en cuenta los cortes aplicados a las restricciones difusas, aunque dichas restricciones no sean incluidas en el requerimiento de compra.

Con las herramientas definidas hasta este punto, un agente comprador sería capaz de describir la sintaxis de un requerimiento de compra, de evaluar una oferta concreta de un vendedor y calcular el grado de satisfacción que obtendría con la compra, y de calcular el grado de satisfacción que obtendría con una oferta que se ajustase a un requerimiento de compra concreto. Sin embargo, cubriendo solamente estos aspectos, no estamos habilitando al comprador para que pueda expresar su valoración acerca de un requerimiento de compra. Es decir, el único tipo de diálogo que podría entablar sería equivalente al que definíamos en el ejemplo de la sección 3.2 como *inexpresivo*. Para dotar a un agente comprador de la capacidad expresiva suficiente para valorar requerimientos de compra, se define a continuación lo que hemos denominado *valoración de requerimiento de compra*.

Definición 3.5.5. (Valoración de requerimiento de compra) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, definimos la valoración de un requerimiento de compra como un vector:

$$v_{\mathcal{B}_{req}} = (v_{k_1}, \dots, v_{k_i}) | v_{k_j} \in [0, 1], k_j \in \{1, \dots, m\}$$

donde v_{k_j} expresa la preferencia que el comprador tiene por que la restricción k_j sea satisfecha. $v_{k_j} = 1$ define el mayor grado de preferencia, y $v_{k_j} = 0$ el menor.

Es conveniente hacer algunas matizaciones. Con esta definición, no se asume que una expresión de preferencia tenga que ser verdadera. Es decir, el agente comprador puede mentir acerca de sus preferencias reales. Como se comentaba en la sección 2.3 dedicada a las aproximaciones basadas en teoría de juegos, que un agente tenga como estrategia dominante decir la verdad, depende del diseño de los mecanismos. Por otra parte, modular el grado de preferencia por una restricción entre 0 y 1 es completamente arbitrario. Podíamos haber utilizado por ejemplo una descripción de preferencias basada en proposiciones difusas del tipo: “preferencia alta”, “preferencia baja”, etc. . . Sin embargo, en cualquiera de los dos casos, estas medidas dependen en último lugar de la interpretación subjetiva de que las recibe, de manera que a priori, utilizar uno u otro formato no representa una ventaja significativa. Por último, esta definición no entra en aspectos tales como qué criterios aplica el comprador para valorar los requerimientos, que entrarían dentro de la definición de los mecanismos de decisión.

3.6. Conocimiento del dominio del agente vendedor

En esta sección presentamos nuestra conceptualización de un agente vendedor. Dicha conceptualización la vamos a basar en la definición de un conjunto de requerimientos genéricos que se van a plasmar en un modelo de requerimientos, al igual que hicimos en la sección anterior con el agente comprador.

El ámbito de conocimiento básico de un agente vendedor es el modelo de requerimientos que definimos a continuación:

Definición 3.6.1. (Modelo de requerimientos de un vendedor) *El modelo de requerimientos de un vendedor se define como $\mathcal{S}_{req} = (S, N_s)$, donde S representa el catálogo de productos del vendedor, y N_s define el perfil negociador del vendedor. El catálogo de productos se especifica de la siguiente manera:*

$$S = \{s_j | s_j = (p_j, u_j), p_j = (a_{j1}, \dots, a_{jn}), 0 \leq j \leq k\}$$

donde s_j representa una entrada en el catálogo de productos, p_j es un vector de atributos del producto, y u_j asigna un valor de utilidad a la venta de un producto p_j . k define el número total de productos en el catálogo. El perfil negociador del comprador es definido por la tupla:

$$N_s = \{\psi, \beta, \Delta^t\}$$

donde $\psi \in \{0, 1\}$ representa el perfil expresivo del agente, y $\beta \in [0, 1]$ representa el perfil receptivo. El perfil expresivo discrimina entre la utilización o no de argumentos en las propuestas emitidas a un comprador, mientras el perfil receptivo modula la importancia que van a tener en los procesos de decisión los argumentos procedentes de un comprador. Δ^t representa

el conjunto de creencias del agente vendedor. Este conjunto se define como:

$$\Delta^t = \{(\delta_i^t, \gamma_i^t), i = 1, \dots, m\}$$

donde δ_i^t representa la creencia en el instante t acerca de la estrategia de relajación utilizada por el comprador al respecto de la restricción difusa R_i , y $\gamma_i^t \in [0, 1]$, es el grado de certidumbre acerca de la creencia δ_i^t .

El catálogo de productos del vendedor es dinámico en un doble sentido. En primer lugar se asume que el número de productos del catálogo no es estático, es decir, incluso durante una negociación pueden aparecer o desaparecer productos. En segundo lugar, para un conjunto definido de productos, las utilidades asignadas u_j pueden verse modificadas por factores externos. Al respecto del conjunto de creencias Δ^t del vendedor, y en concreto de la creencia δ_i^t , tenemos que dejar pendiente su especificación detallada, porque es dependiente de los mecanismos de decisión definidos. Por último aclaramos que el grado de incertidumbre no debe interpretarse de forma probabilística, de manera que un grado de certidumbre alto no implica que la creencia sea consecuente con la realidad, el agente puede equivocarse.

Con las herramientas definidas hasta este punto, un agente vendedor sería capaz de describir la sintaxis de una oferta:

Definición 3.6.2. (Oferta de venta) Una oferta de venta está definida por un producto p_j del catálogo s_j .

Podría además evaluar el grado de satisfacción que obtendría con la venta, a partir de la utilidad asignada u_j . Sin embargo, cubriendo solamente estos aspectos, no estamos habilitando al vendedor para que pueda expresar su valoración acerca de la no disponibilidad de una oferta adecuada, conforme a un requerimiento de compra recibido. Es decir, el único tipo de diálogo que podría entablar sería equivalente al que definíamos en el ejemplo de la sección 3.2 como *inexpresivo*. Para dotar a un agente vendedor de la capacidad expresiva suficiente para valorar la no disponibilidad de ofertas, se define a continuación el concepto de *requerimiento de relajación*:

Definición 3.6.3. (Requerimiento de relajación) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, definimos un requerimiento de relajación como un vector:

$$\rho_{\mathcal{B}_{req}} = (r_{k_1}, \dots, r_{k_i}) | r_{k_j} \in [0, 1], k_j \in \{1, \dots, m\}$$

donde r_{k_j} expresa la preferencia que el vendedor tiene por que la restricción k_j sea relajada. $r_{k_j} = 1$ define el mayor grado de preferencia, y $r_{k_j} = 0$ el menor.

Al igual que comentamos en la definición 3.5.5 al respecto de la valoración de un requerimiento de compra, con esta definición, no se asume que una expresión de preferencia tenga

que ser verdadera, y la graduación de preferencias sigue siendo arbitraria. Por último, esta definición tampoco entra en aspectos tales como qué criterios aplica el vendedor para valorar los requerimientos de relajación, que entrarían dentro de la definición de los mecanismos de decisión.

3.7. Modelo de diálogo de negociación de compra

Se han descrito los ámbitos de conocimiento de los agentes comprador y vendedor, de manera que se han formalizado los modelos de preferencia y los perfiles de negociación correspondientes. Además, hemos definido las estructuras de información adecuadas para poder expresar requerimientos de compra y de venta. Sin embargo, todavía no hemos definido los mecanismos de comunicación que permiten la transmisión de estos requerimientos. En esta sección nos vamos a centrar en la definición de un modelo válido de comunicación que permita el desarrollo de procesos de negociación mediante diálogos automáticos, en definitiva, que permita que los agentes puedan interactuar de forma adecuada.

Cada vez más, los protocolos de comunicación de agentes utilizan como base para estructurar interacciones el *marco de los juegos de diálogo formales* [McBurney *et al.*, 2002], adoptado del campo de la teoría de argumentación. Los *juegos de diálogo formales* son juegos en los que dos o más participantes pronuncian o emiten *locuciones* acordes a ciertas reglas predefinidas. Recientemente han encontrado aplicación como base de los protocolos de comunicación entre agentes software en: diálogos de negociación [McBurney *et al.*, 2003]; diálogos de persuasión [Amgoud *et al.*, 2000a], donde un agente intenta persuadir a otro al respecto de una afirmación; o diálogos de deliberación [Hitchcock *et al.*, 2001], donde los participantes persiguen el acuerdo en cuanto al curso de una acción en un determinado momento, entre otros. McBurney, Parsons y Wooldridge proponen en [McBurney *et al.*, 2002] una lista de recomendaciones que pretenden ser un punto de partida en el diseño formal de protocolos de argumentación en sistemas multiagente. Se asume que los agentes son autónomos, y que tienen libertad para entrar o abandonar un diálogo cuando consideran oportuno. Para la elaboración de estas recomendaciones se asume que la especificación de un protocolo basado en juegos de diálogo consiste en: (a) un conjunto de materias de discusión (que pueden representarse mediante algún lenguaje lógico); (b) la sintaxis de un conjunto de locuciones relacionadas con las materias de discusión; (c) un conjunto de reglas que dirigen la emisión de las locuciones; (d) un conjunto de reglas que establecen los compromisos que adquieren los agentes al emitir determinadas locuciones; y (e) un conjunto de reglas que gobiernan las circunstancias bajo las cuales un diálogo termina. A esta especificación se le denomina *sistema dialéctico* [McBurney y Parsons, 2002]. Repasamos brevemente estas recomendaciones, que hemos considerado en el diseño de nuestro modelo de diálogo de negociación.

Propósito del diálogo: Los propósitos de un diálogo deberían ser expuestos de forma pública, de forma que los agentes que participen en él los conozcan.

Diversidad de los propósitos inviduales: El sistema dialéctico debería permitir a los agentes la consecución de sus objetivos individuales, consistentes con el propósito global del diálogo.

Transparencia: Los participantes en un diálogo deberían conocer las reglas y la estructura de un sistema dialéctico antes de comenzar el diálogo.

Justicia: Los participantes deberían ser tratados igual, haciendo explícitas las asimetrías. Por ejemplo, es apropiado que los vendedores y compradores asuman roles diferentes en un diálogo de compra.

Separación de la sintaxis y la semántica: La sintaxis de un sistema dialéctico debería estar separada de su semántica. Así, la misma sintaxis es reutilizable con otra semántica, y la verificación sintáctica puede realizarse independientemente, aunque la verificación semántica no sea realizable.

Consistencia de las reglas: Las locuciones y reglas deberían ser consistentes internamente, es decir, no deben alcanzarse deadlocks (bloqueos) ni ciclos de repetición infinita de locuciones.

Estímulo a la resolución: Las locuciones y reglas deberían facilitar la terminación normal de los diálogos, y evitar los comportamientos perjudiciales, como la emisión repetida de la misma locución.

Habilidad de autotransformación: Los participantes deberían ser capaces de modificar sus preferencias o sus valoraciones de utilidad como resultado de la información que reciben de los demás en un diálogo.

Simplicidad: Las locuciones y las reglas deberían ser tan sencillas como fuese posible.

Simplicidad computacional: Un sistema dialéctico debe minimizar las demandas computacionales del sistema.

Una vez definido el modelo de diálogo de negociación de compra, lo contrastaremos con las recomendaciones listadas.

3.7.1. Modelo de diálogo de alto nivel

Vamos a presentar ahora nuestro modelo de alto nivel para los diálogos de negociación entre compradores y vendedores en una transacción de compraventa. Todo diálogo está restringido a dos agentes, uno comprador y otro vendedor, de manera que los diálogos son exclusivamente bilaterales. Esto no significa que ambos agentes no puedan mantener en paralelo diálogos con otros compradores y vendedores, pero serán en cualquier caso diálogos diferentes.

Un diálogo está estructurado en fases según la siguiente lista:

1. **Apertura del diálogo:** el diálogo comienza.
2. **Negociación:** esta fase está definida por una secuencia de interacciones, que están fundamentadas en el ámbito de conocimiento descrito anteriormente. Dichas interacciones se enumeran a continuación:
 - Un comprador:
 - Emite *requerimientos de compra*.
 - Emite *valoraciones de requerimientos de compra*.
 - Rechaza *ofertas de venta*.
 - Un vendedor:
 - Emite *ofertas de venta*.
 - Rechaza *requerimientos de compra*.
 - Propone *la relajación de los requerimientos de compra*.
 - Rechaza *compromisos de compra*.
3. **Confirmación:** los participantes comprometen y confirman un acuerdo.
4. **Cierre del diálogo:** el diálogo termina.

En la sección 2.5.5.1 presentábamos el trabajo de McBurney [McBurney *et al.*, 2003] sobre protocolos de diálogo multilaterales. En el modelo de diálogo que describen aparecían al final 7 fases, sin embargo, dos de ellas, **Form Consideration Set** y **Select Options**, como los propios autores reconocen, son en realidad mecanismos internos, y no forman parte realmente del diálogo. Esto significa que dicho modelo podría reducirse a 5 fases, similares al modelo que proponemos, más una fase denominada **Information** en la que los autores proponen que el comprador emita solicitudes de información acerca de productos. La idea es que los vendedores respondan con un conjunto de ofertas definidas a partir de atributos, sin incluir el precio, para que tras una fase de inclusión (**Form Consideration Set**) y otra fase de selección (**Select Options**) se negocie sobre el precio de dichos productos. Esto implica que la negociación se reduce a regatear sobre el precio, mientras que nuestro objetivo es la negociación multiatributo. De esta manera, nuestra propuesta no incluye esta fase **Information**, y la estructuración de la fase de negociación es completamente distinta de la fase de negociación propuesta en su trabajo. Además, su propuesta de diálogo es multilateral, es decir, los diálogos no están restringidos a un único comprador y un único vendedor.

Nuestra propuesta de diálogo está sujeta a las siguientes reglas:

- La primera fase en todo diálogo es **Apertura del diálogo**.
- La fases **Apertura** y **Cierre del diálogo** sólo pueden ocurrir una vez en todo diálogo.

- Las únicas fases que deben aparecer en todo diálogo que acaba normalmente son **Apertura y Cierre del diálogo**.
- La fase de **Confirmación** requiere que previamente se haya pasado por la fase de **Negociación**.
- La última fase de todo diálogo que termina normalmente es **Cierre del diálogo**.
- Los participantes pueden conmutar entre las fases de **Negociación** y **Confirmación**, sujetos sólo a las reglas y restricciones definidas por las reglas de combinación de locuciones que describimos más adelante.

A continuación vamos a articular esta propuesta de diálogo de alto nivel, mediante la descripción de las locuciones correspondientes.

3.7.2. Locuciones del modelo de diálogo

Nuestra propuesta de locuciones incluye una sintaxis formal, y las reglas del juego de diálogo que implementa la estructura en fases descrita anteriormente.

Vamos a designar a los agentes compradores y vendedores como P_b y P_s respectivamente. Cuando queramos hacer referencia a cualquier agente utilizaremos la notación P_x o P_y . A continuación definimos los elementos que forman parte del dominio de discurso:

Categoría: Hace referencia a la categoría o tipo de producto sobre el que se articula el diálogo negociador (p.ej. coche). Se designa utilizando la letra griega θ .

Requerimiento de compra: Se designa como $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$ (ver definición 3.5.3). Se asume la existencia de un lenguaje proposicional que enlaza un conjunto de restricciones duras mediante operadores lógicos. Por ejemplo: “*precio bajo y calidad alta o media*”¹¹ o “*precio entre 100 y 200 y calidad entre 20 y 30*”.

Producto: Hace referencia a un producto concreto, y se designa como p_j (ver definición 3.6.1). Se asume que el producto se presenta como un conjunto de atributos (a_{j1}, \dots, a_{jn}) completo, es decir, se incluyen todos los atributos negociables. Se permite la representación en forma de lenguaje proposicional, o en forma de vector de atributos.

Valoración de requerimiento de compra: Se representa como $v_{\mathcal{B}_{req}}$ (ver definición 3.5.5). Se asume que la valoración se presenta como un conjunto de valores numéricos o literales de la forma $(v_{k_1}, \dots, v_{k_i})$. Se permite la representación en forma de lenguaje proposicional, o en forma de vector.

¹¹Recordemos que una restricción dura puede venir definida por un término lingüístico, inducida a partir de una restricción difusa formada por un conjunto de términos lingüísticos que el comprador categoriza en función del grado de satisfacción que reporta su cumplimiento. Efectivamente en este caso el cumplimiento final por parte del vendedor de las restricciones emitidas por el comprador dependen de la interpretación que haga aquél de los términos lingüísticos.

Requerimiento de relajación: Se representa como $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ (ver definición 3.6.3). Se asume que el requerimiento se presenta como un conjunto de valores numéricos o literales de la forma $(r_{k_1}, \dots, r_{k_i})$. Se permite la representación en forma de lenguaje proposicional, o en forma de vector.

Se asume que cada participante dispone de un *Almacén de Información* denominado $AI(P_x)$, que contiene la información que cada participante P_x ha enviado durante el curso de un diálogo. Dependiendo del rol del agente, las entradas del almacén serán diferentes. En el caso del agente comprador, las entradas corresponden a los requerimientos de compra enviados $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, o un compromiso de compra p_j . En el caso del agente vendedor las entradas corresponden a las ofertas de productos o compromisos de venta p_j remitidos en algún momento al comprador.

Para cada locución vamos a especificar las precondiciones requeridas para su emisión, su significado, las respuestas que requiere dicha emisión, y el impacto en el Almacén de Información. Las locuciones están agrupadas en función de las fases del modelo de diálogo de alto nivel que hemos propuesto, y se numeran secuencialmente utilizando la notación¹² descrita en [McBurney y Parsons, 2002] con el prefijo **L1**, **L2**, ...

Comenzamos con las locuciones de la fase de **Apertura del diálogo**.

L1: Locución **open_dialogue(.)**:

Locución: **open_dialogue**(P_b, P_s, θ).

Precondiciones: Esta locución no debe haber sido emitida previamente. El comprador P_b debe tener la necesidad de adquirir un producto en la categoría θ .

Significado: El comprador P_b sugiere la apertura de un diálogo negociador con el vendedor P_s sobre productos de la categoría θ . Un diálogo siempre debe comenzar con esta locución. Se asume que la identidad del vendedor P_s es conocida, por lo que esta locución no implica una búsqueda de un destinatario.

Respuesta: El vendedor P_s debe responder con **enter_dialogue**(P_s, P_b, θ) si desea participar en dicho diálogo.

Actualización AI: No se produce actualización.

L2: Locución **enter_dialogue(.)**:

Locución: **enter_dialogue**(P_s, P_b, θ).

Precondiciones: El comprador P_b debe haber emitido **open_dialogue**(P_b, P_s, θ).

P_s debe tener la necesidad de vender productos de la categoría especificada θ .

Significado: El agente vendedor P_s indica su deseo de incorporarse a un diálogo de negociación de compra sobre productos de la categoría θ con el comprador P_b .

¹²Hemos preferido utilizar la versión inglesa en la denominación de las locuciones, sin modificar el formato original utilizado en nuestras publicaciones.

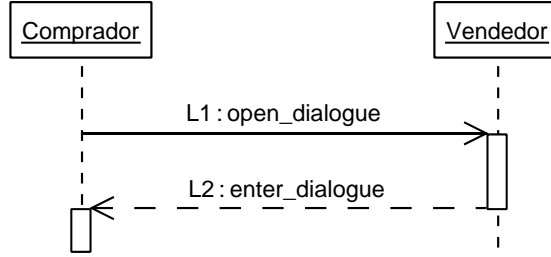


Figura 3.5. Apertura del diálogo

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: No se produce actualización.

Se entiende que un diálogo queda abierto cuando un comprador inicia la solicitud de apertura con **open_dialogue(.)**, y el vendedor responde con **enter_dialogue(.)** (ver figura 3.5). Un diálogo permanece abierto hasta que uno de los dos agentes no emite una locución **withdraw_dialogue(.)**. Para que un agente pueda emitir cualquier otra locución, el diálogo debe estar establecido, luego esta es una precondition que forma parte del resto de locuciones. Preferimos no incluir explícitamente esta precondition en las restantes locuciones con el objeto de que el texto quede más claro.

Ahora presentamos las locuciones de la fase de **Negociación**:

L3: Locución **willing_to_sell(.)**:

Locución: **willing_to_sell**(P_s, P_b, p_j).

Precondiciones: Un comprador debe emitir **desire_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) o una locución **prefer_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$) donde p_j debe satisfacer el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$.

Significado: El vendedor P_s le indica al comprador P_b su deseo de vender un producto p_j que satisface el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$ recibido anteriormente mediante la locución **desire_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) o una locución **prefer_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$).

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: Se almacena en un registro la oferta de venta p_j .

L4: Locución **desire_to_buy(.)**:

Locución: **desire_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$).

Precondiciones: No hay precondiciones.

Significado: El agente comprador P_b , hablando al vendedor P_s , le indica su deseo de comprar un producto que satisfaga el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$.

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: Se almacena en un registro el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$.

L5: Locución **prefer_to_sell(.)**:

Locución: **prefer_to_sell**($P_s, P_b, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \rho_{\mathcal{B}_{req}}$).

Precondiciones: P_b debe emitir una locución **desire_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) o una locución **prefer_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$).

Significado: El agente vendedor P_s , le indica al comprador P_b , que debería relajar el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$ recibido a través de las locuciones **desire_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) o **prefer_to_buy** ($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$), y expresa su preferencia por la relajación de restricciones específicas del requerimiento de compra mediante el requerimiento de relajación $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$.

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: No se actualiza.

L6: Locución **prefer_to_buy(.)**:

Locución: **prefer_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$).

Precondiciones: No hay precondiciones.

Significado: El agente comprador P_b , le indica al vendedor P_s , su deseo de adquirir un producto que satisfaga el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, y expresa sus preferencias en cuanto a la importancia relativa que tienen las restricciones incluidas en el requerimiento de compra mediante la valoración de requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}}$.

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: Se almacena en un registro el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$.

L7: Locución **refuse_to_buy(.)**:

Locución: **refuse_to_buy**(P_b, P_s, p_j).

Precondiciones: No puede ser emitida tras **agree_to_buy** (P_b, P_s, p_j).

Significado: El agente comprador P_b expresa su rechazo a la compra de un producto p_j .

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: No se actualiza.

L8: Locución **refuse_to_sell(.)**:

Locución: **refuse_to_sell**(P_s, P_b, p_j) ó **refuse_to_sell**($P_s, P_b, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$).

Precondiciones: La locución **refuse_to_sell**(P_b, P_s, p_j) no puede emitirse tras una emisión válida de **agree_to_sell**(P_s, P_b, p_j), siendo válida únicamente tras la recepción de **agree_to_buy**(P_b, P_s, p_j). Un comprador P_b debe emitir **desire_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) o **prefer_to_buy**($P_b, P_s, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}, v_{\mathcal{B}_{req}}$) para que **refuse_to_sell**($P_s, P_b, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$) sea válida.

Significado: El agente vendedor P_s expresa su rechazo a vender el producto p_j o a vender un producto que satisfaga el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$.

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: No se actualiza.

Es importante aclarar que las locuciones utilizadas en la fase de negociación no implican compromiso alguno por parte de sus emisores. Por otro lado, **L8: refuse_to_sell**(P_s, P_b, p_j) es una locución que sirve como respuesta a una locución de la fase de confirmación, de manera que se rechaza el compromiso asumido por un comprador. La figura 3.6 resume la dependencia de las locuciones emitidas por el vendedor ante la emisión por parte del comprador de las locuciones **desire_to_buy**(.) o **prefer_to_buy**(.). Mientras que estas dos locuciones pueden emitirse en cualquier momento durante la fase de negociación, las locuciones emitidas por el vendedor son siempre una respuesta al comprador.¹³

A continuación presentamos las locuciones de la fase de **Confirmación** (ver figura 3.7):

L9: Locución **agree_to_buy**(.):

¹³La locución **refuse_to_buy**(.) no tiene ni es fuente de ninguna dependencia.

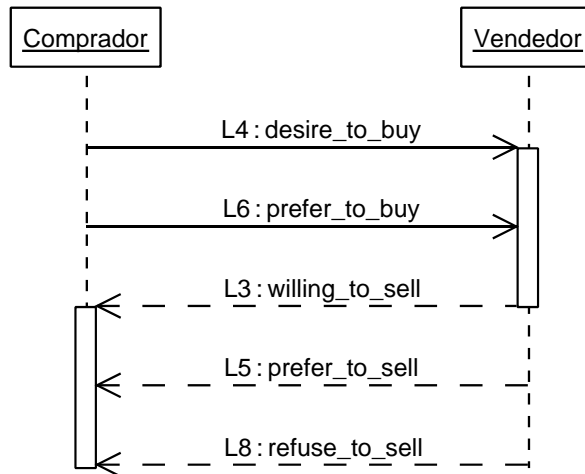


Figura 3.6. Fase de negociación

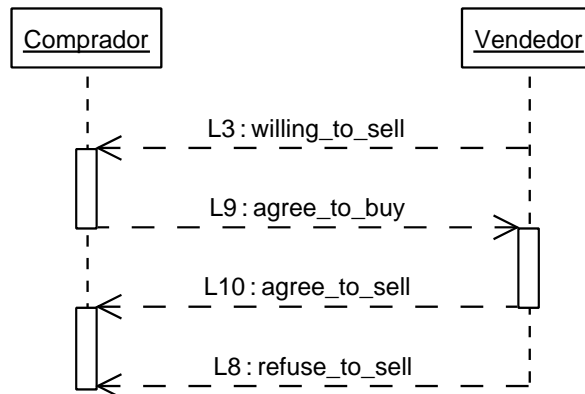


Figura 3.7. Fase de confirmación

Locución: `agree_to_buy`(P_b, P_s, p_j).

Precondiciones: Esta locución es siempre una respuesta a `willing_to_sell`(P_s, P_b, p_j).

Significado: El agente comprador P_b dirigiéndose al agente vendedor P_s se compromete a comprar el producto p_j .

Respuesta: Si el agente vendedor P_s desea vender el producto p_j , puede responder con la locución `agree_to_sell`(P_s, P_b, p_j).

Actualización AI: Se almacena en un registro el compromiso de compra p_j .

L10: Locución `agree_to_sell`(.):

Locución: `agree_to_sell`(P_s, P_b, p_j).

Precondiciones: Debe haberse recibido una locución `agree_to_buy`(P_b, P_s, p_j).

Significado: El agente vendedor P_s , dirigiéndose al agente comprador P_b , se compromete a vender el producto p_j .

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: Se almacena en un registro el compromiso de venta p_j .

Vemos como la locución `willing_to_sell`(.) es el nexo de unión entre la fase de negociación y de confirmación, y cómo la confirmación del vendedor es dependiente del compromiso inicial del comprador. Finalmente presentamos la única locución de la fase **Cierre del diálogo**:

L11: Locución `withdraw_dialogue`(.):

Locución: `withdraw_dialogue`(P_x, P_y, θ), donde P_x and P_y son participantes con diferentes roles, es decir, compradores o vendedores.

Precondiciones: Esta locución puede emitirse en cualquier momento tras la apertura del diálogo.

Significado: Un agente P_x anuncia al agente P_y que abandona el diálogo de negociación de compra de productos de la categoría θ .

Respuesta: No se requiere.

Actualización AI: No se actualiza.

Todas las locuciones presentadas definen reglas del diálogo desde una perspectiva sintáctica. Con el objeto de desacoplar la sintaxis de la semántica, no se han formulado requerimientos de respuesta en todos los casos. El siguiente paso en la definición de nuestro modelo de negociación, es el que comprende el diseño de los mecanismos de toma de decisiones, que invocarán durante el transcurso de un diálogo las locuciones previamente definidas. Estos mecanismos se presentan en la siguiente sección.

3.8. Arquitectura para los mecanismos de decisión

Nuestra definición de las reglas del juego de diálogo descritas anteriormente aborda el problema sintáctico. No se han hecho suposiciones acerca de las arquitecturas de toma de decisiones o acerca de los estados mentales de los participantes. Así, cualquier agente que desee participar en un diálogo negociador podría hacerlo conforme a las reglas ya definidas, independientemente del significado subyacente que tuviese la emisión de cada una de las locuciones definidas. Sin embargo, las reglas sintácticas no son suficientes para asegurar que los diálogos se generen automáticamente. Es imprescindible equipar a cada participante con los mecanismos que permitan invocar determinadas locuciones en el momento adecuado, como respuesta a locuciones pasadas, o como anticipo de futuras locuciones. A este tipo de mecanismos les vamos a denominar *mecanismos de decisión semánticos*. A continuación presentamos una lista completa de todos los mecanismos de decisión semánticos que van a permitir la generación de diálogos automáticos entre un comprador y un vendedor, con el objeto negociar la compra de un producto de categoría θ , conforme al conjunto de locuciones definidas. Los mecanismos se van a agrupar en función del rol de participante: Comprador (**B**) o Vendedor (**S**). Para cada mecanismo se van a describir sus directrices generales, y a continuación se van a detallar sus funcionalidades específicas. Además, se especifican las salidas generadas por el mecanismo, punto clave para describir en la siguiente sección la funcionalidad operativa o semántica operacional que va a enlazar los mecanismos de decisión y locuciones. Aclaramos por último que la definición de la arquitectura pretende ser un marco lo suficientemente genérico, de forma que permita a posteriori la instanciación del modelo mediante diferentes aproximaciones algorítmicas y estratégicas de manera sencilla.

Comenzamos en primer lugar con los mecanismos de decisión del **Agente Comprador**.¹⁴

B1: Recognize Need: Permite que un agente comprador reconozca la necesidad de adquirir un producto. Dicho reconocimiento puede ser consecuencia de la iniciativa explícita de un usuario (p.ej. a través de un interfaz el usuario da la orden a su agente personal de su intención de adquirir un producto), o puede ser un proceso automático basado en umbrales que se dispare automáticamente (p.ej. cuando un agente personal detecta que se encuentra en las cercanías de un mercado electrónico que ofrece un determinado tipo de productos, y dichos productos se encuentran dentro de las preferencias del usuario propietario del agente personal). El propósito final del mecanismo es la inicialización de un diálogo negociador con un vendedor. Sin embargo, el reconocimiento de una necesidad de compra no significa que el proceso de negociación pueda llevarse a cabo inmediatamente, por ejemplo, porque no haya vendedores adecuados con los que ponerse en contacto. En este último caso el

¹⁴Utilizamos al igual que en la denominación de las locuciones la terminología inglesa.

mecanismo debería indicar que se encuentra en un estado de *espera* o *wait*. Durante un estado de *espera*, la necesidad de compra puede desaparecer, de manera que el mecanismo debe equiparse con una salida que indique la *no necesidad de compra* ($have_no_need(\theta)$). Cuando se identifica la necesidad, y además se interpreta que la inicialización de un diálogo es factible, la salida del mecanismo es $have_need(\theta)$. **Salidas:** $wait$, $have_need(\theta)$, $have_no_need(\theta)$, donde θ define una categoría de producto.

B2: Generate Purchase Requirement: Este mecanismo responde a la necesidad de un agente comprador de generar *requerimientos de compra*. Cualquier *requerimiento de compra* debe ser compatible con las locuciones **desire_to_buy(.)** o **prefer_to_buy(.)**. El mecanismo debe además prever la imposibilidad de generar el requerimiento. Así, se identifican dos posibles salidas, la que describe la imposibilidad de generar un requerimiento, y la que especifica un requerimiento concreto generado. La imposibilidad se formaliza mediante un *conjunto vacío* o *empty_set* \emptyset . **Salidas:** $empty_set \emptyset$, $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$

Según el *modelo de preferencias* del comprador descrito en la sección 3.5.1, un FCSP modela dichas preferencias. Un *requerimiento de compra* (ver definición 3.5.3) se define como una proposición formada por un conjunto de restricciones duras unidas por operadores lógicos, donde las restricciones duras se extraen del FCSP a determinados niveles de corte. Se especifica además que un requerimiento de compra no tiene por qué incluir todas las restricciones difusas definidas en el FCSP, de manera que el agente comprador puede extraer dichas restricciones de forma estratégica. La estrategia de extracción de restricciones duras tiene por tanto una implicación directa en la forma que toma el requerimiento de compra, y de manera indirecta, en la *satisfacción global potencial* (ver sección 3.5.4) que espera como mínimo obtener el comprador. Teniendo en cuenta que un agente racional intentará maximizar su utilidad, la o las estrategias del comprador al respecto de la generación de requerimientos de compra estarán centradas en la gestión adecuada del *grado de satisfacción global potencial*. A este respecto son tres las posibles estrategias que de forma genérica definimos a la hora de extraer restricciones duras para conformar un requerimiento de compra y generar un determinado *grado de satisfacción global potencial*:

Definición 3.8.1. (Estrategia competitiva de concesión) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ emitido en un instante $t \in \mathbb{N}$, una estrategia competitiva de concesión se define como un mecanismo que genera un nuevo requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ tal que $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} < \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t}$, donde $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t} - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}}$ es minimizado.

En otras palabras, el grado de satisfacción global potencial o esperado decrece con un nuevo requerimiento de compra, y la pérdida del grado de satisfacción global potencial es minimizada.

Antes hacíamos referencia a la racionalidad del agente, y a su objetivo de maximización de utilidad. Sin embargo, centrar única y exclusivamente la maximización de utilidad en la maximización del grado de satisfacción global potencial extraído a partir del modelo de preferencias es demasiado restrictivo, y hace que el modelo no sea suficientemente general. Pensemos por ejemplo en un agente comprador con gran aversión al riesgo, que necesita llegar a un acuerdo en un plazo de tiempo muy corto. Su poder negociador [Faratin *et al.*, 1998, Fatima *et al.*, 2002] es inferior al del vendedor, pero para evitar la *solución conflicto* no tiene más remedio que acelerar la velocidad de concesión. En este caso, el agente tendrá que generar nuevos requerimientos de compra en pasos de pérdida de grado de satisfacción global potencial mayores. Esta estrategia se formaliza a continuación:

Definición 3.8.2. (Estrategia general de concesión) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ emitido en un instante $t \in \mathbb{N}$, una estrategia general de concesión se define como un mecanismo que genera un nuevo requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ tal que $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} < \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t}$ y $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} \geq \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t} - \varepsilon$, para un $\varepsilon \in (0, 1]$.

Según esta definición, ε es un valor arbitrario que fija la máxima pérdida de satisfacción global potencial que el comprador está dispuesto a asumir a la hora de generar un nuevo requerimiento de compra. De alguna manera, determina la actitud del agente al respecto de la rapidez con que está dispuesto a realizar concesiones en sus requerimientos de compra. Nótese que esta definición es únicamente una formalización general de una estrategia de concesión, donde no se especifica cuál debe ser el valor de ε en un determinado momento. Finalmente la siguiente estrategia presenta el caso en el que el agente intenta generar requerimientos sin que se produzca pérdida de satisfacción potencial.

Definición 3.8.3. (Estrategia de compensación) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ emitido en un instante $t \in \mathbb{N}$, una estrategia de compensación se define como un mecanismo que genera un nuevo requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ tal que $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} \geq \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t}$.

Nótese que en la estrategia de compensación no se produce un decremento del grado de satisfacción global potencial.

Vistas las estrategias genéricas, pasemos a ver ahora los mecanismos específicos que ponen en práctica dichas estrategias. Para ello debemos analizar la casuística de los procesos de generación de requerimientos de compra.

Existen dos formas de composición de un nuevo *requerimiento de compra*:

1. **Incorporación de una nueva restricción difusa**, mediante la extracción de la correspondiente restricción dura.
2. **Modificación** del *requerimiento de compra* previo sin incorporación de nuevas restricciones difusas.

Incorporación de nuevas restricciones difusas

Esta forma de composición de *requerimientos de compra* está pensada para dos situaciones concretas: el inicio de la negociación, cuando se debe preparar el primer requerimiento de compra, y durante la negociación, tras una *oferta de venta* que no satisface restricciones duras no incluidas en el *requerimiento de compra*.¹⁵ Es posible incorporar nuevas restricciones difusas por tanto cuando todavía queda por incorporar alguna en el requerimiento de compra actual. Si todavía no se ha generado ningún requerimiento de compra, es decir, no se ha presentado todavía la primera propuesta al vendedor, en un extremo se podría optar por incluir en el primer requerimiento todas las restricciones difusas, y en el otro, por incluir sólo una de ellas. En cualquiera de los casos la extracción de restricciones duras se haría a un nivel de corte determinado por una de las estrategias definidas anteriormente: *concesión*, *concesión general* o *compensación*. Si ya existía un requerimiento de compra enviado al vendedor, la selección de una nueva restricción será función de la *oferta de venta* previa del vendedor. En este caso nuestra propuesta general consiste en el reenvío del mismo requerimiento de compra, con el objeto de que el vendedor realice una nueva búsqueda de producto con características similares. Este proceso de reenvío de requerimientos repetidos estará limitado por un umbral predeterminado. Una vez superado el umbral se deberá seleccionar aleatoriamente una restricción de entre aquellas no incluidas en el requerimiento de compra y que no han sido satisfechas por las ofertas de venta. El objetivo es conducir al vendedor hacia una oferta de venta correcta, pero minimizando la cantidad de información revelada.

Modificación del requerimiento de compra

Esta forma de composición de *requerimientos de compra* está pensada para una situación concreta: la emisión durante la negociación por parte del vendedor de las locuciones **prefer_to_sell(.)** o **refuse_to_sell(.)**, destinadas a expresar su rechazo a satisfacer el requerimiento del comprador. Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, y tras la recepción de una de estas locuciones como respuesta, los niveles de corte asociados a las restricciones difusas incluidas se deben transformar, y esta transformación influye en el *grado de satisfacción global potencial*. Por lo tanto, la generación de un nuevo requerimiento $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ será función de la

¹⁵Recordemos que aunque un requerimiento de compra no incluya explícitamente todas las restricciones, una oferta de venta debe satisfacer todas las restricciones del modelo de preferencias del comprador al nivel de corte estipulado para cada una de las restricciones difusas.

aplicación de alguna de las *estrategias de concesión* o de la *estrategia de compensación*. Proponemos a continuación un marco estratégico general para la modificación de requerimientos de compra.

Definición 3.8.4. (Metaestrategia de modificación de requerimientos de compra) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, una metaestrategia de modificación de requerimientos de compra se define como un mecanismo que genera un nuevo requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ sin nuevas restricciones difusas, que es función del perfil de negociación del comprador, de las demandas expresadas por el vendedor a través de las locuciones **prefer_to_sell(.)** o **refuse_to_sell(.)**, y del requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$. Esta metaestrategia se especifica de forma analítica mediante la función de modificación de requerimiento de compra (*fmrc*), que se define como:

$$fmrc : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \rho_{\mathcal{B}_{req}}, \eta) \rightarrow \{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}, \emptyset\}$$

donde la función tiene como entradas un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, un requerimiento de relajación $\rho_{\mathcal{B}_{req}}^t$ si existe, y el parámetro η que define el perfil receptivo del agente comprador. La función devuelve como resultado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, o el conjunto vacío \emptyset si no es posible generar un nuevo requerimiento. Internamente *fmrc* basará la generación del nuevo requerimiento de compra en alguna de las estrategias de concesión o de compensación descritas en las definiciones 3.8.1, 3.8.2, o 3.8.3.

En la definición de la función *fmrc* se incluye como parámetro de entrada el *requerimiento de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$, sin embargo, este parámetro sólo aparecerá si la locución procedente del vendedor es **prefer_to_sell(.)**.

B3: Generate Purchase Requirement Valuation: Este mecanismo permite generar un argumento de valoración de un requerimiento de compra todavía no enviado, es decir, una *valoración de requerimiento de compra* $v_{\mathcal{B}_{req}}$. Ésta podrá ser comunicada mediante la locución **prefer_to_buy(.)**. La imposibilidad de obtener una valoración genera como salida un *conjunto vacío* o *empty_set* \emptyset . Teniendo en cuenta que la argumentación de un requerimiento es un reflejo de la disposición expresiva del comprador, el mecanismo va a estar regulado por su *perfil expresivo* ξ . Si éste toma valor 1 el mecanismo se activará e intentará generar la valoración, si toma valor 0 el mecanismo no genera valoración y retorna un *empty_set* \emptyset . Cuando no hay valoraciones el comprador utilizará la locución **desire_to_buy(.)**, mientras que al existir valoraciones utilizará la locución **prefer_to_buy(.)**.

Salidas: *empty_set* \emptyset , $v_{\mathcal{B}_{req}}$

Como se introdujo en la definición 3.5.5, una *valoración de requerimiento de compra* pretende ser una expresión de la importancia relativa que tiene para el comprador el cumplimiento de

cada una de las restricciones que componen un requerimiento de compra, o cuando menos, es lo que el comprador quiere hacer creer. Indirectamente el comprador está indicando qué restricciones preferiría relajar, que serán evidentemente aquellas menos prioritarias. Aparentemente, el vendedor podría actuar estratégicamente y esperar a que el comprador relajase más sus requerimientos, teniendo en cuenta que están priorizados e indican una disposición del comprador por relajar. Sin embargo, nada le garantiza al vendedor que el comprador consiga una solución satisfactoria con otro vendedor.¹⁶

En base al criterio de preferencia por la relajación de determinadas restricciones, y dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, proponemos a continuación un marco estratégico general para la valoración de requerimientos de compra.

Definición 3.8.5. (Estrategia de valoración de requerimientos de compra) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, una estrategia de valoración de requerimientos de compra se define como un mecanismo basado en el cálculo del grado de satisfacción global potencial $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+1)_i}}$ de futuros requerimientos de compra, donde cada uno de estos futuros requerimientos de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+1)_i}$ es el resultado de relajar ficticiamente el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ para una determinada restricción difusa $R_i^f \subset \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$. Esta estrategia se especifica de forma analítica mediante la función de valoración de requerimiento de compra (fvrc), que se define como:

$$fvrc : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}) \rightarrow v_{\mathcal{B}_{req}}$$

donde la función tiene como entrada el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ actual. La función devuelve como resultado una valoración de requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}}$. Internamente fvrc basará la generación de la valoración en el análisis de los grados de satisfacción potencial calculados a partir del requerimiento de compra. Un grado de satisfacción mayor indica una pérdida de satisfacción global del requerimiento de compra menor, luego la restricción correspondiente será menos valorada frente a otras con valores de satisfacción menor.

Es importante matizar que para la relajación ficticia de una restricción se podrían aplicar diferentes profundidades de concesión, dependientes o no de la relajación real que se aplicará en un requerimiento de compra posterior. Una posible estrategia sería por ejemplo relajar mediante una concesión mínima.

B4: Consider Offers: Este mecanismo responde a la necesidad que tiene un agente comprador de decidir en un determinado momento si: *aceptar la oferta de venta* propuesta por un agente vendedor, *rechazar la oferta de venta* propuesta, o *generar un nuevo requerimiento de compra*. Enviado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, un agente comprador acepta una *oferta de venta* p_j cuando el *grado de satisfacción*

¹⁶Estamos suponiendo que existe algún mecanismo externo que es capaz de garantizar esto.

global $\alpha(p_j)$ (ver definición 3.5.2) es mayor o igual que el *grado de satisfacción global potencial del requerimiento de compra* $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$. Esto es así porque desde que se emite un requerimiento, hasta que se recibe una oferta de venta, pueden verse modificadas las preferencias del vendedor, de manera que $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ va a capturar las necesidades reales actuales del agente comprador. En este caso el mecanismo retorna $accept_offer(p_j)$. La aceptación de una oferta desemboca en una *fase de diálogo de confirmación de la oferta*. Si una *oferta de venta* no se puede aceptar, y dicha oferta no satisface las restricciones enviadas en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, el mecanismo retorna $reject_offer(p_j)$ indicando que se debe generar una expresión de rechazo. Finalmente, si la *oferta de venta* no puede ser aceptada, pero satisface las restricciones enviadas en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, el mecanismo retorna $generate_purchase_requirement(p_j)$, indicando que se debe generar un nuevo *requerimiento de compra*.

Salidas: $accept_offer(p_j)$, $reject_offer(p_j)$, $generate_purchase_requirement(p_j)$, donde p_j es una *oferta de venta*.

Analizando en detalle el enunciado del mecanismo, podemos ver que cuando una oferta de venta no puede ser aceptada, en un caso el mecanismo indica que se debe generar un nuevo requerimiento de compra mientras en otro caso se indica que se debe generar una expresión de rechazo. En ambos casos la no aceptación tiene su origen en el incumplimiento de la obtención del grado de satisfacción global esperado. Sin embargo, cuando la oferta no satisface las restricciones enviadas debemos interpretar que hay alguna anomalía. El vendedor por ejemplo podría estar enviando ofertas de forma indiscriminada. En cambio, si una oferta de venta no puede ser aceptada, pero satisface las restricciones enviadas, lo que está pasando es que la oferta de venta no cumple satisfactoriamente restricciones difusas no enviadas.¹⁷ En este caso no podemos deducir que haya anomalía alguna en el comportamiento del agente vendedor.

B5: Consider Withdrawal: Este mecanismo responde a la necesidad que tiene un agente comprador de decidir en un determinado momento si debe finalizar el diálogo con un vendedor. El mecanismo puede permanecer en estado de espera, retornará entonces $wait$, o indicar que se debe abandonar el diálogo, en cuyo caso retornará $withdraw(\theta)$.

Salidas: $wait$, $withdraw(\theta)$

Presentamos ahora los mecanismos de decisión del **Agente Vendedor**.

S1: Recognize Category: Permite que un agente comprador reconozca la necesidad de vender un producto. El mecanismo simplemente asegura que el agente vendedor dispone de productos de la categoría θ en su catálogo. Si se dispone de productos el

¹⁷Obviamente este caso sólo se puede dar si hay restricciones difusas todavía no incluidas en los requerimientos de compra.

mecanismo retorna $wish_to_enter(\theta)$, y si no $wish_not_to_enter(\theta)$. El mecanismo puede permanecer a la espera, retornando entonces $wait$.

Salidas: $wait$, $wish_to_enter(\theta)$, $wish_not_to_enter(\theta)$

S2: Assess Purchase Requirement: Este mecanismo responde a la necesidad del agente comprador de valorar requerimientos de compra. El objetivo central de una valoración será detectar la existencia de productos en el catálogo que satisfagan dichos requerimientos de compra. Si no se encuentran productos, el mecanismo decidirá entre argumentar o no el rechazo al requerimiento de compra recibido. Esta decisión es función del *perfil expresivo* del agente ψ , de manera que si toma valor 1, la decisión es argumentar, y si toma valor 0 no argumentar. Cuando existe una *oferta de venta* el mecanismo retorna $sale_offer(p_j)$, si se decide argumentar el requerimiento de compra se devuelve $purchase_requirement(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t)$, y si se decide no argumentar se retorna un $empty_set \emptyset$.

Salidas: $empty_set \emptyset$, $purchase_requirement(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t)$, $sale_offer(p_j)$

Este mecanismo de valoración de requerimiento de compra está completamente especificado a excepción de la estrategia de selección de entradas del catálogo (cuando existen productos que satisfacen los requerimientos de compra). Proponemos a continuación un marco estratégico general para selección de dichos productos.

Definición 3.8.6. (Estrategia de selección de ofertas de venta) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, y el conjunto de entradas $S_{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t}$ del catálogo S , cuyos productos p_j satisfacen dicho requerimiento de compra, una estrategia de selección de ofertas de venta se define como un mecanismo que extrae uno de esos productos p_j en función de dos criterios fundamentales: la utilidad u_j que reporta la venta del producto, y el número de veces que dicho producto ha sido ofertado durante el transcurso del diálogo. Esta estrategia se especifica de forma analítica mediante la función de selección de ofertas de venta (f_{sov}), que se define como:

$$f_{sov} : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, S) \rightarrow S$$

Según esta estrategia, cuando un agente vendedor tiene que seleccionar un producto para formar parte de una oferta de venta, en primer lugar tiene que satisfacer las necesidades expresadas por el comprador. Dado que pueden aparecer en el catálogo múltiples productos que satisfagan un requerimiento de compra, la decisión final tendrá que ser función de los dos únicos criterios existentes, la utilidad que le reporte al vendedor ofrecer el producto, y el número de veces que se haya ofertado un producto. Tengamos en cuenta que un producto que inicialmente sea rechazado, no tiene por qué ser descartado en iteraciones futuras del diálogo por dos razones fundamentales: el agente comprador podría realizar concesiones, y las preferencias del comprador pueden verse modificadas incluso durante el proceso de negociación.

La información relativa al número de veces que un producto ha sido ofertado se encuentra en el *Almacén de información del vendedor* $AI(P_s)$.

S3: Generate Potential Sale-Offers: Este mecanismo de *generación de ofertas de venta potenciales* responde a la necesidad que tiene un agente vendedor de analizar mediante introspección, qué productos del catálogo pueden considerarse como *buenas ofertas de venta* en un determinado momento. A estas ofertas las vamos a denominar *ofertas de venta potenciales* porque el propósito de estas ofertas no es el de ser enviadas inmediatamente al comprador, sino el de servir como guía en un proceso de *argumentación del rechazo a un requerimiento de compra*. Podríamos decir que es un mecanismo que estima qué productos del catálogo son buenos candidatos para futuras ofertas de venta. Este mecanismo debe retornar el conjunto de productos del catálogo S que se consideran buenas opciones para una futura oferta al comprador. **Salidas:** S_p , que describe el conjunto de productos que el agente vendedor considera como buenas opciones para una oferta futura.

Este mecanismo constituye el núcleo del sistema de argumentación del vendedor. Cuando un agente vendedor no puede satisfacer un requerimiento de compra, puede estimular al comprador para que cambie sus preferencias, y en consecuencia sus propuestas o requerimientos de compra. En un esquema no argumental, el vendedor tiene como única herramienta el *rechazo*, sin embargo, como ya hemos comentado en varias ocasiones, este mecanismo basado sólo en el rechazo no permite reconducir la negociación hacia posiciones favorables para el vendedor, y mucho menos permite llegar a soluciones compensadas *win-to-win*. Ante un rechazo en plano, el comprador no tiene criterios suficientes para orientar su estrategia de concesión o de compensación, de manera que tiene que guiarse por motivos estrictamente locales. Es evidente que definir un espacio de búsqueda compatible es clave para alcanzar soluciones satisfactorias. Vimos varios ejemplos en el capítulo 2 [Lai y Lin, 2004, Faratin *et al.*, 2002] en los que a partir de roles simétricos de los negociadores y una aproximación posicional a la negociación, se buscaba este espacio compatible mediante cálculos de similaridad. Sin embargo, este tipo de técnicas no son directamente aplicables con roles ligeramente asimétricos como el que proponemos, y menos aplicables todavía si partimos de productos cuya utilidad no se define exclusivamente a partir de los atributos negociables. Esto significa que debemos encontrar otros mecanismos que permitan conducir a los agentes negociadores hacia un espacio de búsqueda compatible que beneficie a ambos, pero minimizando la cantidad de información privada revelada. A continuación describimos nuestra propuesta.

El mecanismo básico por el cual un *requerimiento de compra* se ve modificado es el de la relajación, o por lo menos, es lo que espera un agente vendedor para satisfacer sus necesidades. Como hemos comentado, si el vendedor se limita a rechazar, el requerimiento de

compra se podrá ver modificado, pero el único criterio de relajación para el comprador será local, de manera que puede que el comprador relaje restricciones que no lleven a soluciones satisfactorias para el vendedor. Puede haberse desaprovechado una oportunidad de relajación de restricciones que hubiesen supuesto una ventaja para los dos participantes (ver el ejemplo de la sección 3.2). Es evidente por tanto que una buena alternativa para promover la convergencia en la negociación desde el punto de vista del vendedor, es expresar cómo debería ser relajado un *requerimiento de compra recibido*. Esta expresión se concretará finalmente mediante un *requerimiento de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ (ver definición 3.6.3).

Entendemos la *generación de un requerimiento de relajación* como un mecanismo de dos fases: la *generación de ofertas de venta potenciales* (que se implementa en este mecanismo que estamos describiendo), y la *generación del requerimiento de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ (que se implementa en el mecanismo **S4** descrito más abajo).

Como sabemos, el requerimiento de relajación es una expresión de las preferencias del vendedor por la relajación de determinadas restricciones. El problema por tanto es descubrir cuáles son los criterios que debe aplicar el vendedor para decantarse por unas u otras restricciones. Nos debemos retrotraer al objetivo final del vendedor que es vender un producto, y en concreto, a decidir qué productos prefiere vender. Esta selección de productos preferidos es desarrollada por la fase de generación de ofertas de venta potenciales. Una vez seleccionados los productos que preferiría vender, el requerimiento de relajación intentará conducir al comprador hacia dichos productos, lo que equivale básicamente a intentar que el comprador relaje aquellas restricciones que no son satisfechas por los productos candidatos como ofertas de venta. Sin embargo, la selección de los productos candidatos no es precisamente una tarea sencilla. Si nos centramos en criterios estrictamente locales podemos perder la noción de qué es lo que verdaderamente quiere el comprador, y si por otra parte nos centramos exclusivamente en las necesidades del comprador, la utilidad que se consiga con la venta puede verse mermada. De cualquier forma parece evidente que son dos los criterios abstractos que deben regir la selección de candidatos: criterios locales y criterios externos. En concreto hemos identificado dos aspectos fundamentales para realizar este proceso de selección:

- **Utilidad:** dependiente del parámetro u_i definido para cada producto del catálogo, sería un criterio estrictamente local centrado en la utilidad de la venta.
- **Viabilidad:** dependiente del grado de similitud entre cada producto p_j y el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$, y de la valoración esperada del comprador al respecto de la oferta potencial de dicho producto. Este sería un criterio externo que enlaza con las necesidades del comprador.

En base a estos aspectos proponemos a continuación un marco estratégico general para la *selección o generación de ofertas de venta potenciales*.

Definición 3.8.7. (Estrategia de generación de ofertas de venta potenciales)

Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, una posible valoración de dicho requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}}$, y un catálogo de productos S , una estrategia de generación de ofertas de venta potenciales se define como un mecanismo basado en el cálculo del grado de preferencia del agente vendedor por la venta de los productos del catálogo en términos de utilidad y viabilidad, que tiene como objetivo la obtención de una lista S_P con los productos candidatos para una futura oferta de venta. Esta estrategia se especifica de forma analítica mediante la función de generación de ofertas de venta potenciales (fgovp), que se define como:

$$fgovp : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, S, v_{\mathcal{B}_{req}}) \rightarrow S$$

ó

$$fgovp : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, S) \rightarrow S$$

donde la función tendrá como entradas el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ actual, el catálogo de productos S del vendedor, y posiblemente una valoración del requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}}$ (si ésta es emitida por el comprador). La función devuelve como resultado una lista S_P con los productos que el vendedor considera deben ser tomados como referencia para generar requerimientos de relajación.

S4: Generate Relax Requirement: Este mecanismo responde a la necesidad del vendedor de componer un *requerimiento de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$. Conformar la segunda fase del proceso de *generación de requerimientos de relajación* que hemos descrito en el mecanismo **S3**. Dado un conjunto de ofertas de venta potenciales S_P , este mecanismo compone un *requerimiento de relajación* con el objeto de conducir al comprador hacia uno de los productos contenidos en S_P . El mecanismo retorna un requerimiento de relajación $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$.

Salidas: $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$

El principio básico de composición del requerimiento de relajación debe ser el de conseguir que el comprador relaje aquellas restricciones del requerimiento de compra que no son satisfechas por los productos contenidos en S_P . Proponemos a continuación un marco estratégico general para la *composición de requerimiento de relajación*.

Definición 3.8.8. (Estrategia de composición de requerimiento de relajación)

Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, y el subconjunto de entradas S_P del catálogo S , cuyos productos se consideran ofertas de venta potenciales, una estrategia de composición de requerimiento de relajación se define como un mecanismo que internamente genera un mapa de distribución de frecuencias de cumplimiento de restricciones en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ por parte de los productos en S_P . La composición final del requerimiento de relajación será función de

dicha distribución de frecuencias. Esta estrategia se especifica de forma analítica mediante la función de composición de requerimiento de relajación (fcrr), que se define como:

$$fcrr : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, S_P) \rightarrow \rho_{\mathcal{B}_{req}}$$

Según esta estrategia, la decisión acerca de cómo conformar el vector de relajación, en definitiva, de expresar la preferencia por que ciertas restricciones sean relajadas, es función de cómo se distribuye el no cumplimiento por parte de los productos preferidos para la venta del requerimiento de compra recibido.

S5: Accept or Reject Offer: Este mecanismo responde a la necesidad del agente vendedor de decidir en un determinado momento si se debe o no aceptar una oferta de compra del producto p_j emitida por un agente comprador mediante una locución **agree_to_buy(.)**. Sólo existen dos posibles valores de retorno, $accept(p_j)$ si se acepta la oferta, y $reject(p_j)$ si se rechaza la oferta. Este mecanismo es fácil de especificar si asumimos un comportamiento no estratégico, es decir, si como ya hemos comentado anteriormente, el agente no guarda ofertas de venta que satisfacen el requerimiento de compra del vendedor, a la espera de que el comprador relaje más sus requerimientos. Si esta suposición es válida, el mecanismo retorna $accept(p_j)$ cuando p_j existe, y $reject(p_j)$ en caso contrario.

Salidas: $accept(p_j)$, $reject(p_j)$

S6: Consider Withdrawal: Este mecanismo responde a la necesidad que tiene un agente vendedor de decidir en un determinado momento si debe finalizar el diálogo con un comprador. El mecanismo puede permanecer en estado de espera, retornará entonces $wait$, o indicar que se debe abandonar el diálogo, en cuyo caso retornará $withdraw(\theta)$.

Salidas: $wait$, $withdraw(\theta)$

En este punto hemos definido todos los mecanismos de decisión de los agentes comprador y vendedor. Cuando el mecanismo lo ha requerido, fundamentalmente debido a su complejidad, y a nuestro interés en describir una arquitectura general de mecanismos, se han definido *marcos estratégicos generales*. Dichos marcos estratégicos son especificaciones más o menos genéricas de estrategias que deben permitir la implementación de los mecanismos de los que forman parte. Son de alguna manera plantillas que mediante una instanciación adecuada van a permitir las definición concreta de estrategias. Los marcos estratégicos se han especificado formalmente mediante las correspondiente funciones.

Equipados con los mecanismos expresivos descritos mediante locuciones, y con los mecanismos de decisión internos correspondientes, el siguiente paso es enlazar estos elementos

para conformar finalmente el modelo completo de negociación. Este problema se aborda en la siguiente sección.

3.9. Semántica operacional

La *semántica operacional* [Hindriks *et al.*, 1998] en un juego de diálogo indica cómo cambian los estados en el diálogo tras la emisión de locuciones. Se asume que los agentes participantes en el diálogo tienen implementados los mecanismos de decisión descritos anteriormente, y que los estados en el diálogo vienen definidos por las entradas y salidas de dichos mecanismos. Las locuciones emitidas durante el transcurso de un diálogo generan transiciones entre los diferentes estados, de manera que las locuciones emitidas son entradas de uno o más mecanismos de decisión, que a su vez generan nuevas salidas en forma de locuciones. Así, la semántica operacional es una formalización del enlace entre las locuciones disponibles en el modelo de diálogo, y los mecanismos de decisión definidos.

Para expresar la semántica operacional vamos a definir la tupla $\langle P_x, \mathbf{K}, s \rangle$ que describe el mecanismo de decisión \mathbf{K} del agente P_x cuando se genera una salida s . La semántica operacional está definida por una serie de reglas de transición entre estados. Algunas transiciones vienen definidas por el envío de locuciones, cuando las transiciones son entre mecanismos de agentes diferentes, y otras vienen definidas sin locuciones, cuando las transiciones son entre mecanismos del mismo agente. En el primer caso una flecha y la denominación de la locución pertinente indican la transición. En el segundo caso sólo aparece una flecha.

A continuación presentamos las reglas de transición:

TR1: $\langle P_b, \mathbf{B1}, have_need(\theta) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L1}} \langle P_s, \mathbf{S1}, . \rangle$

Esta regla de transición indica que un agente comprador con el deseo de adquirir un producto de categoría θ , intenta iniciar un diálogo de negociación de compra mediante la locución **L1: open_dialogue(.)**. Dicha locución activa el mecanismo **S1: Recognize Category** del agente vendedor con el que se desea entablar el diálogo.

TR2: $\langle P_b, \mathbf{B1}, have_no_need(\theta) \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B1}, wait \rangle$

Esta regla de transición indica que un agente comprador sin deseo de adquirir un producto de categoría θ , no iniciará un diálogo de negociación de compra, y revisará esta situación más adelante.

TR3: $\langle P_s, \mathbf{S1}, wish_not_to_enter(\theta) \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S1}, wait \rangle$

Un agente vendedor que no desea entablar un diálogo negociador con un comprador, revisará la situación en algún momento posterior.

TR4: $\langle P_s, \mathbf{S1}, wish_to_enter(\theta) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L2}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$

Un agente vendedor que desee participar en un diálogo negociador lo hará mediante

la emisión de la locución **L2: enter_dialogue(.)**. Esta emisión conduce al agente comprador a la ejecución del mecanismo **B2: Generate Purchase Requirement** con el objeto de generar un primer requerimiento de compra.

TR5: $\langle P_b, \mathbf{B2}, \emptyset \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B5}, \cdot \rangle$

Esta regla de transición afirma que cuando el mecanismo **B2: Generate Purchase Requirement** retorna un *conjunto vacío* o *empty_set* \emptyset en un agente comprador, se invoca el mecanismo **B5: Consider Withdrawal** también en el agente comprador. Este efecto se produce cuando el comprador no puede generar nuevos requerimientos de compra. En este caso debe considerar la posibilidad de abandonar el diálogo.

TR6: $\langle P_b, \mathbf{B5}, \text{withdraw}(\theta) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L11}} \langle P_s, \mathbf{S6}, \cdot \rangle$

Cuando un agente comprador considera afirmativamente el abandono del diálogo, emite la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**. Esto hace que se invoque en el vendedor el mecanismo **S6: Consider Withdrawal** para que éste a su vez considere también el abandono.

TR7: $\langle P_s, \mathbf{S6}, \text{withdraw}(\theta) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L11}} \langle P_b, \mathbf{B5}, \cdot \rangle$

Cuando un agente vendedor considera el abandono del diálogo, emite la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**, que a su vez invoca el mecanismo **B5: Consider Withdrawal** en el agente comprador.

TR8: $\langle P_b, \mathbf{B2}, \lambda_{\mathcal{B}_{req}} \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B3}, \cdot \rangle$

Esta regla indica que cuando un agente comprador genera un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, se invoca a continuación e internamente el mecanismo **B3: Generate Purchase Requirement Valuation** de generación de valoración de requerimiento de compra.

TR9: $\langle P_b, \mathbf{B3}, \emptyset \rangle \xrightarrow{\mathbf{L4}} \langle P_s, \mathbf{S2}, \cdot \rangle$

La regla **TR9** afirma que si el mecanismo **B3: Generate Purchase Requirement Valuation** conduce a una salida *empty_set* \emptyset , el agente comprador emite la locución **L4: desire_to_buy(.)**. La locución a su vez invoca el mecanismo del agente vendedor **S2: Assess Purchase Requirement** para la valoración de los requerimientos de compra.

TR10: $\langle P_b, \mathbf{B3}, v_{\mathcal{B}_{req}} \rangle \xrightarrow{\mathbf{L6}} \langle P_s, \mathbf{S2}, \cdot \rangle$

Esta regla es idéntica a **TR9**, pero el comprador emite en su lugar la locución **L6: prefer_to_buy(.)**.

TR11: $\langle P_s, \mathbf{S2}, \emptyset \rangle \xrightarrow{\mathbf{L8}} \langle P_b, \mathbf{B2}, \cdot \rangle$

Esta regla de transición describe que cuando el mecanismo **S2: Assess Purchase Requirement** retorna un *empty_set* \emptyset , el agente vendedor emite la locución **L8: refuse_to_sell(.)**. Esta locución invoca el mecanismo **B2: Generate Purchase Requirement** en el agente comprador. Esta regla es en definitiva la que genera una locución de rechazo sin argumentos a un requerimiento de compra previo.

TR12: $\langle P_s, \mathbf{S2}, \text{sale_offer}(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L3}} \langle P_b, \mathbf{B4}, . \rangle$

Cuando el mecanismo **S2:Assess Purchase Requirement** genera una oferta de venta que satisface un requerimiento de compra, la oferta de venta se envía mediante la locución **L3: willing_to_sell(.)** al agente comprador, que a su vez invoca el mecanismo del agente comprador **B4:Consider Offers** para considerar dicha oferta.

TR13: $\langle P_s, \mathbf{S2}, \text{purchase_requirement}(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t) \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S3}, . \rangle$

Cuando el mecanismo **S2:Assess Purchase Requirement** retorna un requerimiento de compra, entonces, el propio vendedor activa el mecanismo **S3:Generate Potential Sale-Offers** para explorar las ofertas potenciales. De alguna manera el mecanismo **S2** está indicando que se utilice el requerimiento de compra como entrada de un procedimiento de generación de argumentos.

TR14: $\langle P_s, \mathbf{S3}, S_P \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S4}, . \rangle$

Esta regla de transición dice que el conjunto S_P de ofertas de venta potenciales generado por el mecanismo **S3:Generate Potential Sale-Offers**, invoca automáticamente el mecanismo **S4:Generate Relax Requirement** del propio agente vendedor para generar un requerimiento de relajación.

TR15: $\langle P_s, \mathbf{S4}, \rho_{\mathcal{B}_{req}} \rangle \underline{\mathbf{L5}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$

Esta regla de transición afirma que el requerimiento de relajación $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ que se obtiene al ejecutar el mecanismo del vendedor **S4:Generate Relax Requirement**, se incorpora en la locución **L5:prefer_to_sell(.)** que se envía al comprador. La locución invoca en el agente comprador el mecanismo **B2:Generate Purchase Requirement** con el objeto de que el comprador genere otro requerimiento de compra nuevo tomando como base el requerimiento de relajación enviado.

TR16: $\langle P_b, \mathbf{B4}, \text{generate_purchase_requirement}(p_j) \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$

Cuando el mecanismo del agente comprador **B4:Consider Offers** retorna el valor $\text{generate_purchase_requirement}(p_j)$, se invoca internamente **B2:Generate Purchase Requirement**. Esta transición aparece cuando el comprador no puede aceptar una oferta de venta, de manera que se tiene que generar un nuevo requerimiento de compra.

TR17: $\langle P_b, \mathbf{B4}, \text{accept_offer}(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L9}} \langle P_s, \mathbf{S5}, . \rangle$

En esta regla de transición se especifica que cuando se considera una oferta de venta mediante el mecanismo **B4:Consider Offers**, si dicha oferta se acepta, el mecanismo emite la locución **L9:agree_to_buy(.)**, que a su vez invoca el mecanismo **S5:Accept or Reject Offer** en el agente vendedor. Esta transición describe el inicio de la fase de confirmación de una negociación.

TR18: $\langle P_b, \mathbf{B4}, \text{reject_offer}(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L7}} \langle P_s, \mathbf{S2}, . \rangle$

Si al considerar una oferta de venta mediante el mecanismo **B4:Consider Offers**, la salida del mecanismo es $\text{reject_offer}(p_j)$, el agente comprador emite la locución

L7:refuse_to_buy(.), que invoca el mecanismo **S2:Assess Purchase Requirement** de análisis de requerimientos de compra en el vendedor. Esta transición refleja un rechazo del comprador a una oferta de venta mal formada.

TR19: $\langle P_s, \mathbf{S5}, \text{accept}(p_j) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L10}} \langle P_b, \mathbf{B5}, \cdot \rangle$

Cuando un agente vendedor considera a p_j una oferta de compra válida mediante la ejecución del mecanismo **S5:Accept or Reject Offer**, entonces el agente vendedor emite la locución **L10:agree_to_sell(.)**, que a su vez invoca el mecanismo **B5:Consider Withdrawal** en el agente comprador. Esta transición describe la confirmación definitiva de una compra.

TR20: $\langle P_s, \mathbf{S5}, \text{reject}(p_j) \rangle \xrightarrow{\mathbf{L8}} \langle P_b, \mathbf{B2}, \cdot \rangle$

Si un agente vendedor considera p_j como una oferta de compra no válida al ejecutar el mecanismo **S5:Accept or Reject Offer**, entonces el agente emite la locución **L8:refuse_to_sell(.)**, que invoca automáticamente el mecanismo **B2:Generate Purchase Requirement** en el agente comprador. Este efecto se produce cuando la fase de confirmación no puede completarse debido a la desaparición del producto p_j del catálogo del vendedor.

TR21: $\langle P_x, \mathbf{K}, \text{wait} \rangle \rightarrow \langle P_x, \mathbf{K}, \cdot \rangle$

Cuando un mecanismo cualesquiera **K** retorna *wait* como estado de salida, indica que la intención del agente es ejecutar el mismo mecanismo un tiempo después.

En la figura 3.8 se presenta una panorámica general de las reglas de transición del sistema. Los mecanismos de decisión están representados como estados. Las transiciones entre mecanismos de un mismo agente vienen especificadas por las correspondientes salidas del mecanismo que origina la transición. Las transiciones entre mecanismos de diferentes agentes vienen especificadas por dos elementos: la salida del mecanismo que origina la transición, y la locución que se transmite al agente oponente.

Uno de los objetivos fundamentales de nuestro trabajo es el desarrollo de un sistema de negociación que sea automático. Luego lo primero que tenemos que demostrar es que el modelo de diálogo, los mecanismos de decisión y la semántica operacional, es decir, nuestro marco de juego de diálogo para la negociación automática de compra, es capaz de generar diálogos de forma automática.

Teorema 3.9.1. *Dos agentes, uno comprador y otro vendedor, equipados con la funcionalidad declarada en los mecanismos de decisión de la sección 3.8, bajo el modelo de diálogo y las locuciones descritas en la sección 3.7, y siguiendo las reglas descritas en la sección 3.9, son capaces de entablar diálogos de negociación de compra automatizados.*

DEMOSTRACIÓN. Para demostrar que el diálogo de negociación es automático necesitamos demostrar: (a) que toda locución puede ser invocada por uno o más mecanismos de

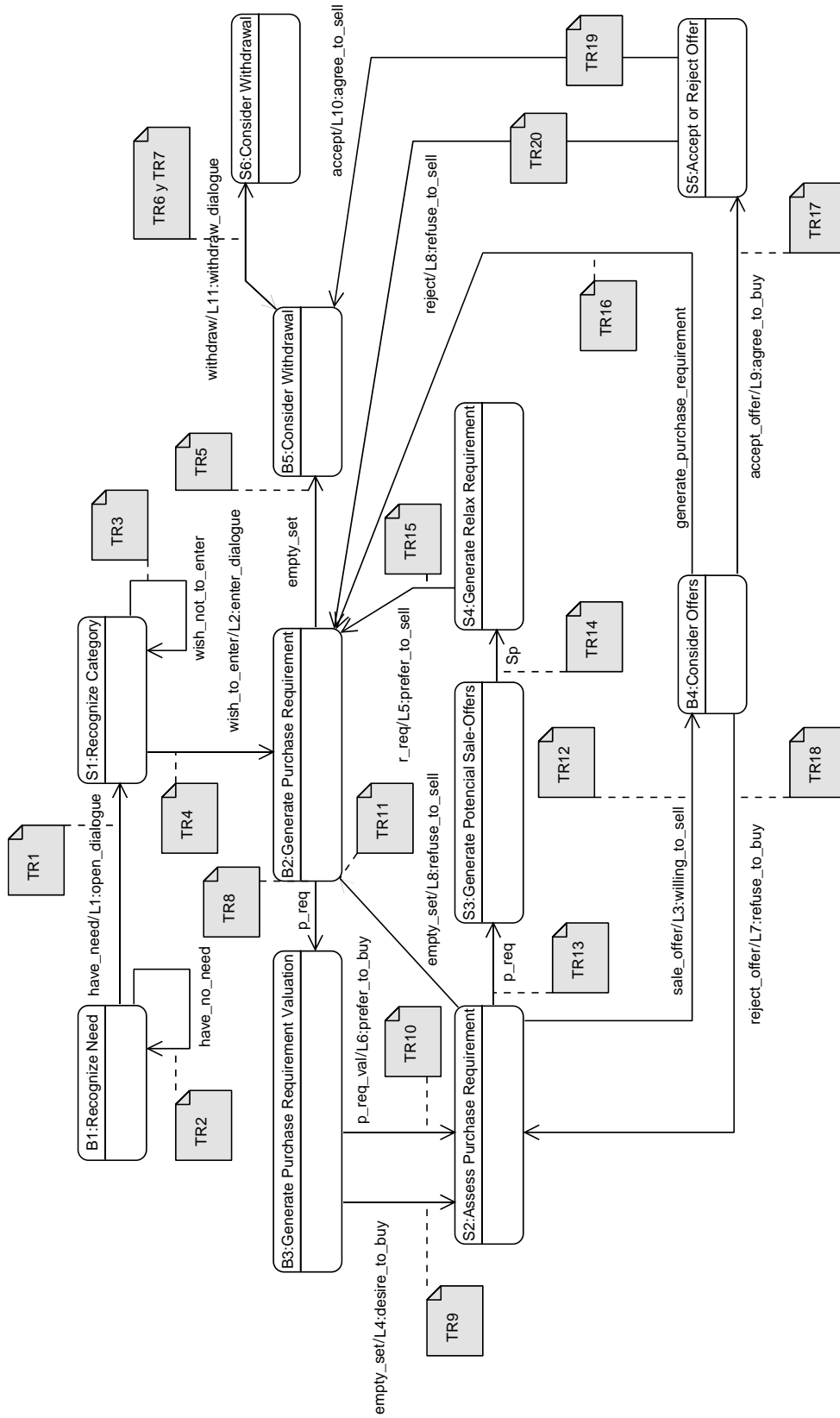


Figura 3.8. Diagrama de reglas de transición

decisión; y (b) que toda ejecución de uno de esos mecanismos en último lugar invoque una locución. Para confirmar estas proposiciones presentamos en primer lugar, para el caso (a), la lista de las locuciones, junto a los mecanismos que las invocan, y la regla de transición donde se presenta la invocación.

- L1:** Mecanismo **B1** (Regla **TR1**).
- L2:** Mecanismo **S1** (Regla **TR4**).
- L3:** Mecanismo **S2** (Regla **TR12**).
- L4:** Mecanismo **B3** (Regla **TR9**).
- L5:** Mecanismo **S4** (Regla **TR15**).
- L6:** Mecanismo **B3** (Regla **TR10**).
- L7:** Mecanismo **B4** (Regla **TR18**).
- L8:** Mecanismo **S2** (Regla **TR11**); Mecanismo **S5** (Regla **TR20**).
- L9:** Mecanismo **B4** (Regla **TR17**).
- L10:** Mecanismo **S5** (Regla **TR19**).
- L11:** Mecanismo **B5** (Regla **TR6**); Mecanismo **S6** (Regla **TR7**).

Para el caso (b), se muestra para cada uno de los mecanismos y sus posibles estados: si se invoca una locución, o si indirectamente se invoca un mecanismo que a su vez invoca una locución. Se presentan también las reglas de transición donde se establecen estas relaciones.

- B1:** Salida *have_need* invoca **L1** (Regla **TR1**).
- B1:** Salida *have_no_need* invoca el mecanismo **B1** (Regla **TR2**).
- B2:** Salida *empty_set* invoca el mecanismo **B5** (Regla **TR5**).
- B2:** Salida $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$ invoca el mecanismo **B3** (Regla **TR8**).
- B3:** Salida *empty_set* invoca la locución **L4** (Regla **TR9**).
- B3:** Salida $v_{\mathcal{B}_{req}}$ invoca la locución **L6** (Regla **TR10**).
- B4:** Salida *generate_purchase_requirement* invoca el mecanismo **B2** (Regla **TR16**).
- B4:** Salida *accept_offer* invoca la locución **L9** (Regla **TR17**).
- B4:** Salida *reject_offer* invoca la locución **L7** (Regla **TR18**).
- B5:** Salida *withdraw_dialogue* invoca **L11** (Regla **TR6**).
- S1:** Salida *wish_not_to_enter* invoca el mecanismo **S1** (Regla **TR3**).
- S1:** Salida *wish_to_enter* invoca la locución **L2** (Regla **TR4**).
- S2:** Salida *empty_set* invoca locución **L8** (Regla **TR11**).
- S2:** Salida *sale_offer* invoca locución **L3** (Regla **TR12**).
- S2:** Salida *purchase_requirement* invoca el mecanismo **S3** (Regla **TR13**).
- S3:** Salida S_P invoca el mecanismo **S4** (Regla **TR14**).
- S4:** Salida $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ invoca la locución **L5** (Regla **TR15**).

S5: Salida *accept* invoca la locución **L10** (Regla **TR19**).

S5: Salida *reject* invoca la locución **L8** (Regla **TR20**).

S6: Salida *withdraw* invoca la locución **L11** (Regla **TR7**).

Podemos comprobar fácilmente que todos los mecanismos generan una locución, o invocan un mecanismo que a continuación genera una locución, o invocan un mecanismo que a continuación invoca otro mecanismo que al final invoca una locución, ... \square

Aunque hemos demostrado que el modelo presentado es capaz de generar diálogos de negociación automáticos, en este momento no podemos demostrar en cambio que un diálogo tenga garantizado un final. El análisis de este aspecto requiere que los mecanismos estén completamente especificados, es decir, que hayamos creado una instancia del *modelo de negociación*. Lo que sí podemos hacer ahora es analizar si nuestro modelo cumple o no y en qué medida las recomendaciones de partida que se consideraron al inicio de la sección 3.7 para la definición de un modelo de diálogo. Analizamos a continuación cada una de las recomendaciones.

Propósito del diálogo: el propósito del diálogo está implícito en todas las locuciones.

Diversidad de los propósitos individuales: cada agente está equipado con los mecanismos adecuados con los que intentar satisfacer sus deseos, compatible con el objetivo global del diálogo que es llegar a un acuerdo de transacción comercial.

Transparencia: todas las reglas están claramente especificadas.

Justicia: las asimetrías son tratadas explícitamente mediante la utilización de las correspondiente locuciones dependientes de cada rol.

Separación de la sintaxis y la semántica: están definidas por separado.

Consistencia de las reglas: se ha demostrado que el modelo genera diálogos automáticos.

Estímulo a la resolución: todos los mecanismos están centrados en la consecución de objetivos.

Habilidad de autotransformación: la utilización en el modelo de argumentos y su tratamiento mediante los mecanismos correspondientes, habilitan a los agentes para que pueden modificar dinámicamente sus creencias y preferencias.

Simplicidad: se ha limitado al mínimo posible el número de locuciones, aún así, el diseño de mecanismos es muy complejo.

Simplicidad computacional: queda pendiente de una instanciación del modelo.

3.10. Discusión y consideraciones finales

La principal contribución de este capítulo ha consistido en la presentación de un marco general de negociación automática bilateral sobre sistemas multiagente basado en restricciones difusas. En concreto, y en relación con nuestro intento por demostrar nuestra hipótesis de trabajo (ver sección 1.3), hemos respondido a las primeras preguntas mediante la descripción de un modelo de negociación definido por: un modelo de preferencias apropiado para construir diálogos expresivos que permite la argumentación mediante preferencias, el conjunto de primitivas de comunicación necesarias y el modo en que deben articularse, y los mecanismos de decisión fundamentales, estructurados de tal manera que sean sencillas las implantaciones de estrategias para instanciar el modelo. Teniendo a nuestra disposición ya un modelo general que permite el contraste de diferentes estrategias de negociación, y el modelado de diferentes actitudes de los participantes, nos será posible comprobar si nuestra hipótesis es correcta.

En este capítulo hemos motivado en primer lugar la necesidad de dotar a los agentes de una mayor capacidad expresiva para conseguir soluciones más eficientes en procesos de negociación bilateral automática de compra. Para ello hemos descrito un ejemplo en el que se han presentado dos casos: uno que bajo la denominación *Diálogo inexpressivo* presenta una negociación bilateral donde los agentes no expresan sus preferencias; y otro, que bajo la denominación *Diálogo expresivo*, describe en esencia nuestra hipótesis de trabajo. Intuida la necesidad de construir un modelo de negociación bilateral automática, se aborda el problema de definición de dicho modelo. El punto de partida en la especificación del modelo ha sido la descripción del modelo de mercado, de manera que se han descrito las especificaciones de alto nivel de los modelos de preferencias de comprador y vendedor. Tras una breve descripción del marco de los problemas de satisfacción de restricciones difusas, que se ha elegido como base de nuestro modelo, se han tratado los ámbitos de conocimiento de los agentes comprador y vendedor. A partir de aquí se ha comenzado con la definición del modelo de negociación de compra, que hemos basado en un marco de juegos de diálogo formales. Tras la descripción de un modelo de diálogo de alto nivel de 4 fases, se han presentado las locuciones que implementan desde un punto de vista sintáctico dichas fases. Con el ánimo de separar claramente sintaxis y semántica, se ha presentado a continuación una arquitectura para los mecanismos de decisión. Dicha arquitectura se estructura de manera consistente con las locuciones definidas antes, pero permite la especificación de variantes de estrategia. El objetivo es permitir que el modelo sea instanciable mediante esta variación de estrategias, y cumplir con una de las premisas de trabajo, que es la de definir un modelo general que permita variar estrategias y actitudes. Una vez descritos los mecanismos de decisión, se presenta una semántica operacional en forma de reglas de transición. Las reglas de transición permiten enlazar las locuciones con los mecanismos de decisión. Demostramos además que el modelo de diálogo definido permite generar diálogos automáticos.

En relación con los trabajos relacionados más relevantes, descritos en la sección 2.5.5.1 sobre aproximaciones a la negociación basada en argumentos, y en la sección 2.6 sobre aproximaciones a la negociación basada en restricciones difusas, comentamos algunos aspectos diferenciales de nuestra aproximación. El trabajo de McBurney et al. en [McBurney *et al.*, 2003], describe también un marco general para la negociación automática en escenarios de compra-venta basado en juegos de diálogo formales. Sin embargo, en ningún momento se especifican los mecanismos de decisión, centrándose fundamentalmente en la formalización del diálogo. Analizando con detalle el modelo, la conclusión es que está pensado fundamentalmente para implementar diálogos de búsqueda de información de productos. Es más, la negociación, si se construyesen los mecanismos adecuados, se tendría que limitar a la negociación sobre el precio. En nuestro modelo, además de describir un marco general de negociación donde se formaliza el diálogo, se especifican en detalle todos los mecanismos, y se definen locuciones específicas para la transmisión de argumentos, disponibles para todos los participantes. La aproximación basada en restricciones difusas de Kowalczyk y Bui [Kowalczyk y Bui, 2002] está basada en el concepto de negociación posicional, de manera que el marco de restricciones se utiliza exclusivamente para modelar preferencias. Además, no se utilizan cálculos de similaridad o argumentación de algún tipo, de manera que la convergencia es más complicada, y tampoco se describe un modelo de diálogo detallado. Nuestro modelo en cambio está pensado para cubrir un margen grande de alternativas, habilitando a los agentes para llevar a cabo negociaciones basadas en intereses y no en posiciones, aunque cubriendo también la posibilidad de fijar actitudes no expresivas, e incluso derivar la propagación de restricciones a la propagación de restricciones puntuales, es decir, soluciones puntuales. El trabajo de Lai y Lin en [Lai y Lin, 2004] formaliza las estrategias de concesión y de compensación que pueden utilizar los agentes, y en ese sentido nuestro modelo es más general, porque aunque formaliza dichas estrategias, no establece ni como ni cuando deben utilizarse esas estrategias, pero sí donde (imbuida en un mecanismo de decisión del modelo). Su trabajo se basa en la transmisión de propuestas puntuales sin argumentación, aunque en este caso sí existe una función de similaridad. En nuestro caso la función de similaridad forma parte explícita del concepto de *viabilidad* que aplica el vendedor en el mecanismo **S3:Generate Potential Sale-Offers** para la generación de ofertas de venta potenciales. Por último, el modelo más similar al nuestro es quizás el descrito por Luo et al. en [Luo *et al.*, 2003b]. En este trabajo el modelo de preferencias del comprador y del vendedor es similar. Sin embargo, no se definen perfiles de actitud, de manera que sólo es posible la aplicación de una estrategia por parte de cada participante. Aunque la aproximación no es posicional, no existe argumentación basada en preferencias, y no se aplican criterios de similaridad en los mecanismos de decisión. El modelo de diálogo no está basado en juegos de diálogo formal, de manera que sintaxis y semántica no están perfectamente separados. Por último, en referencia a los mecanismos de decisión, hay

que decir que todos están prefijados, de manera que al igual que con las actitudes, no hay posibilidad de modificar las estrategias.

Vista desde un plano formal la aportación de nuestro modelo al campo de la negociación bilateral multiatributo, es el momento de abordar la instanciación práctica del modelo, mediante el desarrollo detallado de algoritmos que permitan el despliegue de estrategias, con el fin de mostrar que nuestro modelo es operativo. Aprovechando esta instanciación, intentaremos comprobar que mediante diálogos expresivos los procesos de negociación pueden ser más eficientes.

Capítulo 4

Propuesta de instancia para el modelo de negociación

En este capítulo se presenta una propuesta de instancia del modelo de negociación presentado en el capítulo 3.

4.1. Introducción

En el capítulo 3 hemos presentado un marco general para la negociación bilateral automática basada en restricciones difusas, de aplicación en ámbitos de comercio electrónico. Este marco se ha especificado como un modelo de negociación con la siguiente estructura:

- *Dominios de conocimiento de comprador y vendedor*: especificados mediante modelos de preferencia y perfiles de negociación.
- *Modelo de diálogo*: especificado mediante la definición de locuciones y reglas sintácticas.
- *Arquitectura de mecanismos de decisión*: especificada mediante la declaración de un conjunto de mecanismos de decisión semánticos, donde se conjugan estrategias prediseñadas y marcos estratégicos.
- *Semántica operacional*: especificada mediante reglas de transición que enlazan las locuciones con los mecanismos de decisión.

Nuestro objetivo ahora es proponer una instancia del modelo, con el propósito doble de validar el modelo y probar nuestra hipótesis inicial de trabajo. Para facilitar la comprensión del texto, en la tabla 4.1 se muestran las locuciones del modelo de diálogo; en las tablas 4.2 y 4.3 se presentan las arquitecturas de mecanismos de decisión de los agentes comprador y vendedor respectivamente; finalmente, en la tabla 4.4 se enumeran las reglas de transición que describen la semántica operacional. La instanciación del modelo va a consistir en una especificación completa de dicho modelo. Según nuestro modelo de negociación, el modelo de diálogo especificado mediante locuciones y reglas sintácticas no es modificable. Lo mismo podemos decir al respecto de la semántica operacional. Los ámbitos de conocimiento de comprador y vendedor están completamente definidos a efectos de estructura y significado, de manera que lo único que se puede hacer es asignar valores específicos a los modelos de preferencias

y perfiles de negociación. Este proceso sin embargo no va a tener el rango de instanciación. Todo el proceso de instanciación recae en la definición detallada de los mecanismos de decisión de comprador y vendedor. Las tablas de mecanismos de decisión 4.2 y 4.3 presentan cuatro columnas. La primera columna designa el mecanismo de decisión; la segunda describe el marco estratégico que implementa el mecanismo; la tercera columna enumera las estrategias que han sido predefinidas total o parcialmente; y por último la cuarta columna enumera todas las estrategias o funciones que es necesario desarrollar para completar una instancia del modelo. Por ejemplo, en los mecanismos de decisión del comprador, la entrada **B2: G.P. Requirement** hace referencia al mecanismo **Generate Purchase Requirement** de generación de requerimientos de compra. El marco estratégico describe cuáles son las tareas fundamentales

Tabla 4.1. Locuciones

Comprador	Vendedor	Elementos
L1: open_dialogue(.)		θ
	L2: enter_dialogue(.)	θ
	L3: willing_to_sell(.)	p_j
L4: desire_to_buy(.)		$\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$
	L5: prefer_to_sell(.)	$\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \rho_{\mathcal{B}_{req}}$
L6: prefer_to_buy(.)		$\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \nu_{\mathcal{B}_{req}}$
L7: refuse_to_buy(.)		p_j
	L8: refuse_to_sell(.)	$p_j \lambda_{\mathcal{B}_{req}}$
L9: agree_to_buy(.)		p_j
	L10: agree_to_sell(.)	p_j
L11: withdraw_dialogue(.)	L11: withdraw_dialogue(.)	θ

Tabla 4.2. Mecanismos de decisión del comprador

	Marco estratégico	Estrategias	A especificar
B1: Recognize Need	Inicio de negociación	No definidas	Inicio de negociación
B2: G.P. Requirement	Incorporación de rest. Modificación de rest.	Concesión competitiva Concesión general Compensación	Incorporación de rest. fmrc
B3: G.P.R. Valuation	Valoración de req.	Valoración de req.	fvr
B4: Consider Offers	Análisis de ofertas	Aceptación Rechazo	
B5: Consider Withdrawal	Fin de negociación	No definidas	Fin de negociación

Tabla 4.3. Mecanismos de decisión del vendedor

	Marco estratégico	Estrategias	A especificar
S1: Recognize Category	Aceptación de diálogo	Aceptación de diálogo	
S2: Assess Purchase_R.	Búsqueda de ofertas	Selección de ofertas	fsov
S3: G.P. Sale-Offers	Ofertas potenciales	Ofertas potenciales	fgovp
S4: G. Relax Requirement	Req. de relajación	Distribución de cumplimiento	fcrr
S5: Accept or Reject Offer	Aceptación de ofertas	Aceptación de ofertas	
S6: Consider Withdrawal	Fin de negociación	No definidas	Fin de negociación

que aborda, en este caso, la incorporación de restricciones a un requerimiento de compra o la modificación de las restricciones del requerimiento. Se dice además que hay tres estrategias predefinidas, de concesión competitiva, general y compensación, pero que es necesario detallar la estrategia de incorporación de restricciones y la función *fmrc* de modificación de restricciones de compra. Cuando en la columna 'Estrategias' aparece el texto 'No definidas' significa que no hay estrategia alguna definida ni total ni parcial. Si en la columna 'A especificar' no aparece texto, significa que el mecanismo correspondiente está completamente especificado.

La principal aportación de este capítulo es por tanto la de especificar de forma completa un sistema de negociación bilateral automática basado en restricciones difusas, donde los agentes, si lo desean, pueden argumentar mediante preferencias sus propuestas, y pueden actuar conforme a diferentes actitudes. El fin último es mostrar que cuando ambos agentes hacen uso de estrategias expresivas, las soluciones que se alcanzan son más satisfactorias que si los agentes no hacen uso de dichas estrategias.

El capítulo está organizado de la siguiente manera: en primer lugar se propone una instancia para el marco de mecanismos de decisión del comprador, y a continuación del vendedor. Una vez especificados en detalle todos los mecanismos, mediante el desarrollo de algoritmos que implementan los marcos estratégicos descritos en el modelo, se analizan las propiedades más importantes del marco de negociación definido. El capítulo concluye con un resumen y una descripción de las consideraciones finales.

Tabla 4.4. Reglas de transición

TR1: $\langle P_b, \mathbf{B1}, have_need(\theta) \rangle \underline{\mathbf{L1}} \langle P_s, \mathbf{S1}, . \rangle$
TR2: $\langle P_b, \mathbf{B1}, have_no_need(\theta) \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B1}, wait \rangle$
TR3: $\langle P_s, \mathbf{S1}, wish_not_to_enter(\theta) \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S1}, wait \rangle$
TR4: $\langle P_s, \mathbf{S1}, wish_to_enter(\theta) \rangle \underline{\mathbf{L2}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$
TR5: $\langle P_b, \mathbf{B2}, \emptyset \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B5}, . \rangle$
TR6: $\langle P_b, \mathbf{B5}, withdraw(\theta) \rangle \underline{\mathbf{L11}} \langle P_s, \mathbf{S6}, . \rangle$
TR7: $\langle P_s, \mathbf{S6}, withdraw(\theta) \rangle \underline{\mathbf{L11}} \langle P_b, \mathbf{B5}, . \rangle$
TR8: $\langle P_b, \mathbf{B2}, \lambda_{Breq} \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B3}, . \rangle$
TR9: $\langle P_b, \mathbf{B3}, \emptyset \rangle \underline{\mathbf{L4}} \langle P_s, \mathbf{S2}, . \rangle$
TR10: $\langle P_b, \mathbf{B3}, v_{Breq} \rangle \underline{\mathbf{L6}} \langle P_s, \mathbf{S2}, . \rangle$
TR11: $\langle P_s, \mathbf{S2}, \emptyset \rangle \underline{\mathbf{L8}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$
TR12: $\langle P_s, \mathbf{S2}, sale_offer(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L3}} \langle P_b, \mathbf{B4}, . \rangle$
TR13: $\langle P_s, \mathbf{S2}, purchase_requirement(\lambda_{Breq}^t) \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S3}, . \rangle$
TR14: $\langle P_s, \mathbf{S3}, S_P \rangle \rightarrow \langle P_s, \mathbf{S4}, . \rangle$
TR15: $\langle P_s, \mathbf{S4}, \rho_{Breq} \rangle \underline{\mathbf{L5}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$
TR16: $\langle P_b, \mathbf{B4}, generate_purchase_requirement(p_j) \rangle \rightarrow \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$
TR17: $\langle P_b, \mathbf{B4}, accept_offer(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L9}} \langle P_s, \mathbf{S5}, . \rangle$
TR18: $\langle P_b, \mathbf{B4}, reject_offer(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L7}} \langle P_s, \mathbf{S2}, . \rangle$
TR19: $\langle P_s, \mathbf{S5}, accept(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L10}} \langle P_b, \mathbf{B5}, . \rangle$
TR20: $\langle P_s, \mathbf{S5}, reject(p_j) \rangle \underline{\mathbf{L8}} \langle P_b, \mathbf{B2}, . \rangle$
TR21: $\langle P_x, \mathbf{K}, wait \rangle \rightarrow \langle P_x, \mathbf{K}, . \rangle$

4.2. Instancia para el marco de mecanismos de decisión del comprador

En esta sección se hace una propuesta detallada de cada uno de los mecanismos de decisión del comprador.

4.2.1. B1: Recognize Need

El mecanismo identifica una necesidad de compra, y por tanto, la necesidad de iniciar un diálogo de negociación con un vendedor específico, cuando el usuario propietario emite una orden específica a través de un interfaz. La orden puede ser capturada directamente por el agente comprador, o puede llegar de forma indirecta a través de un agente personal.

4.2.2. B2: Generate Purchase Requirement

El mecanismo aborda el problema de la generación de requerimientos de compra. Son tres las estrategias que hay que especificar: la incorporación de nuevas restricciones difusas a un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ para generar un nuevo $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$; la incorporación de la primera o primeras restricciones a un $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$; y la definición de la función $fmrc : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \rho_{\mathcal{B}_{req}}, \eta) \rightarrow \{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \emptyset\}$ para la modificación de requerimientos de compra, con el objeto de generar también un nuevo $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ sin añadir nuevas restricciones.

Este mecanismo se puede activar en **TR11** cuando el vendedor rechaza sin argumentos el requerimiento previo, en **TR15** cuando el vendedor rechaza con argumentos el requerimiento previo, en **TR16** cuando el vendedor ha emitido una oferta de venta que cumple las restricciones enviadas pero no una o más de las no enviadas, en **TR20** cuando el vendedor rechaza un compromiso de compra, y en **TR4** cuando se trata del primer requerimiento de compra.

Incorporación de nuevas restricciones

Cuando la regla de transición que se activa es **TR4**, es necesario establecer el primer requerimiento de compra. El agente selecciona una restricción difusa y aplica el corte al nivel más alto para extraer la correspondiente restricción dura y componer el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$. Siguiendo esta estrategia el agente está siguiendo el principio de mínima revelación de información, y el requerimiento que se obtiene es el que genera mayor grado de satisfacción global potencial.

Cuando el mecanismo se ha activado en la transición **TR16**, debido a la recepción de una oferta de venta que no satisface todas las restricciones no enviadas, el comprador no repite el requerimiento de compra, sino que directamente selecciona una nueva restricción de entre aquellas que no son satisfechas por la oferta de venta recibida. Con esta estrategia la velocidad de convergencia es más rápida porque se revelan más rápidamente nuevas restricciones. Esto

hace que el vendedor ubique mejor posteriores ofertas. Se asume que las restricciones no enviadas se fijan internamente a nivel de corte 1 para maximizar el grado de satisfacción global potencial.

Modificación de requerimientos de compra

Las reglas de transición **TR11** o **TR15** se activan porque el vendedor rechaza el requerimiento de compra, mientras que la regla **TR20** se activa porque el vendedor rechaza un compromiso de compra, de manera que en estos casos, independientemente de que haya posibilidad de incluir nuevas restricciones o no en el requerimiento de compra, el agente comprador opta por relajar el requerimiento sin añadir nuevas restricciones. La decisión de no enviar nuevas restricciones vendría dada por el siguiente razonamiento del agente comprador: “Si el requerimiento actual no satisface al agente vendedor, independientemente de que envíe nuevas restricciones difusas, el requerimiento va a seguir siendo inaceptable para el vendedor, luego es preferible modificar la propuesta actual. Si al modificar la propuesta actual el vendedor dispone de un producto que cumple las restricciones enviadas, pero no las no enviadas, entonces sí añadiré una nueva restricción, porque es probable que el vendedor disponga de productos similares que cumplan todas las restricciones”. El problema se reduce por tanto a fijar la estrategia de relajación del requerimiento de compra previo $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, es decir, a definir $f_{mrc} : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \rho_{\mathcal{B}_{req}}, \eta) \rightarrow \{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, \emptyset\}$.

Según se especificaba en el enunciado del mecanismo, esta función debe estar basada en alguna de las estrategias de concesión o compensación también definidas. En esta instancia, proponemos la utilización conjunta de la *estrategia competitiva de concesión* y la *estrategia de compensación*.

Para la aplicación de ambas estrategias, competitiva y de compensación, se propone la metaestrategia consistente en aplicar siempre que sea posible la estrategia de compensación, y en su defecto la de concesión. De esta forma se consigue que cualquier proceso de modificación de requerimientos de compra (relajación) comporte la mínima pérdida de satisfacción global potencial posible. La pregunta que nos tenemos que hacer ahora es cómo concretamos esta propuesta en la función f_{mrc} . Para responder a esta pregunta proponemos el siguiente algoritmo que implementa toda la funcionalidad requerida.

Algoritmo 4.2.1. (Modificación de requerimientos de compra)

1) Dado un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, se obtiene un vector con los grados de satisfacción global potencial para todos los posibles requerimientos de compra ficticios, resultantes de relajar cada vez sólo una de las restricciones contenidas en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$:

$$[\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+1)k_1}} \dots \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+1)k_i}}]$$

donde $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}req}^{(t+1)k_x}}$ representa el grado de satisfacción global potencial que se obtiene si la restricción $R_{k_x}^f$ es relajada lo mínimo posible. Las restricciones que no pueden ser relajadas más se eliminan del vector. Si no es posible relajar ninguna restricción la función retorna \emptyset .

2) Se calcula el máximo del vector anterior:

$$\alpha_{max}^{t+1} = \max([\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}req}^{(t+1)k_1}} \dots \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}req}^{(t+1)k_i}}])$$

3) Se genera un nuevo vector en el que se incluyen únicamente los elementos que satisfacen la siguiente igualdad:

$$\alpha_{max}^{t+1} = \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}req}^{(t+1)k_x}}$$

que vamos denominar

$$\overrightarrow{\alpha_{max}^{t+1}}$$

4) Finalmente se aplica la siguiente función:

$$\arg \max_{\alpha_{max}^{t+1}, \rho_{max}^t} \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}req}^{(t+1)k_x}} + r_{k_x} * \eta$$

donde ρ_{max}^t es un requerimiento de relajación del vendedor en el que sólo se tienen en cuenta los requerimientos que se corresponden con las restricciones incluidas en el vector creado en el paso 3). Si no existe requerimiento de relajación, r_{k_x} tomará siempre valor 0. Esta función selecciona la o las restricciones que maximizan la suma de la satisfacción global potencial que inducen si son relajadas, y del requerimiento de relajación correspondiente ponderado por el valor η del perfil receptivo del comprador.

5) Una vez seleccionada la o las restricciones con opción a ser relajadas, se elige una aleatoriamente y se compone el nuevo requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}req}^{t+1}$, en el que se modifica únicamente la restricción elegida.

Las tres primeras fases del algoritmo se centran en la búsqueda de aquellas restricciones del requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}req}^t$ que si se relajan comportan la menor pérdida de satisfacción global potencial posible. Esto es en definitiva aplicar la metaestrategia de compensación y concesión. Una vez detectadas estas restricciones, la fase 4) tiene en cuenta sólo estas restricciones, y si existe un requerimiento de relajación, las preferencias que tiene el vendedor por la relajación de éstas. Se está teniendo en cuenta por tanto no sólo el criterio local de

minimización de pérdida de satisfacción, sino también el argumento de rechazo del vendedor. Dicho argumento de rechazo en forma de declaración de preferencias por la relajación de determinadas restricciones se pondera por el valor η , modulando de alguna manera en qué medida se hace caso al vendedor al respecto de su declaración de preferencias. En un extremo si $\eta = 0$ el único criterio para la relajación es local, mientras que si $\eta = 1$, se está concediendo la máxima importancia posible a las recomendaciones del vendedor. Es importante precisar, que conforme hemos definido en el paso 2) el criterio del valor máximo para filtrar los valores de satisfacción potencial, la función definida en 4) sólo varía al variar r_{k_x} , siendo $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+1)k_x}}$ una constante igual a α_{max}^{t+1} . Sin embargo, hemos preferido mostrar la función de forma más general para poder extender fácilmente el criterio del máximo a otros valores.

4.2.3. B3: Generate Purchase Requirement Valuation

El mecanismo aborda el problema de la valoración de requerimientos de compra. Sólo se activa internamente en la regla de transición **TR8** tras la generación de un requerimiento de compra, y es realmente operativo cuando el *perfil expresivo* del agente comprador lo permite, es decir, cuando $\xi = 1$. En este caso, necesitamos definir la función de valoración de requerimientos de compra $f_{vrc} : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}) \rightarrow v_{\mathcal{B}_{req}}$. Para ello proponemos el siguiente algoritmo.

Algoritmo 4.2.2. (Valoración de requerimiento de compra)

1) Dado un requerimiento de compra a enviar $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, se obtiene un vector con los grados de satisfacción global potencial para todos los posibles requerimientos de compra ficticios, resultantes de relajar cada vez sólo una de las restricciones en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$. Los grados de satisfacción global potencial de aquellas restricciones no relajables toman valor 0:

$$[\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_1}} \dots \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_i}}]$$

2) Se toman los elementos del vector anterior y se define un nuevo vector normalizado que representa la valoración del requerimiento de compra:

$$v_{\mathcal{B}_{req}} = [1 - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_1}} \dots, 1 - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_i}}] / \text{sum}([1 - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_1}} \dots, 1 - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_i}}])$$

El mecanismo definía la *estrategia de valoración de requerimientos de compra* como una estrategia basada en los grados de satisfacción potenciales. Matricemos de qué grados de satisfacción potencial estamos hablando, describiendo para ello un proceso normal de valoración. Cuando se ejecuta el mecanismo **B2: Generate Purchase Requirement**, se genera un requerimiento de compra, llamémosle $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, a partir de un requerimiento ya enviado antes denominado $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$. Para la generación de $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$ se han utilizado los grados de satisfacción

potencial ficticios de $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$. En cambio, en la generación de valoración se están generando los grados de satisfacción potencial ficticios de la propuesta $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, que todavía no se ha enviado. En definitiva, se están estimando los grados de satisfacción potencial que se podrían conseguir si el comprador vuelve a solicitar un nuevo requerimiento.

Como consideramos también en la definición del mecanismo, la valoración de una restricción es contraria al grado de satisfacción potencial que se consigue si se relaja. De ahí, se ha optado por realizar la operación $1 - \alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{(t+2)k_x}}$ sobre cada una de las restricciones. Por último hay que aclarar que asignando en el paso 1) un valor 0 a los grados de satisfacción global potencial en el caso de restricciones no relajables, se consigue que la valoración sea máxima.

4.2.4. B4: Consider Offers

Este mecanismo está completamente especificado. Se activa únicamente cuando se recibe una oferta de venta (ver **TR12**). La consideración de la oferta está representada en las reglas de transición **TR16**, **TR17** y **TR18**. La regla **TR16** se dispara cuando la oferta de venta recibida no cumple el requerimiento de compra al completo, mientras la regla **TR17** se activa cuando se acepta la oferta. La regla **TR18** representa un rechazo frontal de la oferta de venta.

4.2.5. B5: Consider Withdrawal

El mecanismo identifica una necesidad de abandono de un diálogo de negociación. El mecanismo se activa en tres supuestos: en la transición **TR5** cuando el agente comprador no puede relajar más sus requerimientos de compra; en la transición **TR7** cuando se recibe un aviso de abandono asíncrono del vendedor mediante la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**; y finalmente en la transición **TR19** cuando el vendedor emite un compromiso de venta que completa la transacción. Vemos por tanto que la única tarea explícita de este mecanismo es emitir la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**, y que la identificación de la necesidad de abandono está implícita en las reglas de transición.

4.3. Instancia para el marco de mecanismos de decisión del vendedor

En esta sección se hace una propuesta detallada de cada uno de los mecanismos de decisión del vendedor.

4.3.1. S1: Recognize Category

Este mecanismo está completamente especificado. Sólo se activa cuando se recibe una petición de inicio de diálogo (ver **TR1**). Si se encuentran productos sobre los que negociar

se emite la locución **L2: enter_dialogue(.)** para confirmar la participación (ver **TR4**), y si no se encuentran se entra en estado de espera (ver **TR3**).

4.3.2. S2: Assess Purchase Requirement

El mecanismo está completamente especificado a excepción de la estrategia de selección de entradas del catálogo que satisfacen un requerimiento de compra. Recordemos que el objetivo de este mecanismo es buscar productos que satisfagan los requerimientos de compra, y si existen, seleccionar los más adecuados. Si no hay productos, se activan las reglas de transición **TR11** o **TR13**. La primera implica que se envía un rechazo al requerimiento, pero sin argumento alguno, mientras la segunda implica la utilización de argumentos. Una u otra dependen del perfil expresivo del agente. Cuando existen productos se selecciona sólo uno de ellos mediante la función $f_{sov} : (\lambda_{B_{req}}, S) \rightarrow S$. Dicha función toma como entrada el requerimiento de compra que se está analizando, y el subconjunto de productos del catálogo que satisfacen dicho requerimiento. La función retorna el producto que se va a utilizar como oferta de venta. Proponemos a continuación un algoritmo para implementar esta función.

Algoritmo 4.3.1. (Selección de ofertas de venta)

- 1) *Se seleccionan los productos de máxima utilidad.*
- 2) *De los productos seleccionados en 1) se eligen los que se han enviado el menor número de veces.*
- 3) *De los productos seleccionados en 2) se elige uno aleatoriamente. Este producto es el que retorna la función.*
- 4) *Se actualiza el almacén de información $AI(P_s)$ del vendedor, incrementando el número de envíos asociado al producto elegido en 3).*

El elegir el producto de mayor utilidad es consecuente con la racionalidad del agente al respecto de la maximización de la utilidad. Seleccionar el producto menos veces enviado responde al razonamiento lógico de estimar que si un producto no ha sido aceptado antes, probablemente tampoco será aceptado ahora, y es mejor probar por tanto con otro producto que dando la misma utilidad, no haya sido enviado todavía.

4.3.3. S3: Generate Potential Sale-Offers

La generación de ofertas de venta potenciales constituye el núcleo del sistema de argumentación del vendedor. Tiene un único punto de activación en la regla de transición **TR13**,

cuando el mecanismo **S2: Assess Purchase Requirement** de análisis de requerimiento de compra solicita que se haga un rechazo argumentado. La única salida del mecanismo (una lista con ofertas de venta potenciales) activa internamente en la transición **TR14** el mecanismo **S4: Generate Relax Requirement** para la composición de un requerimiento de relajación.

Vimos en la descripción general del mecanismo, que se define un único marco estratégico acotado por la función $fgovp : (\lambda_{\mathcal{B}_{req}}, S, v_{\mathcal{B}_{req}}) \rightarrow S$ de *generación de ofertas de venta potenciales*. Las entradas de la función son un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ sobre el que se quiere argumentar un rechazo, el catálogo de productos del vendedor S del que se tienen que extraer los productos candidatos o preferidos, y opcionalmente si existe, una valoración $v_{\mathcal{B}_{req}}$ del requerimiento de compra. La función devuelve como resultado una lista S_P con los productos que el vendedor considera deben ser tomados como referencia para generar requerimientos de relajación. Finalmente debemos recordar que en la especificación del mecanismo son dos los criterios a tener en cuenta: la *utilidad* y la *viabilidad*. En función de todos estos datos proponemos la siguiente implementación de $fgovp$.

Implementación de $fgovp$

Teniendo en cuenta que la función debe discriminar productos para ser incluidos en una lista de ofertas de venta potenciales, definimos en primer lugar una función $prefer(s_j)$ que va a asignar un valor de *preferencia* a cada uno de los productos del catálogo. Esta función debe ser llamada tantas veces como productos tenga el catálogo S . Dado que los dos criterios a tener en cuenta son los de *utilidad* y *viabilidad*, el primero interno, y el segundo externo, es necesario formalizar la función en base al *perfil receptivo* del agente vendedor. Este perfil receptivo es definido por el valor β , que modula la importancia que van a tener los argumentos procedentes del comprador. Así, proponemos la siguiente definición para la función $prefer$:

$$prefer(s_j) = \beta * u_j + (1 - \beta) * \hat{viability}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t, v_{\mathcal{B}_{req}})$$

Podemos comprobar cómo el valor β controla en qué medida se tienen en cuenta los factores internos y externos, a la hora de decidir la preferencia que tiene el agente vendedor por que una entrada del catálogo se constituya como oferta de venta. En un extremo, si $\beta = 1$, la función queda como $prefer(s_j) = \beta * u_j$, mientras que si $\beta = 0$ la función queda como $prefer(s_j) = \hat{viability}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t, v_{\mathcal{B}_{req}})$. El primer caso no tiene en cuenta ni el requerimiento de compra recibido, ni su posible valoración, de manera que el criterio de selección recae únicamente en la utilidad local. El segundo caso no tiene en cuenta la utilidad, por lo que el criterio de selección de productos se basa únicamente en la viabilidad estimada de la venta. Valores intermedios de β ponderan en una determinada proporción ambos criterios. Como se explica en el siguiente capítulo, una elección adecuada del valor de β es fundamental para el buen funcionamiento del mecanismo.

Una vez se han calculado los valores de *preferencia* con la función *prefer* para todos los productos del catálogo, es posible generar la lista de ofertas de venta potenciales mediante un filtrado por umbral de dichos valores. Proponemos el siguiente algoritmo para el *filtrado de valores de preferencia para la obtención de ofertas de venta potenciales*.

Algoritmo 4.3.2. (Filtrado de valores de preferencia para la obtención de ofertas de venta potenciales)

1) *Se define un umbral de preferencia.*

2) *Se seleccionan todas las entradas del catálogo cuyo valor de preferencia calculado sea mayor o igual al umbral obtenido en 1). Estas entradas constituyen la salida S_P de la función $fgovp$.*

El valor del umbral prefijado en 1) tiene una influencia fundamental en el proceso de generación del requerimiento de relajación. Tengamos en cuenta que dicho umbral va a determinar el número de productos incluidos en S_P . En general, un valor bajo de umbral implica un número alto de productos en S_P , mientras un umbral más selectivo o alto, implica que el número de productos en S_P es menor. Si el agente vendedor tiende a generar pocos productos como candidatos de ofertas de venta potenciales, su actitud se puede considerar como más decidida a la hora de decantarse por estimular al comprador hacia una venta concreta. Si por el contrario el agente vendedor es poco selectivo, y el número de productos candidatos es siempre muy grande, la actitud del agente puede considerarse como menos decidida a decantarse por conducir la negociación hacia un espacio concreto. Este umbral por tanto pondera la 'impaciencia' del vendedor por emitir argumentos restrictivos.

Hasta aquí, toda la funcionalidad de $fgovp$ está descrita, a excepción del cálculo o estimación de la *viabilidad* que desarrollamos a continuación, y que constituye sin duda la parte más compleja del mecanismo.

Definición de la estimación de viabilidad $viability$

La estimación de viabilidad de venta de un producto p_j debe basarse conforme a la descripción del mecanismo en: el grado de similitud entre el producto p_j y el requerimiento de compra $\lambda_{B_{req}}$; y una estimación de la valoración que hará el comprador del producto en cuestión si se ofrece para la venta. Estos aspectos se condensan en la siguiente definición de *estimación de viabilidad*:

$$viability = \hat{sim}(p_j, \lambda_{B_{req}}) \diamond \hat{E}_{bv}(v_{B_{req}})$$

El primer término representa una estimación de la *similaridad* entre el producto p_j y el requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$. El segundo término define la *estimación de la valoración del comprador* como una función de estimación que depende del producto p_j , y de la *valoración del requerimiento de compra* emitida por el comprador (si el perfil del comprador es expresivo). El operador \diamond tendrá la función de ponderar ambos términos (este operador se describe más abajo). Abordamos ahora cada término por separado.

Similaridad

La *similaridad* la podemos definir como una función de la *distancia* de la siguiente forma:

$$\hat{sim}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}) = 1 - \hat{dist}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}})$$

donde $\hat{dist}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}})$ representa la *estimación de la distancia normalizada* existente entre un producto p_j y un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}$. Para estimar la distancia proponemos utilizar una medida basada en la *distancia euclídea*, dejando claro que esta elección es arbitraria, y que es posible utilizar otras medidas de distancia. Por ejemplo en [Faratin *et al.*, 2002] la medida de similaridad entre dos soluciones puntuales se basa en el cálculo de la distancia entre los atributos de dichas soluciones, y la selección final, de la distancia mayor (o similaridad menor a nivel de atributo). Nuestra propuesta es la siguiente:

$$\hat{dist}(p_j, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t) = \text{sqr}t\left(\sum_{i=1}^n \hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})^2/n\right)$$

donde $\hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})$ representa la distancia del atributo a_{ji} del producto p_j al conjunto de restricciones incluidas en $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$ que hacen referencia a dicho atributo. Esto significa que en primer lugar se deben calcular las distancias del atributo a cada una de estas restricciones. Este cálculo es una medida de la distancia al límite estimado más cercano que delimita la restricción dura correspondiente. Sin embargo, esta medida de distancia entre un atributo y un límite de una restricción dura es una medida absoluta que tiene que ser normalizada. Es necesaria la definición de los siguientes valores: el *valor de reserva* estimado a_i^{res} para cada uno de los atributos; el *límite más lejano* a cada uno de los atributos a_{ji} , que se obtiene mediante la función $\text{boundary}(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})$; la *velocidad de relajación estimada* para cada atributo a_{ji} que vamos a denominar $\tau_i^t \in (0, \infty)$; y por último, el *grado de certidumbre* de la estimación de distancia de un atributo a_{ji} que denominamos $\gamma_i^t \in [0, 1]$. Los *valores de reserva*, de *velocidad de relajación* y el *grado de certidumbre* forman parte del *modelo de requerimientos del vendedor*, en concreto del conjunto de creencias $\Delta^t = \{(\delta_i^t, \gamma_i^t), i = 1, \dots, m\}$, donde $\delta_i^t = (a_i^{res}, \tau_i^t)$. Comentamos a continuación cada uno de estos valores.

El *valor de reserva* a_i^{res} expresa la creencia del vendedor al respecto de cuál es el valor de relajación límite que estaría dispuesto a asumir el comprador para un determinado atributo. De esta creencia parcial no se tiene por qué inducir la creencia de que el comprador estaría dispuesto a relajar todas las restricciones hasta estos valores de reserva simultáneamente. Si esto fuese así, el vendedor podría sencillamente rechazar todas las propuestas hasta que el comprador relajase todas las restricciones. Sin embargo, en un entorno de múltiples vendedores, la utilización por parte del vendedor de una estrategia de este tipo está también condicionada por la aversión al riesgo de perder una venta. En la propuesta de instancia no especificamos cómo establece el vendedor la creencia al respecto de estos valores de reserva. Esta creencia podría venir determinada por factores locales, por ejemplo, se analizan los productos del catálogo, y se obtienen los rangos de atributos. O podría venir determinada por factores externos, por ejemplo, un histórico de negociaciones con el mismo comprador o diferentes compradores.

El *límite más lejano* requiere en primer lugar el cálculo de los límites que definen las restricciones duras que restringen un atributo a_{ji} . Se asume que estos límites son los más cercanos al atributo. Una vez se tienen los límites se pueden calcular las distancias absolutas al atributo. El *límite más lejano* será el límite que genera la mayor de estas distancias. Es decir, la distancia absoluta del atributo a_{ji} a un requerimiento de compra, será la mayor de las distancias de dicho atributo a las restricciones duras que restringen dicho atributo.

La *velocidad de relajación estimada* es una estimación de la predisposición del comprador a relajar las restricciones sobre un determinado atributo. En este caso no se estima el valor de reserva, sino la velocidad con que se estima se va a llegar al valor de reserva. La idea es que una distancia calculada sobre un atributo para el que se estima una relajación rápida, debe interpretarse como una distancia menor en relación con una distancia igual calculada sobre un atributo para el que se estima una relajación lenta.

El *grado de certidumbre* γ_i^t es una medida de la certidumbre que tiene el comprador al respecto de la medida de distancia realizada para el atributo a_{ji} .

Finalmente presentamos a continuación la función $\hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})$ que aglutina todos estos conceptos.

$$(4.3.1) \quad \hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i}) = \begin{cases} \left(\text{abs} \left(\frac{a_{ji} - \text{boundary}(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})}{a_i^{res} - \text{boundary}(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})} \right)^{1/\tau_i^t} - 1 \right) * \gamma_i^t + 1 & a_{ji} \in [a_i^{res}, \text{boundary}(\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i})] \\ 0 & a_{ji} \in \lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t,i} \\ 1 & \text{resto} \end{cases}$$

Esta estimación de distancia tiene las siguientes propiedades:

1. La distancia está normalizada a 1 en todos los casos.
2. Los valores de atributo que sobrepasan los valores de reserva estimados se fijan a distancia 1.
3. Si el atributo satisface las restricciones la distancia es 0.
4. Si el atributo se encuentra entre el valor de reserva y el límite de las restricciones, la distancia es función de la lejanía a las restricciones, y está normalizada por la distancia entre el valor de reserva y el límite de las restricciones.
5. Para un mismo valor de atributo a_{ji} , un valor alto para τ_i^t implica una estimación más alta de distancia que para un valor bajo. Por lo tanto, un valor alto para τ_i^t se debe emplear cuando el agente vendedor no cree que las restricciones sobre dicho atributo vayan a ser relajadas de forma generosa.
6. Para $\gamma_i = 0$ el grado de certidumbre al respecto de la estimación de distancia para el atributo a_{ji} es nulo, por lo tanto la distancia toma valor 1.
7. Para un valor predeterminado de $abs(.)^{1/\tau_i^t}$, un valor bajo para γ_i^t penaliza la estimación de distancia en comparación con un valor alto.

Por último es importante destacar el carácter dinámico que pueden tener los parámetros a_i^{res} , τ_i^t y γ_i^t . Con esto queremos decir que dichos valores podrían actualizarse incluso durante un diálogo de negociación en base a las creencias del vendedor, variables en función del tiempo. Por ejemplo, es evidente que si el valor de reserva estimado se ve sobrepasado por la relajación del comprador, la creencia que el vendedor tiene al respecto del valor de reserva debe modificarse.

En la figura 4.1 se presenta un ejemplo que esquematiza el método utilizado en la estimación de distancia. En este ejemplo se definen tres restricciones difusas sobre los atributos: precio, calidad y plazo de entrega, donde cada columna representa una de estas restricciones difusas, y cada línea horizontal describe una restricción dura que se puede extraer aplicando un determinado nivel de corte. Hasta aquí, ésta es la información que describe las preferencias del comprador, y por tanto, sólo es conocida por él. Las líneas rojas representan los niveles de corte aplicados por el comprador a cada una de las restricciones en un instante t . Estos valores son conocidos por tanto por el vendedor en forma de un requerimiento de compra. Por otra parte, el vendedor estima que el comprador estaría dispuesto a relajar de forma independiente los diferentes atributos hasta los valores de reserva representados como líneas discontinuas azules.¹ En base a estos valores de referencia, se calcula la distancia normalizada del producto p_j (representado mediante tres círculos azules, uno para cada atributo) al requerimiento de compra. Finalmente, las figuras 4.2 y 4.3 ilustran la influencia del grado de certidumbre y de la velocidad de relajación en la estimación de distancia. En el caso del grado de certidumbre

¹La estimación del valor de reserva sobre el precio es optimista, debido a que el comprador nunca va a relajar hasta ese precio. Al revés, en el caso del atributo calidad, el vendedor está siendo pesimista.

se puede observar cómo a medida que éste se hace menor, la distancia estimada se hace mayor. En el caso de la velocidad de relajación, el gráfico representa, para un valor límite y de reserva predefinidos de la restricción sobre el precio, la distancia estimada para diferentes valores del parámetro τ_1^t .

Estimación de la valoración del comprador

La estimación de la valoración que un comprador haría de una oferta de venta está directamente relacionada con la valoración explícita que puede hacer el comprador de un requerimiento de compra, es decir, de $v_{B_{req}}$. Esta valoración, siguiendo un razonamiento parecido al que nos llevaba a definir la velocidad de relajación τ_i^t y el grado de certidumbre γ_i^t , va a influir en la estimación de distancia de la siguiente manera. Si las restricciones sobre un atributo a_{ji} son muy valoradas, significa que la predisposición del comprador a relajar dichas restricciones es baja, con lo que la medida de distancia debe ponderarse al alza. Así, cuando el comprador emite valoraciones de compra proponemos la siguiente función de viabilidad que

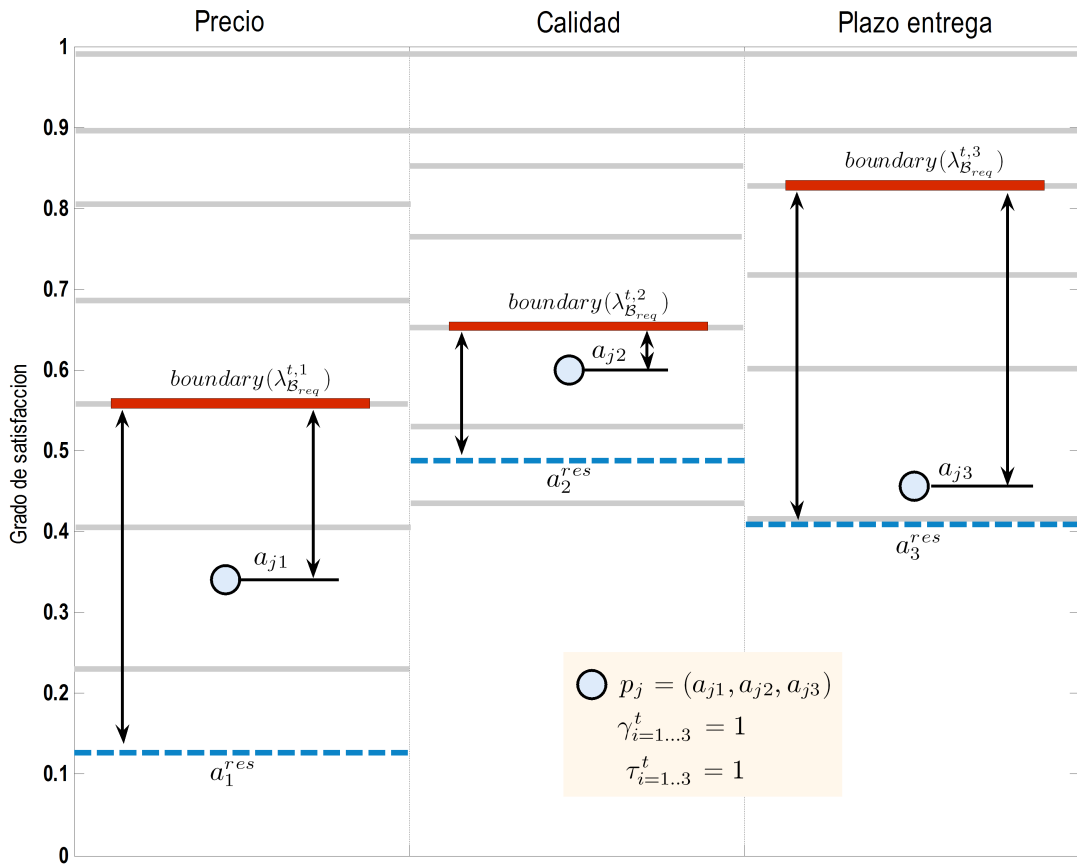


Figura 4.1. Esquema del método de la estimación de distancia de un producto p_j a un requerimiento de compra $\lambda_{B_{req}}^{t,i}$

implementa el operador \diamond :

$$viability = 1 - \text{sqr}t\left(\sum_{i=1}^n (\hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{B_{req}}^{t,i}) * v_{boundary}(\lambda_{B_{req}}^{t,i}))^2/n\right)$$

donde $v_{boundary}(\lambda_{B_{req}}^{t,i})$ representa la preferencia que el comprador tiene porque la restricción más lejana al atributo a_{ji} sea satisfecha.

Para extender el uso de esta función de viabilidad al caso en el que el comprador no es expresivo, se hace que en casos de no expresividad el vendedor considere $v_{boundary}(\lambda_{B_{req}}^{t,i}) = 1$. La función *prefer* queda finalmente como:

$$prefer(s_j) = \beta * u_j + (1 - \beta) * (1 - \text{sqr}t\left(\sum_{i=1}^n (\hat{dist}(a_{ji}, \lambda_{B_{req}}^{t,i}) * v_{boundary}(\lambda_{B_{req}}^{t,i}))^2/n\right))$$

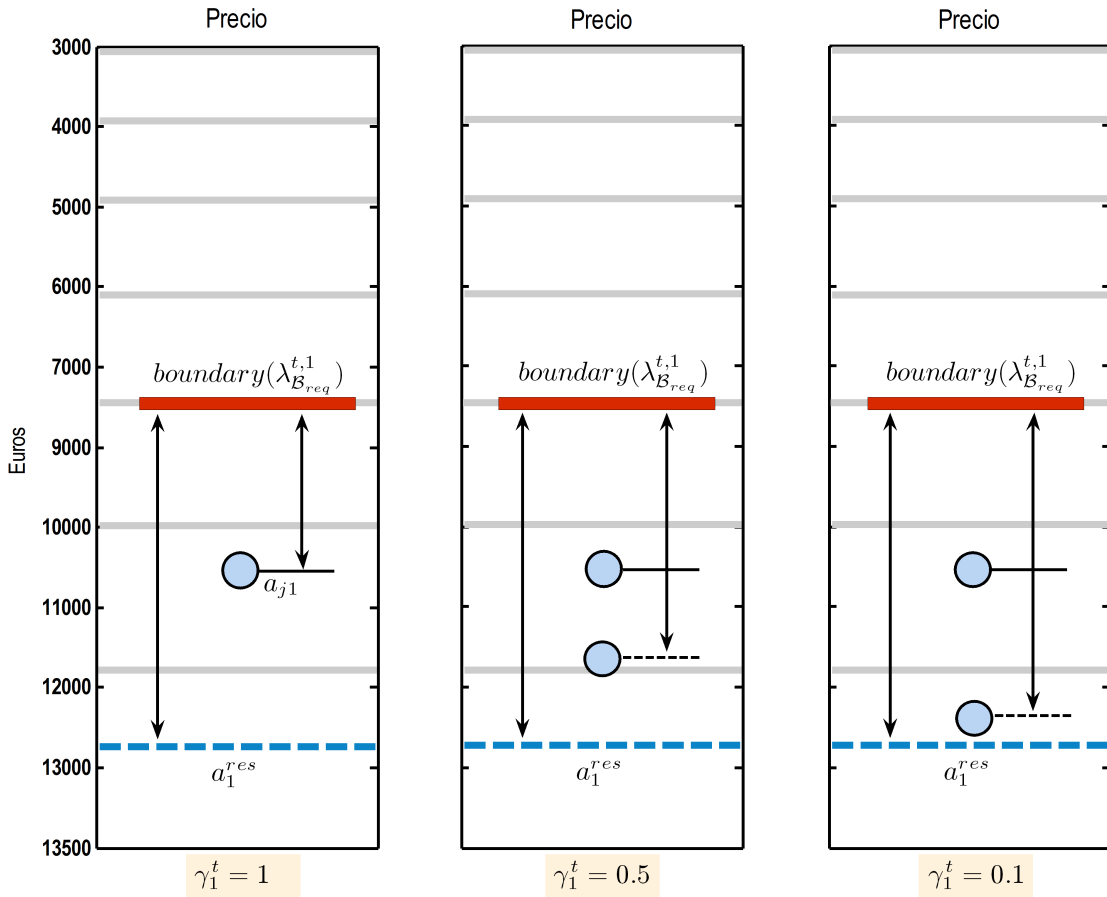


Figura 4.2. Influencia del grado de certidumbre en la estimación de distancia

4.3.4. S4: Generate Relax Requirement

La *generación de requerimientos de relajación* se activa en la regla de transición **TR14**, cuando el mecanismo **S3: Generate Potential Sale-Offer** ha generado la lista de ofertas de venta potenciales S_P . La ejecución de este mecanismo activa la regla de transición **TR15**, que emite un requerimiento de relajación mediante la locución **L5: prefer_to_sell(.)**. El marco estratégico que se define en este mecanismo es el de la *composición de requerimiento de relajación*, especificado mediante la función $f_{err} : (\lambda_{B_{req}}, S_P) \rightarrow \rho_{B_{req}}$ de *composición de requerimiento de relajación*. Dicha función recibe como parámetros de entrada: el *requerimiento de compra* $\lambda_{B_{req}}$ cuyo rechazo se quiere argumentar, y la *lista de ofertas de venta potenciales* S_P . La salida de la función es el requerimiento de relajación $\rho_{B_{req}}$. Se especifica además que la estrategia debe estar basada en la generación de un mapa de distribución de frecuencias de cumplimiento de restricciones en $\lambda_{B_{req}}$ por parte de los productos en S_P . En la figura 4.5 aparece una posible distribución para un requerimiento de compra de tres restricciones, y una lista con 10 productos. Las tres primeras columnas indican si cada una de las tres restricciones son satisfechas o no. Así, el código (0 1 0) indica que la primera y tercera restricciones no se satisfacen, y la segunda sí se satisface. La cuarta columna indica el

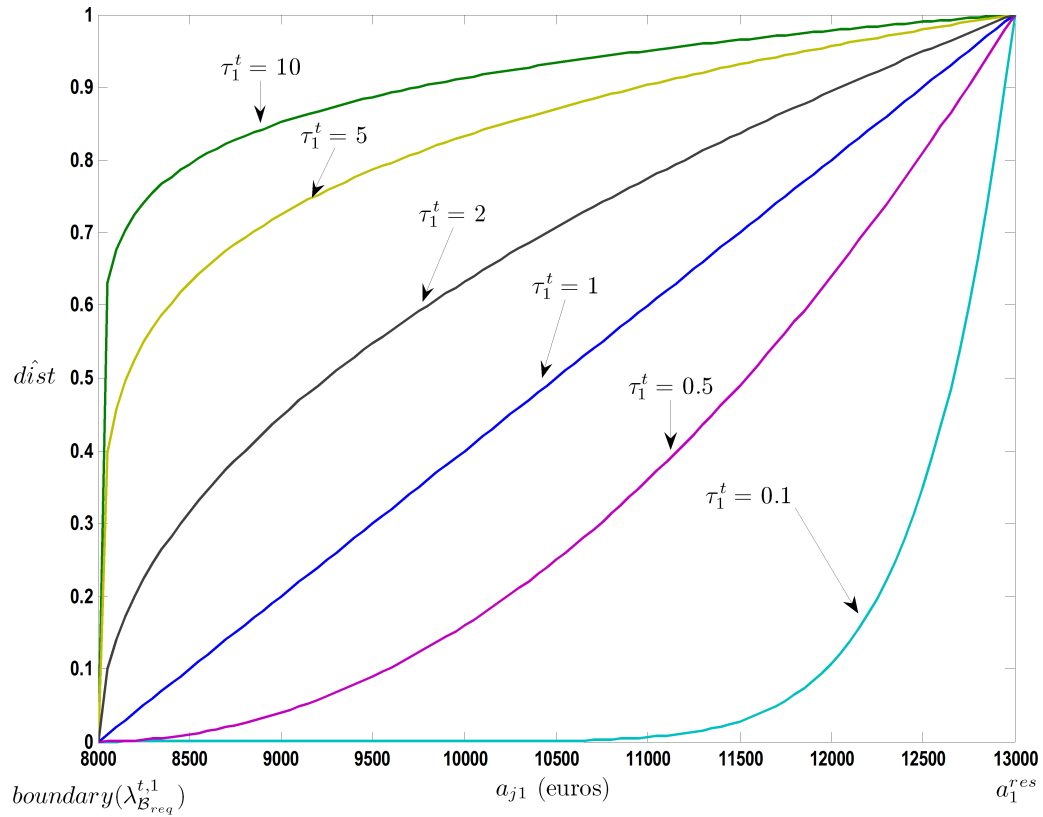


Figura 4.3. Influencia de la velocidad de relajación en la estimación de distancia

número de productos que satisfacen o no restricciones según la combinación indicada en las tres primeras columnas. En el ejemplo podemos ver como hay un producto que no satisface ninguna de las restricciones, mientras hay 5 productos que satisfacen las restricciones R_1 y R_3 pero no R_2 . En cualquier caso la función f_{crr} debe basar su estrategia en cómo tratar el no cumplimiento de restricciones por parte de los productos. Para no sobrecargar la técnica de generación del requerimiento de relajación con excesivos matices, teniendo en cuenta que ésta depende además del umbral que se fija en **S3** para generar la lista S_P , aplicamos el siguiente *algoritmo de composición de requerimiento de relajación*:

Algoritmo 4.3.3. (Composición de requerimiento de relajación)

1) Se compone el requerimiento de relajación como un vector r_{k_1}, \dots, r_{k_i} , donde $r_{k_x} = 1$ indica que la restricción R_{k_x} no es satisfecha por producto alguno, y $r_{k_x} = 0$ indica que la restricción R_{k_x} es satisfecha por lo menos por un producto.

Según este algoritmo, en el ejemplo de la tabla 4.5 el requerimiento de relajación sería (0,0,0), debido a que todas las restricciones son satisfechas individualmente (no hace falta que sea simultáneamente) por al menos un producto. Es decir, el comprador no tienen una preferencia especial porque una restricción sea relajada, porque cualquier relajación puede conducir a la venta de un producto en S_P .²

4.3.5. S5: Accept or Reject Offer

Este mecanismo está completamente especificado. Sólo se activa cuando se recibe una locución **L9: agree_to_buy(.)** del comprador con un compromiso explícito de compra (ver **TR17**). Si se acepta el compromiso de compra se activa la regla de transición **TR19**, de forma que el vendedor emite la locución **L10: agree_to_sell(.)** confirmando la transacción. Si no se acepta el compromiso de compra se activa la regla de transición **TR20**, donde el vendedor emite la locución **L8: refuse_to_sell(.)** en la que se rechaza la propuesta.

²En realidad, en este caso, un vector de la forma (1,1,1) sería igualmente válido, porque representa una preferencia relativa por la relajación idéntica.

Tabla 4.5. Ejemplo de mapa de distribución para 3 restricciones y 10 productos

R_1	R_2	R_3	Número de productos
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	2
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	5
1	1	0	0
1	1	1	0

4.3.6. S6: Consider Withdrawal

El mecanismo identifica una necesidad de abandono de un diálogo de negociación. El mecanismo se activa en la transición **TR6** cuando el agente comprador informa del abandono del diálogo mediante la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**. La única tarea explícita de este mecanismo es emitir la locución **L11: withdraw_dialogue(.)**. En definitiva, el vendedor sólo considera el abandono del diálogo cuando el comprador decide abandonar.

4.4. Propiedades del marco de negociación

En esta sección se analizan las propiedades del marco de negociación creado a partir de la especificación de los mecanismos de decisión de los agentes comprador y vendedor.

En el capítulo 1 presentamos una lista con los criterios de evaluación de protocolos más relevantes [Sandholm, 1999a, Rosenschein y Zlotkin, 1994]. A continuación vamos a hacer un recorrido a través de dichos criterios con el objeto de evaluar nuestro marco de negociación.

4.4.1. Garantía de éxito

Este criterio establece que un protocolo garantiza el éxito si asegura el acuerdo entre los agentes. Sin embargo, tenemos que hacer ciertas matizaciones. En primer lugar, en nuestro ámbito, se entiende que este criterio hace referencia a que se garantiza el acuerdo entre los agentes si existe al menos un acuerdo Ω_i que domina a la solución $\Omega_{conflicto}$. Evidentemente, dos agentes no pueden llegar a un acuerdo si no existe intersección entre sus espacios de soluciones. En segundo y último lugar, tenemos que poner ciertas limitaciones a la dinamicidad del marco de negociación, de manera que asumimos que las intersecciones entre espacios de soluciones no varían en el tiempo, lo que equivale a decir que los modelos de preferencias (catálogo en el caso del vendedor) no varían. Esto no significa por supuesto que dichos espacios no puedan alterarse, sólo estamos haciendo referencia a las condiciones necesarias para validar la garantía de éxito.

Teorema 4.4.1. *Dos agentes, uno comprador y otro vendedor, que implementan el marco de negociación descrito en la sección 4.2 y en la sección 4.3 respectivamente, equipados con la funcionalidad descrita en los mecanismos de la sección 3.8, bajo el modelo de diálogo y las locuciones descritas en la sección 3.7, y bajo las reglas de la sección 3.9, tienen garantizado un acuerdo si y sólo si existe al menos un acuerdo Ω_i que domina a la solución $\Omega_{conflicto}$, y los modelos de preferencias no varían.*

DEMOSTRACIÓN. Si existe al menos un acuerdo Ω_i que domina a la solución $\Omega_{conflicto}$ significa que hay al menos un producto en el catálogo del vendedor que satisface el modelo preferencias del comprador, es decir, hay un producto p_j que satisface las preferencias del

comprador definidas por un FCSP a un determinado nivel de corte. La demostración se reduce a ver si en algún momento se alcanza dicho nivel de corte. Dado que el dominio de las variables del FCSP es finito, y que el número de restricciones también es finito, el número de niveles de corte es finito. De la Definición 3.5.4 del *grado de satisfacción global potencial de un requerimiento de compra*, sabemos que éste es función de dichos niveles de corte, luego el número de grados de satisfacción que se pueden dar es finito. Por otra parte la generación de requerimientos de compra definida en **B2** está basada en la metaestrategia de compensación y concesión, con lo que este mecanismo hace un barrido de mayor a menor grado de satisfacción global potencial. Esto significa que se alcanza el nivel de corte, y por lo tanto se emite en algún momento un requerimiento de compra que cubre el producto p_j . Si asumimos el comportamiento no estratégico del vendedor al respecto de la ocultación de productos que satisfacen requerimientos de compra, el teorema se cumple. \square

Una vez hecha esta demostración podemos derivar fácilmente, y bajo las mismas condiciones a excepción de la existencia de acuerdos, que el marco de negociación garantiza la finalización del diálogo de forma ordenada si no existe un acuerdo posible.

Teorema 4.4.2. *Dos agentes, uno comprador y otro vendedor, que implementan el marco de negociación descrito en la sección 4.2 y en la sección 4.3 respectivamente, equipados con la funcionalidad descrita en los mecanismos de la sección 3.8, bajo el modelo de diálogo y las locuciones descritas en la sección 3.7, y bajo las reglas de la sección 3.9, terminan de forma ordenada un diálogo si no hay acuerdo Ω_i que domina a la solución $\Omega_{\text{conflicto}}$, bajo el supuesto de que los modelos de preferencias no varían.*

DEMOSTRACIÓN. Efectivamente, cuando no hay solución posible, el comprador efectúa un barrido completo de grados de satisfacción global potencial al emitir requerimientos de compra. Al finalizar el barrido, el mecanismo **B2** de *generación de requerimientos de compra* ve imposible generar más requerimientos, con lo que se activa la regla de transición **TR5**, que invoca el mecanismo **B5** de *abandono de diálogo*. \square

4.4.2. Satisfacción global

Para emitir un juicio, por lo menos probabilístico, al respecto de la satisfacción global que se consigue con nuestro marco de negociación, es necesaria la realización y el análisis de experimentos (éstos se describen en el siguiente capítulo). Sin embargo, sí podemos afirmar que, conforme a nuestro marco de negociación, ambos agentes pueden simultáneamente ejercitar un deseo por satisfacer sus preferencias locales, y las preferencias del oponente. Intuitivamente, si ambos agentes tienen la capacidad de poder satisfacer las preferencias del oponente, la satisfacción global de los acuerdos que se pueden alcanzar puede incrementarse si dicho intento por satisfacer las preferencias del oponente no entra en conflicto con la satisfacción

de preferencias locales. Las herramientas clave de nuestro marco de negociación para poder satisfacer las preferencias del oponente, se condensan en los mecanismos de argumentación.

4.4.3. Racionalidad individual

Bajo la suposición de vendedores con aversión al riesgo, es decir, que desean vender un producto cualesquiera antes que no vender nada, podemos afirmar que bajo nuestro marco de negociación, los agentes que participan en un diálogo de negociación, nunca obtienen un beneficio menor que el beneficio que se obtendría sin participar en la negociación.

4.4.4. Distribución y comunicación eficiente

Nuestro marco de negociación cumple el criterio de distribución, que considera favorable que no se implique a una entidad central en la toma de decisiones. Efectivamente, todo diálogo de negociación es un proceso distribuido. En cuanto a la eficiencia de las comunicaciones, podemos afirmar, que debido al uso de restricciones en la composición de requerimientos de compra, la búsqueda de soluciones es mucho más eficiente. Como ya sabemos, mediante las restricciones se cubren regiones completas del espacio de soluciones en lugar de soluciones puntuales. Según nuestro modelo, la fase del diálogo con mayor carga es la de negociación. Como la negociación está fundamentada en los requerimientos de compra, y dichos requerimientos son función de los niveles de corte del FCSP, el número de mensajes será función de dicho número de cortes. Este es un hecho muy importante porque permite predecir el peor caso en cuanto al número de mensajes necesarios para finalizar un diálogo.

Ejemplo 4.4.3. *Sea un FCSP definido por 5 restricciones, con 10 niveles de corte por restricción, donde el operador \otimes para el cálculo del grado de satisfacción global potencial de un requerimiento de compra es el operador \min . El número máximo de requerimientos de compra que puede generar un comprador a partir de dicho FCSP es de 50. Esto significa que en el peor de los casos, tras 50 requerimientos de compra el diálogo finaliza.*

Es importante aclarar que en el cálculo del ejemplo el hecho de utilizar el operador \min reduce significativamente el número de mensajes. Además, este número no sólo depende del operador y del número de cortes, sino que depende además de la política de inclusión o de modificación de restricciones utilizada. Según nuestra función $fmrc$, sólo se modifica una restricción en cada proceso de relajación. En cambio, si la política fuese relajar todo lo posible las restricciones hasta el nivel de corte actual, el proceso sería todavía más rápido. En concreto, para el caso del ejemplo tendríamos que con 10 requerimientos se llegaría en el peor de los casos al final de la negociación. Sin embargo, en este último caso no estamos cumpliendo el principio de minimización de revelación de información privada. En general, si utilizamos operadores distintos a \max y \min (ver Definición 3.4.6) donde el grado de satisfacción global

potencial captura la información de todos los cortes aplicados a las restricciones, el número de mensajes puede aumentar exponencialmente, porque el número de requerimientos de compra posibles también aumenta exponencialmente, aunque aún así, dicho número es predecible. Para aclarar estos conceptos vamos a analizar un par de ejemplos en los que se utilizan diferentes operadores para el cálculo de la satisfacción global potencial, y diferentes políticas de revelación de información privada.

Ejemplo 4.4.4. *Sea un FCSP definido por 3 tres restricciones con 3 niveles de corte por restricción representados en la tabla 4.6. $R_1^{c(\sigma_1^1)}$ representa por ejemplo la restricción dura que se obtiene al aplicar un corte σ^1 a la restricción difusa R_1^f . Por simplicidad, σ^n es aplicable a todas las restricciones, de manera que el valor n representa el número de corte aplicable, siendo el primer corte el definido por $n = 1$. Así, $\sigma_x^1 = 1$ expresa que el primer nivel de corte aplicable a cualquier restricción reporta un grado de cumplimiento de dicha restricción igual a 1. En base al FCSP definido, el comprador utiliza el operador \min en el cálculo del grado de satisfacción global potencial de un requerimiento. Vamos a suponer que el comprador ha emitido tres requerimientos de compra que han encontrado respuesta en el vendedor mediante tres ofertas de venta que no han podido ser aceptadas (ver mecanismo **B2** en sección 4.2.2). Esto significa que el requerimiento de compra actual será $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, donde el grado de satisfacción global potencial es $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t} = \min(\sigma_1^1, \sigma_2^1, \sigma_3^1) = 1$. Al emitir $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, el comprador espera conseguir un producto que le reportaría un grado de satisfacción global 1. Desafortunadamente para el comprador, el vendedor no dispone de producto alguno que cumpla simultáneamente todas las restricciones, por lo que el comprador debe generar un nuevo requerimiento de compra, es decir, ejecutar el mecanismo **B2**. Este mecanismo decide en último lugar relajar una de las tres restricciones, posiblemente teniendo en cuenta argumentos del vendedor al respecto del rechazo previo. En cualquier caso son tres las nuevas propuestas posibles:*

$$(a) \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(b) \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(c) \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Cualquiera de ellas genera un grado de satisfacción global potencial $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} = 0,8$. Sin embargo, si en lugar de minimizar la revelación de información privada, aportando en cada generación de requerimiento de compra una sólo modificación (relajación), se tuviese como único criterio la metaestrategia de compensación y concesión, también serían posibles las siguientes propuestas:

$$(d) \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(e) \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Tabla 4.6. FCSP del Ejemplo 4.4.4

	R_1^f	R_2^f	R_3^f
$\sigma_x^1 = 1$	$R_1^{c(\sigma_1^1)}$	$R_2^{c(\sigma_2^1)}$	$R_1^{c(\sigma_3^1)}$
$\sigma_x^2 = 0,8$	$R_1^{c(\sigma_1^2)}$	$R_1^{c(\sigma_2^2)}$	$R_1^{c(\sigma_3^2)}$
$\sigma_x^3 = 0,5$	$R_1^{c(\sigma_1^3)}$	$R_1^{c(\sigma_2^3)}$	$R_1^{c(\sigma_3^3)}$

$$(f) \wedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

$$(g) \wedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Todas ellas generan también una satisfacción de 0.8. Así, si se opta por la opción (g), el barrido de soluciones sería mucho más rápido, y obviamente, el número de mensajes también (3 aproximadamente). En el otro extremo, se podría optar por la siguiente secuencia de requerimientos: (a), (b), (c), (d), (e), (f) y (g), donde restricciones que en un requerimiento se relajan pueden restringirse en el siguiente, siempre bajo la condición de que el espacio de soluciones representado por los requerimientos varíe. En este caso puede deducirse fácilmente que el número de requerimientos para el peor caso sería aproximadamente 27 (número de cortes R_1^f x número de cortes R_2^f x ...). En nuestra propuesta, una secuencia posible sería: (a), (d), (g), $\wedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$, $\wedge \{R_1^{c(\sigma_1^3)}, R_2^{c(\sigma_2^3)}, R_3^{c(\sigma_3^3)}\}$, y $\wedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$ (6 requerimientos + 3 requerimientos iniciales).

En el ejemplo anterior hemos visto como el número de mensajes es función del operador utilizado en el cálculo del grado de satisfacción global potencial, y por supuesto, de la estrategia de modificación de requerimientos de compra. Bajo las condiciones del ejemplo, es decir, cuando se utiliza el operador *min*, hemos visto que hay dos estrategias extremas, que cumpliendo en ambos casos el objetivo de minimización de pérdida de satisfacción global, representan una predisposición mayor o menor del comprador en cuanto a la revelación de información privada. Nuestra aproximación se encuentra entre ambas estrategias, basada en la modificación de una sólo restricción en cada generación de un requerimiento de compra (minimizamos la revelación de información).

En el ejemplo que viene a continuación vamos a analizar el supuesto de utilización de una T-norma en la que se compensan todos los niveles de corte de las restricciones.

Ejemplo 4.4.5. *Un comprador define sus preferencias mediante el FCSP de la tabla 4.6. Sin embargo, el operador utilizado en el cálculo del grado de satisfacción global potencial es el operador probabilidad \bullet (ver sección 3.4.2), que se define como $a \times b$. Este operador, a diferencia del operador *min*, captura la información de todos los valores de entrada. Vamos a suponer, como en el ejemplo anterior, que el comprador ha emitido tres requerimientos de compra que han encontrado respuesta en el vendedor mediante tres ofertas de venta que no han*

podido ser aceptadas (ver mecanismo **B2** en sección 4.2.2). Esto significa que el requerimiento de compra actual será $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, donde el grado de satisfacción global potencial es $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t} = \bullet(\sigma_1^1, \sigma_2^1, \sigma_3^1) = 1$. Si el vendedor no dispone de una oferta de venta adecuada, solicita la relajación del requerimiento. Para generar el nuevo requerimiento $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, se aplican las estrategias de compensación y concesión en este orden. Así, las propuestas posibles son:

$$(a) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(b) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(c) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Cualquiera de ellas genera un grado de satisfacción global potencial $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} = 0,8$. La pregunta que nos podemos hacer ahora es, ¿es posible generar también las propuestas (d...g) del ejemplo anterior? La respuesta es que no, porque (d), (e), y (f) generan una satisfacción $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} = 0,64$, y (g) una satisfacción $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} = 0,512$. Esto significa que obligatoriamente, la secuencia de requerimientos es una combinación cualesquiera de (a), (b) y (c). Una vez emitidos estos requerimientos, el siguiente grado de satisfacción que cumple el requisito de minimización de pérdida de satisfacción es $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+4}} = 0,64$, para los requerimientos (d), (e), y (f). Obviamente, (g) es obligatoriamente el siguiente requerimiento. Llegados a este punto el siguiente corte sería el generado por requerimientos donde una de las restricciones se relaja hasta $n = 3$, y las restantes a nivel $n = 1$, es decir, $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+8}} = 0,5$. Siguiendo con este proceso, llegaríamos al final (si no se encuentra un producto) con un requerimiento $\bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^3)}, R_2^{c(\sigma_2^3)}, R_3^{c(\sigma_3^3)}\}$, y una satisfacción global potencial $\bullet(\sigma_1^3, \sigma_2^3, \sigma_3^3) = 0,125$.

Podemos comprobar como la elección de un operador que captura todos los valores de satisfacción, hace que la generación de requerimientos sea independiente de la predisposición a la revelación de información privada (asumiendo que se cumple el criterio de minimización de pérdida de satisfacción potencial). Sin embargo, el número de requerimientos máximo, aunque predecible, puede hacerse enorme. Pensemos por ejemplo en un FCSP de 10 restricciones y 10 niveles de corte por restricción. El número de posibles requerimientos de compra es de 10^{10} , es decir, 10.000 millones de requerimientos, lo que es ¡realmente intratable! Aunque una posibilidad de reducción consistiría en aplicar una estrategia de concesión general.

Una vez analizado el problema de la generación de requerimientos y por tanto de la eficiencia en la comunicación, siendo ésta función del operador de satisfacción, de la predisposición a la revelación de información privada, y del modelo de preferencias, podemos generalizar el método para predecir el número de mensajes emitidos por el comprador para el peor caso.

Afirmación 4.4.6. Se puede afirmar que el número máximo de requerimientos, es igual a la suma de productos de los diferentes grados de satisfacción potencial por el número de requerimientos diferentes que se pueden generar para cada uno de estos grados de satisfacción.

4.4.5. Simetría

El criterio de simetría establece que un mecanismo no debe desviarse a favor o en contra de algún agente en cuanto a criterios inapropiados. En este sentido, nuestro modelo equilibra la asimetría que en esencia presentan los escenarios de comercio electrónico B2C basados en catálogos, mediante la argumentación basada en preferencias. Sin embargo, al igual que con el criterio de *satisfacción global*, para emitir un juicio, es necesaria la realización y el análisis de experimentos que corroboren nuestra hipótesis.

4.4.6. Simplicidad

La simplicidad hace referencia a la obviedad del uso de una determinada estrategia. Creemos que las estrategias generales definidas cumplen con este requisito. Los ejes centrales de comportamiento del agente comprador giran en torno a la minimización de revelación de información privada y la minimización de la pérdida de satisfacción global al emitir requerimientos. El agente vendedor por su parte intenta satisfacer los requerimientos de compra con aquellos productos que considera más beneficiosos para él. Podemos ver que las estrategias generales y objetivos están claros. Sin embargo, nos falta todavía contrastar el resultado de la aplicación de estrategias particulares. Por ejemplo, ¿qué pasa si el comprador no es expresivo y el vendedor sí?, etc... Volvemos a remitir al lector al capítulo siguiente para poder responder a estas preguntas.

4.4.7. Estabilidad

Cuando el escenario de negociación permite la coexistencia de múltiples negociadores, compradores y vendedores, y el desarrollo de múltiples negociaciones bilaterales en paralelo sobre la misma categoría de productos, donde las negociaciones no son visibles externamente, y no hay coaliciones, podemos afirmar lo siguiente. El agente vendedor no tiene un incentivo al actuar estratégicamente, ocultando productos al comprador con el objeto de conseguir una venta mejor con el mismo comprador, porque para el vendedor cualquier venta es mejor que la solución conflicto, y al ocultar productos corre el riesgo de que la venta la haga otro vendedor. Por otra parte el comprador actúa emitiendo requerimientos desde niveles de satisfacción máximos, minimizando la pérdida de satisfacción en cada nuevo requerimiento. Salvo una urgencia explícita por alcanzar un acuerdo, minimizar la pérdida de satisfacción en cada requerimiento es lo mejor que puede hacer el comprador independientemente de la estrategia que siga el vendedor. Si además suponemos un escenario de mercado en el que es más probable

la salida de productos de los catálogos que la entrada, el comprador intentará alcanzar una solución lo antes posible, antes de que productos potencialmente buenos desaparezcan. Esto significa que bajo las condiciones generales enunciadas al principio, las estrategias generales son dominantes, y podemos afirmar de forma general que ambos agentes intentarán llegar a un acuerdo lo antes posible. Sin embargo, en este momento todavía no podemos afirmar que la utilización de argumentos represente una ventaja para los agentes, siendo imprescindible recurrir al análisis experimental basado en el contraste de estrategias que se presenta en el capítulo 5.

4.4.8. Flexibilidad

La flexibilidad determina la capacidad de los mecanismos para permitir que los agentes puedan refinar su toma de decisiones, a la luz de nueva información que se pueda incorporar. En nuestro modelo la argumentación basada en preferencias permite reconducir los procesos de negociación en condiciones de entorno dinámicas.

4.4.9. Pareto eficiencia

Para analizar la pareto-eficiencia en nuestro marco de negociación, es necesario realizar un análisis similar al que hemos hecho en el caso de la eficiencia en la comunicación. El análisis además tiene sentido en condiciones de no variabilidad del modelo de preferencias del comprador y del catálogo del comprador.

Para comenzar con el análisis nos vamos a centrar en la estrategia de generación de requerimientos de compra (ver mecanismo **B2** en sección 4.2.2). Como ya sabemos, el mecanismo establece como criterio fundamental la minimización de pérdida de satisfacción global, y la minimización de revelación de información privada. Del análisis detallado que se presenta en la sección 4.4.4 acerca de la eficiencia en la comunicación, concluimos que los sucesivos requerimientos de compra eran función del modelo de preferencias, del operador utilizado en el cálculo del grado de satisfacción global potencial, y de la predisposición a la revelación de información privada. Analicemos mediante dos ejemplos, uno que utiliza el operador *min* y otro que utiliza el operador de probabilidad \bullet , como se ve afectada la *pareto-eficiencia* en diferentes casos.

Ejemplo 4.4.7. *Sea el FCSP definido por tres restricciones con tres niveles de corte por restricción representados en la tabla 4.6. En base al FCSP definido, el comprador utiliza el operador *min* en el cálculo del grado de satisfacción global potencial de un requerimiento. Vamos a suponer que el comprador ha emitido tres requerimientos de compra que han encontrado respuesta en el vendedor mediante tres ofertas de venta que no han podido ser aceptadas (ver mecanismo **B2** en sección 4.2.2). Esto significa que el requerimiento de compra*

actual será $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, donde el grado de satisfacción global potencial es $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t} = \min(\sigma_1^1, \sigma_2^1, \sigma_3^1) = 1$. Al emitir $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t$, el comprador espera conseguir un producto que le reportaría un grado de satisfacción global 1. Desafortunadamente para el comprador, el vendedor no dispone de producto alguno que cumpla simultáneamente todas las restricciones, por lo que el comprador debe generar un nuevo requerimiento de compra, es decir, ejecutar el mecanismo **B2**. Este mecanismo decide en último lugar relajar una de las tres restricciones, posiblemente teniendo en cuenta argumentos del vendedor al respecto del rechazo previo. En cualquier caso son tres las nuevas propuestas posibles:

$$(a) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(b) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(c) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Cualquiera de ellas genera un grado de satisfacción global potencial $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}} = 0,8$. Supongamos ahora que en el catálogo del vendedor hay un sólo producto p_a que satisface (a), un sólo producto p_b que satisface (b), y un sólo producto p_c que satisface (c), de manera que las utilidades asociadas a dichas ofertas de venta son: $u_a = 1$, $u_b = 0,5$ y $u_c = 0,3$. Según este caso, la emisión de (a), (b) o (c) permite que se llegue a un acuerdo, sin embargo, la mejor alternativa sería (a), la segunda mejor alternativa sería (b), y la peor de todas sería (c). Teniendo en cuenta que no hay motivo por el cual el comprador no pueda emitir (b) o (c) conforme al mecanismo definido en nuestra propuesta, no podemos garantizar la pareto-eficiencia. Veamos que si el comprador emite (c), se alcanza la solución p_c , de manera que la utilidad conjunta es $0,8 + 0,3$. Podemos afirmar que existen otras dos soluciones p_a y p_b que hacen mejorar al vendedor sin hacer empeorar al comprador, luego queda demostrado que no es posible garantizar la pareto-eficiencia.

Si en lugar de minimizar la revelación de información privada, aportando en cada generación de requerimiento de compra una sólo modificación (relajación), se tuviese como único criterio la metaestrategia de compensación y concesión, también serían posibles las siguientes propuestas:

$$(d) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

$$(e) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

$$(f) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

$$(g) \bigwedge \{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$$

Todas ellas generan también una satisfacción de 0.8. Mediante un análisis similar al caso anterior podemos ver claramente que los requerimientos (d), (e), y (g) llegan a una solución

pareto-óptima. Sin embargo, los requerimientos (d) y (e) alcanzan dicha solución de forma aleatoria, es decir, no existe forma de que a priori el agente comprador sepa que está favoreciendo o garantizando un acuerdo pareto-óptimo. La conclusión es que solamente la emisión de (g) garantiza que la solución alcanzada sea pareto-óptima. Es decir, sólo cuando se cubre el espacio completo de soluciones que le reportan al comprador la misma satisfacción potencial estamos en disposición de garantizar la pareto-eficiencia. El problema es que esto choca con el principio de minimización de revelación de información.

En el ejemplo que viene a continuación vamos a analizar el supuesto de utilización de una T-norma en la que se compensan todos los niveles de corte de las restricciones.

Ejemplo 4.4.8. Un comprador define sus preferencias mediante el FCSP de la tabla 4.6. Sin embargo, el operador utilizado en el cálculo del grado de satisfacción global potencial es el operador probabilidad \bullet , que se define como $a \times b$. Este operador, a diferencia del operador \min , captura la información de todos los valores de entrada. Vamos a suponer, como en el ejemplo anterior, que el comprador ha emitido tres requerimientos de compra que han encontrado respuesta en el vendedor mediante tres ofertas de venta que no han podido ser aceptadas (ver mecanismo **B2** en sección 4.2.2). Esto significa que el requerimiento de compra actual será $\lambda_{\text{Breq}}^t = \wedge\{R_1^{c(\sigma_1^t)}, R_2^{c(\sigma_2^t)}, R_3^{c(\sigma_3^t)}\}$, donde el grado de satisfacción global potencial es $\alpha^{\lambda_{\text{Breq}}^t} = \bullet(\sigma_1^t, \sigma_2^t, \sigma_3^t) = 1$. Si el vendedor no dispone de una oferta de venta adecuada, solicita la relajación del requerimiento. Para generar el nuevo requerimiento $\lambda_{\text{Breq}}^{t+1}$, se aplican las estrategias de compensación y concesión en este orden. Así, las propuestas posibles son:

$$(a) \wedge\{R_1^{c(\sigma_1^t)}, R_2^{c(\sigma_2^t)}, R_3^{c(\sigma_3^t)}\}$$

$$(b) \wedge\{R_1^{c(\sigma_1^t)}, R_2^{c(\sigma_2^t)}, R_3^{c(\sigma_3^t)}\}$$

$$(c) \wedge\{R_1^{c(\sigma_1^t)}, R_2^{c(\sigma_2^t)}, R_3^{c(\sigma_3^t)}\}$$

Cualquiera de ellas genera un grado de satisfacción global potencial $\alpha^{\lambda_{\text{Breq}}^{t+1}} = 0,8$. Supongamos ahora que en el catálogo del vendedor hay un sólo producto p_a que satisface (a), un sólo producto p_b que satisface (b), y un sólo producto p_c que satisface (c), de manera que las utilidades asociadas a dichas ofertas de venta son: $u_a = 1$, $u_b = 0,5$ y $u_c = 0,3$. Según este caso, la emisión de (a), (b) o (c) permite que se llegue a un acuerdo, sin embargo, la mejor alternativa sería (a), la segunda mejor alternativa sería (b), y la peor de todas sería (c). Teniendo en cuenta que no hay motivo por el cual el comprador no pueda emitir (b) o (c) conforme al mecanismo definido en nuestra propuesta, no podemos garantizar la pareto-eficiencia. Veamos que si el comprador emite (c), se alcanza la solución p_c , de manera que la utilidad conjunta es $0,8 + 0,3$. Podemos afirmar que existen otras dos soluciones p_a y p_b que hacen mejorar al vendedor sin hacer empeorar al comprador, luego queda demostrado que no es posible garantizar la pareto-eficiencia.

Como ya vimos en el ejemplo 4.4.5, en este caso no es posible generar (d), (e), (f), o (g). Esto significa que obligatoriamente, la secuencia de requerimientos es una combinación cualesquiera de (a), (b) y (c).

Tenemos que concluir que en el caso de utilización de una T-norma con compensación, donde se intenta minimizar la revelación de información privada, no es posible garantizar soluciones pareto-óptimas. Sin embargo, si componemos un requerimiento:

$$\left(\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}\right) \vee \left(\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}\right) \vee \left(\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}\right)$$

se consigue barrer todo el espacio a costa de revelar información privada, pero garantizamos soluciones pareto-óptimas.

Teorema 4.4.9. *En condiciones de no variabilidad del modelo de preferencias de un comprador y del catálogo de productos de un vendedor, bajo el supuesto de comportamiento no estratégico del vendedor al respecto de la ocultación de ofertas de venta, podemos garantizar que: los acuerdos o soluciones alcanzadas son pareto-óptimas, siempre que la estrategia de emisión de requerimientos de compra, se base en la composición de requerimientos que cubran por completo el conjunto de soluciones con un grado de satisfacción global potencial determinado, y dichos requerimientos se generen en base al principio de minimización de la pérdida de satisfacción global.*

DEMOSTRACIÓN. Como hemos visto en los dos ejemplos anteriores, independientemente del operador utilizado para el cálculo del grado de satisfacción global potencial, si cada requerimiento de compra cubre por completo el conjunto de soluciones que le reportan al comprador una determinada utilidad, el vendedor ofertará el producto que le reporte mayor utilidad (si existe alguno), de tal manera que podemos garantizar que no existe otro producto de mayor utilidad para el vendedor que le reporte mayor o igual utilidad al comprador, porque cualquier otro producto de utilidad mayor para el vendedor no satisface el requerimiento de compra actual, y sí posiblemente un requerimiento de satisfacción menor para el comprador. \square

En definitiva, para garantizar soluciones pareto-óptimas se debe violar el principio de mínima revelación de información. Según nuestra propuesta, no es posible garantizar soluciones pareto-óptimas porque la emisión de requerimientos de compra no cubre el espacio completo de soluciones con un determinado grado de satisfacción global. Entonces la pregunta es, ¿cómo podemos mantener el principio de minimización de revelación de información privada, y conseguir soluciones pareto-óptimas? La respuesta es que esta conjunción no se puede conseguir estrictamente, pero lo que sí podemos hacer es incrementar la probabilidad de conseguir soluciones pareto-óptimas. La técnica para poder incrementar esta probabilidad ya la conocemos, es la argumentación mediante preferencias. Veamos por último un par de ejemplos que ilustran la ventaja de nuestra aproximación.

Ejemplo 4.4.10. *Bajo el mismo modelo de preferencias y el catálogo de productos de los dos ejemplos anteriores, un agente comprador se encuentra inmerso en el proceso de generación de un requerimiento de compra. Son tres las propuestas posibles:*

- (a) $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$
- (b) $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$
- (c) $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_{31}^{c(\sigma_3^2)}\}$

Sin embargo, si el vendedor ha argumentado el rechazo del requerimiento anterior:

$$\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$$

el comprador recibirá un requerimiento de relajación $\rho_{\mathcal{B}_{req}} = (1, 0, 0)$, que indica una preferencia del vendedor por que el comprador relaje R_1^f . Es obvia esta preferencia, dado que el producto p_a es bastante parecido al requerimiento inicial, y únicamente no satisface la primera restricción. Con esta información, el comprador tiene un criterio más a la hora de decidir cuál de los tres requerimientos (a), (b), o (c) emite. En este caso, el comprador emite (a), por lo que la solución es pareto-óptima.

Ejemplo 4.4.11. *Bajo el mismo modelo de preferencias de los ejemplos anteriores, y un catálogo de tres productos tal que: p_a satisface $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^3)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, p_b satisface $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, y p_c satisface $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, un agente comprador se encuentra inmerso en el proceso de generación de un requerimiento de compra $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1}$, tras el rechazo por parte del vendedor del requerimiento $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$. Las utilidades de los tres productos son $u_a = 0,7$, $u_b = 0,6$ y $u_c = 0,3$. Si el vendedor utiliza requerimientos de relajación, y tiene como criterios para la generación de dichos requerimientos únicamente la utilidad de la oferta de venta u_x , y la similaridad de los productos (ver mecanismo **S3: Generate Potential Sale-Offers**), la función *prefer* obtendrá los siguientes valores de preferencia para cada uno de los tres productos del catálogo:³*

$$\begin{aligned} \text{prefer}(s_a) &= 0,2 * 0,7 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}(((1/3)^2 + 0 + 0)/3)) = 0,786 \\ \text{prefer}(s_b) &= 0,2 * 0,6 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}((0 + 0 + (1/3)^2)/3)) = 0,766 \\ \text{prefer}(s_c) &= 0,2 * 0,3 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}((0 + (1/3)^2 + 0)/3)) = 0,706 \end{aligned}$$

*Esto significa que el principal candidato como oferta de venta es p_a . Así, el mecanismo **S4: Generate Relax Requirement** genera un requerimiento $\rho_{\mathcal{B}_{req}} = (1, 0, 0)$, con el objeto de*

³Asumimos un valor $\beta = 0,2$, un grado de certidumbre $\gamma_x = 1$, y una velocidad de relajación estimada constante $\tau_x = 1$. Además, cada restricción se aplica sobre un sólo atributo, donde los valores de reserva estimados coinciden con los valores de reserva reales.

que el comprador relaje prioritariamente la restricción R_1^f que no satisface p_a . El comprador, al recibir la propuesta, ve imposible relajar R_1^f porque hay dos requerimientos alternativos que le reportan menor pérdida de satisfacción global potencial: $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$ y $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$. El comprador elige aleatoriamente uno de ellos, por ejemplo, $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1} = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, con lo que el vendedor responderá con la oferta de venta p_c que tiene una utilidad 0,3. En definitiva, el vendedor ha perdido el tiempo proponiendo una relajación que no era posible para el comprador, y la solución alcanzada no es pareto-óptima.

Imaginemos ahora que la emisión de $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$ es argumentada mediante una valoración de requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}} = (0,55, 0,22, 0,22)$ (ver mecanismo **B3: Generate Purchase Requirement Valuation**). Si el vendedor es receptivo, la función prefer obtendrá los siguientes valores de preferencia para cada uno de los tres productos del catálogo:

$$prefer(s_a) = 0,2 * 0,7 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}(((1/3 * 0,55)^2 + 0 + 0)/3)) = 0,855$$

$$prefer(s_b) = 0,2 * 0,6 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}((0 + 0 + (1/3 * 0,22)^2)/3)) = 0,886$$

$$prefer(s_c) = 0,2 * 0,3 + (1 - 0,2) * (1 - \text{sqrt}((0 + (1/3 * 0,22)^2 + 0)/3)) = 0,826$$

En este caso el producto seleccionado es p_b , con lo que el requerimiento de relajación generado es $\rho_{\mathcal{B}_{req}} = (0, 0, 1)$. El comprador, al recibir la propuesta, tiene como requerimientos que le reportan la menor pérdida de satisfacción global potencial: $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$ y $\bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^1)}, R_2^{c(\sigma_2^2)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$. Como el requerimiento actual es $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^t = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^1)}\}$, y el requerimiento de relajación da prioridad a R_3^f , el comprador no tiene inconveniente en generar $\lambda_{\mathcal{B}_{req}}^{t+1} = \bigwedge\{R_1^{c(\sigma_1^2)}, R_2^{c(\sigma_2^1)}, R_3^{c(\sigma_3^2)}\}$. En este caso el comprador dispone del producto p_b que tiene utilidad $u_b = 0,6$. Para este escenario, la solución sería pareto-óptima.

Hemos visto en los dos últimos ejemplos cómo mediante la valoración de requerimientos de compra, el vendedor puede refinar la búsqueda de productos candidatos como ofertas de venta.

4.5. Discusión y consideraciones finales

La principal contribución de este capítulo ha sido la de presentar una instancia del modelo general de negociación automática bilateral definido en el capítulo 3. Esta instanciación nos ha llevado a una especificación completa y detallada del modelo de negociación. La especificación de este marco de negociación ha consistido en la definición de los mecanismos de decisión del comprador y del vendedor, de manera que se han descrito algoritmos concretos que implementan los marcos estratégicos del modelo general.

Una vez construido el marco de negociación, se han analizado sus propiedades. Hemos probado como en base a nuestro marco de negociación los agentes llegan a un acuerdo si éste existe, y además, en el caso de que no exista acuerdo posible, el diálogo finaliza. Los mecanismos de argumentación implementados permiten que no solo prevalezcan los criterios de satisfacción local, sino que se tenga en cuenta también el criterio de satisfacción global. Hemos demostrado también cómo la eficiencia en la comunicación puede controlarse porque es predecible, y hemos hecho un análisis detallado mediante ejemplos de cómo influyen los diferentes operadores utilizados en el cálculo de la satisfacción global del comprador en dicha eficiencia. La pareto-eficiencia es una propiedad muy importante como medida de calidad de un protocolo. En este sentido tras un análisis mediante ejemplos, se ha llegado a la conclusión de que el principio de revelación de información privada entra en conflicto con la pareto-optimalidad de las soluciones. Como estrategia de compromiso, nuestra propuesta tiene como objetivo incrementar la probabilidad de consecución de soluciones pareto-óptimas, sin renunciar a la minimización de revelación de información privada. Esta propuesta está basada en la utilización de valoración de requerimientos de compra y de requerimientos de relajación, es decir, en la utilización de argumentación basada en preferencias.

Aunque los principios de estabilidad, simplicidad, simetría y flexibilidad creemos se satisfacen en gran medida, queda pendiente una justificación experimental. Esta justificación se va a abordar en el siguiente capítulo, mediante el contraste de diferentes estrategias expresivas.

Capítulo 5

Análisis experimental de estrategias

En este capítulo se presenta el análisis experimental del marco de negociación desarrollado en los capítulos 3 y 4.

5.1. Introducción

En los capítulos 3 y 4 hemos presentado un marco para la negociación bilateral automática basada en restricciones difusas. Aunque hemos constatado que el modelo presenta propiedades importantes, no hemos demostrado todavía nuestra hipótesis inicial, según la cual, las actitudes expresivas de los participantes en una negociación mejoran la calidad de los acuerdos. Nuestro modelo de negociación nos permite probar diferentes estrategias expresivas como una función de las diferentes actitudes de los participantes. Así, vamos a poder contrastar experimentalmente cuáles son las estrategias más adecuadas bajo diferentes circunstancias. El modelo permite que ambos agentes actúen de forma similar a como lo hacen en trabajos previos [Luo *et al.*, 2003b, Barbuceanu y Lo, 2000], de manera que vamos a poder contrastar también nuestro trabajo con aquellos.

Para poder realizar este análisis experimental, hemos desarrollado una plataforma de negociación que permite implementar el marco de negociación propuesto. Esta plataforma tiene un nombre, Automated NEGotiation SYStem (Anegsys), implementada sobre Matlab [Mathworks, 2006] y la plataforma Java Agent DEvelopment framework (Jade) [Jade, 2006]. Anegsys no se ha concebido sin embargo como una plataforma de negociación que se pueda explotar comercialmente. Aunque los agentes, los diálogos y las negociaciones son 'reales', es decir, Anegsys no es un simulador, la utilización de Matlab hace que sobre todo en ámbitos con escasez de recursos computacionales la plataforma en su conjunto no sea eficiente. Así, la decisión de utilizar Matlab ha estado condicionada por el objetivo de construcción de la plataforma, que es la de poder realizar, configurar y analizar experimentos de forma eficiente. A grandes rasgos Jade soporta la implementación del modelo de diálogo, mientras que las reglas de transición y los mecanismos de decisión se implementan en Matlab. Es decir, hemos derivado todas las necesidades de cálculo a Matlab, mientras que las tareas de gestión y comunicación de los agentes se implementan en Jade. Jade es sin duda ninguna la plataforma de agentes más utilizada en el ámbito académico. Su funcionalidad es doble, pues por un lado se erige como plataforma de agentes, y por otra permite la construcción de agentes mediante un

conjunto de librerías de clases. El lenguaje de programación utilizado para la programación de agentes, y el utilizado en la propia implementación de la plataforma es Java [Sun, 2006]. Matlab es sin duda ninguna una de las herramientas de cálculo más extendida y utilizada. Es a grandes rasgos un lenguaje de alto nivel que mediante un entorno interactivo permite realizar tareas de cálculo intensivas con mucha mayor rapidez y eficiencia que utilizando lenguajes como C, C++, Fortran o Java. La potencia del lenguaje Matlab, su versatilidad, y las herramientas prefabricadas con que cuenta el entorno de trabajo, permiten cubrir prácticamente cualquier necesidad de cálculo en cualquier área de la ingeniería, y cualquier necesidad de análisis y presentación de resultados. Sin duda ninguna podemos afirmar, que la utilización conjunta de ambas tecnologías ha sido un verdadero acierto. Para un conocimiento más detallado de la plataforma de agentes Jade, o de la plataforma Matlab, remitimos al lector a las páginas web referenciadas antes. No obstante, en el apéndice A describimos los aspectos más importantes de nuestra plataforma de negociación Anegsys.

El capítulo está organizado de la siguiente manera: en la siguiente sección se extraen los parámetros de experimentación más relevantes, que nos van a permitir definir las diferentes estrategias que pueden desarrollar los compradores y vendedores; a continuación, y a partir de los parámetros de experimentación, se definen las diferentes estrategias como una función de los valores que pueden tomar dichos parámetros, y se analizan de forma individual y conjunta; en la sección 5.4 se definen las preferencias del comprador mediante un FCSP, se describe una estructura genérica de catálogo, y se especifican los valores de reserva que utilizará el vendedor; en las siguientes tres secciones se describen y analizan los experimentos realizados, y se analiza la robustez de la propuesta de instancia en función de los resultados; el capítulo concluye con un resumen y unas consideraciones finales.

5.2. Extracción de parámetros de experimentación

En esta sección se seleccionan los parámetros variables que permiten configurar un experimento. Un experimento se define en principio como un diálogo negociador entre un agente comprador y uno vendedor. Así, el escenario que planteamos es uno en el que dos agentes, uno comprador y otro vendedor, negocian de forma automática la compraventa de productos. Se asume un entorno estático en el que los modelos de preferencia y los perfiles de negociación no cambian en un diálogo de negociación. Ambos agentes implementan la propuesta de instancia del modelo de negociación que se presenta en el capítulo 4. Según esto, todos los mecanismos de decisión, el modelo de diálogo, y las reglas de transición están perfectamente establecidas. Sólo cabe por tanto la especificación de los modelos de requerimientos de los dos agentes, es decir, la especificación de los conocimientos del dominio.

Recordemos que el *modelo de requerimientos de un comprador* es definido como $\mathcal{B}_{req} = ((X, D, C^f), N_b)$, donde (X, D, C^f) es un FCSP que describe el *modelo de preferencias* sobre los atributos de productos; y $N_b = \{\xi, \eta\}$ es el *perfil negociador del comprador*, donde $\xi \in \{0, 1\}$ representa el *perfil expresivo* del agente, y $\eta \in [0, 1]$ representa el *perfil receptivo*. El *perfil expresivo* discrimina entre la utilización o no de *valoraciones de requerimientos de compra* $v_{\mathcal{B}_{req}}$, mientras el *perfil receptivo* modula la importancia que van a tener los *requerimientos de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$ procedentes del vendedor (si el vendedor es expresivo). Por último, es necesario definir cuál va a ser el operador utilizado en el cálculo del grado de satisfacción global $\alpha^{\lambda_{\mathcal{B}_{req}}} = \otimes\{\sigma_i | i = 1, \dots, m\}$.

Recordemos también que el *modelo de requerimientos de un vendedor* se define como $\mathcal{S}_{req} = (S, N_s)$, donde S representa el *catálogo de productos* del vendedor, y N_s define el *perfil negociador del vendedor*. El catálogo de productos se especifica de la siguiente manera: $S = \{s_j | s_j = (p_j, u_j), p_j = (a_{j1}, \dots, a_{jn}), 0 \leq j \leq k\}$, donde s_j representa una *entrada en el catálogo* de productos, p_j es un *vector de atributos* del producto, y u_j asigna un valor de *utilidad* a la venta de un producto p_j . El *perfil negociador del comprador* es definido por la tupla: $N_s = \{\psi, \beta, \Delta^t\}$. El *perfil expresivo* del agente $\psi \in \{0, 1\}$ discrimina entre la utilización o no de *requerimientos de relajación* $\rho_{\mathcal{B}_{req}}$, y $\beta \in [0, 1]$ que representa el *perfil receptivo*, pondera la importancia de la *utilidad* y la *viabilidad* a la hora de seleccionar productos candidatos como ofertas de venta, con el objetivo final de componer los *requerimientos de relajación*. Δ^t representa el conjunto de creencias del agente vendedor. Este conjunto se define como $\Delta^t = \{(a_i^{res}, \tau_i^t), \gamma_i^t, i = 1, \dots, m\}$, donde a_i^{res} define el *valor de reserva estimado* para el atributo a_i , τ_i la *pendiente de relajación estimada*, y γ_i el *grado de certidumbre* de dichas estimaciones.

Un experimento o un diálogo vendrá definido por la asignación de valores concretos a todos los parámetros que acabamos de describir, y la ejecución del diálogo conforme a las reglas y mecanismos de nuestra propuesta de modelo de negociación e instancia. En la tabla 5.1 se presentan los parámetros configurables en el comprador. La columna de valores describe qué valores puede tomar el parámetro en los diferentes experimentos que vamos a generar, mientras la última columna describe el rango completo teórico. En rangos continuos como el que define η hemos limitado el número de valores. De la misma forma la tabla 5.2 enumera los parámetros configurables en el vendedor. En ambas tablas se omiten, el *modelo de preferencias* del comprador, el *catálogo de productos* del vendedor y los *valores de reserva* estimados, que requieren un tratamiento aparte.

Es evidente que conforme al número de parámetros existentes y su dominio, el número de posibles experimentos es infinito.

En el caso del comprador, por definición, sólo son posibles dos *perfiles expresivos* que vamos a denominar como: *expresivo* $\xi = 1$, *no expresivo* $\xi = 0$. Un comprador *expresivo* hace uso de valoraciones de compra, y uno *no expresivo* no. El *perfil receptivo* viene determinado por η , que tiene un dominio continuo. Sin embargo, debido a nuestra propuesta de instancia para la función *fmrc* (ver 4.2.2), la función

$$\arg \frac{\text{máx}}{\alpha_{max}^{t+1}, \rho_{max}^t} (\alpha^{\lambda_{Breq}^{(t+1)k_x}} + r_{k_x} * \eta)$$

fmrc se convierte en

$$\arg \frac{\text{máx}}{\alpha_{max}^{t+1}, \rho_{max}^t} cte + r_{k_x} * \eta$$

donde la selección del requerimiento de compra que se tiene que relajar está determinado únicamente por r_{k_x} . Recordemos que $\alpha^{\lambda_{Breq}^{(t+1)x}} = cte$ porque el vector de restricciones relajables está formado por restricciones que reportan el mismo grado de satisfacción potencial.¹ Así, es indiferente el valor que tenga η , salvo que valga 0. En conclusión, sólo son posibles dos *perfiles receptivos* que vamos a denominar: *no receptivo* $\eta = 0$, *receptivo* $\eta = 1$. Por último, hemos definido el operador de cálculo de satisfacción global potencial como $\otimes = \min$. La elección de este operador se debe a que siendo indiferente la T-norma que se utilice en los experimentos a efectos de analizar actitudes en las negociaciones, la composición de requerimientos de compra es más sencilla por el hecho de que las restricciones de nuevos requerimientos, o se mantienen, o se relajan. En T-normas diferentes a *min*, la composición puede implicar elevar el nivel de corte de algunas restricciones.

¹Si la estrategia de concesión fuese general, $\alpha^{\lambda_{Breq}^{(t+1)k_x}}$ no sería una constante porque el vector de restricciones relajables estaría formado por restricciones con diferentes grados de satisfacción potencial.

Tabla 5.1. Perfil de Negociación del comprador

Parámetros	Valores	Perfil	Información	Rango completo
ξ	{0,1}	<i>expresivo</i>	v_{Breq}	{0,1}
η	{0,1}	<i>receptivo</i>	ρ_{Breq}	[0,1]
\otimes	<i>min</i>			operador

Tabla 5.2. Perfil de Negociación del vendedor

Parámetros	Valores	Perfil	Información	Rango completo
ψ	{0,1}	<i>expresivo</i>	ρ_{Breq}	{0,1}
β	{0,0.5,1}	<i>receptivo</i>	v_{Breq}, λ_{Breq}	[0,1]
τ_x	1			(0, ∞)
γ_x	1			[0,1]

Por otra parte, el vendedor define también sólo dos *perfiles expresivos* que vamos a nombrar como: *expresivo* $\psi = 1$, *no expresivo* $\psi = 0$. Un vendedor *expresivo* hace uso de *requerimientos de relajación*, mientras un vendedor *no expresivo* no. El *perfil receptivo* determinado por β tiene un dominio continuo, que influye en la ponderación que se hace de la utilidad u_j y de la estimación de viabilidad *viability*. Para limitar el número de niveles de receptividad, definimos inicialmente tres valores, 0, 0.5 y 1 (el valor 0 indica receptividad nula, el 0.5 intermedia, y el 1 máxima). Por último los valores τ_x y γ_x se fijan a 1. Teniendo en cuenta que estos dos valores influyen básicamente en la estimación de distancia, al igual que los valores de reserva estimados a_i^{res} , no tiene sentido jugar con la variación de los tres parámetros simultáneamente.

Según las limitaciones y asignaciones hechas, el comprador puede actuar de 4 maneras diferentes, y el vendedor de 6, es decir, un total de 24 experimentos diferentes. Sin embargo, ¿son posibles todas las combinaciones de actitudes y sus consecuentes estrategias? Para responder a esta cuestión, es imprescindible llevar a cabo un análisis de validez de estrategias. Éste se presenta en la siguiente sección.

5.3. Análisis de validez de estrategias

En esta sección se analiza en primer lugar la validez de estrategias a nivel de agente, y a continuación se analiza la validez de la combinación de dichas estrategias.

5.3.1. Análisis de validez de estrategias individuales

Pensemos en primer lugar a nivel de agente, y comencemos por el **comprador**.²

(BAer) expresivo vs receptivo

Un comprador expresivo emite valoraciones de requerimientos de compra, y simultáneamente puede valorar requerimientos de relajación. Esto significa que la combinación es factible.

(BAenr) expresivo vs no receptivo

El comprador emite valoraciones de requerimientos de compra, pero no atiende requerimientos de relajación. Esta combinación no tiene sentido porque la valoración lo que pretende

²Para la denominación de las diferentes estrategias se utiliza el siguiente convenio. **BA** hace referencia a Buyer Attitude, y **SA** hace referencia a Seller Attitude. Con estos prefijos distinguimos entre estrategias de comprador y vendedor respectivamente. A continuación aparece en primer lugar el tipo de actitud expresiva: **ne** y **e**, para definir no expresividad y expresividad respectivamente. Finalmente aparece el tipo de actitud receptiva: **nr** y **r**, para definir no receptividad y receptividad respectivamente. Sólo en el caso de una actitud receptiva (**r**) se añade un sufijo numérico que pondera el nivel de receptividad.

es reconducir la negociación de tal manera que el vendedor emita requerimientos de relajación útiles. Si el agente no analiza requerimientos de relajación, la valoración no tiene utilidad alguna.

(BAner) no expresivo vs receptivo

El comprador no emite valoraciones pero atiende requerimientos. Esta combinación es perfectamente válida, aunque el vendedor podrá refinar menos sus requerimientos.

(BAner) no expresivo vs no receptivo

El comprador no emite valoraciones y no atiende requerimientos. Esta combinación es válida.

En definitiva, el comprador puede actuar de tres formas diferentes: **BAer**, **BAner** y **BAner**.

Analicemos ahora el agente **vendedor**.

(SAer1) expresivo vs receptivo ($\beta = 0$)

Un vendedor expresivo emite requerimientos de relajación, y tiene en cuenta las posibles valoraciones de requerimientos de compra a través del análisis de viabilidad ponderado al máximo. Esta combinación es válida, aunque no se tiene en cuenta la utilidad de las ofertas de venta en la composición de requerimientos de relajación.

(SAer0.5) expresivo vs receptivo ($\beta = 0,5$)

Un vendedor expresivo emite requerimientos de relajación, y tiene en cuenta las posibles valoraciones de requerimientos de compra a través del análisis de viabilidad ponderado al 50%. Esta combinación es válida, teniéndose en cuenta tanto la utilidad de las ofertas de venta como la viabilidad en la composición de requerimientos de relajación.

(SAer) expresivo vs no receptivo ($\beta = 1$)

Un vendedor expresivo emite requerimientos de relajación, y no tiene en cuenta las posibles valoraciones de requerimientos de compra a través del análisis de viabilidad. Esta combinación es válida, aunque el único criterio de composición de requerimientos de relajación es la utilidad de las ofertas de venta.

(SAner1 ó SAner0.5) no expresivo vs cualquier estrategia receptiva

Un vendedor no expresivo no emite requerimientos de relajación, luego no es de aplicación una estrategia receptiva, cuyo único propósito es orientar dichos requerimientos de relajación. Estas combinaciones por tanto no son válidas.

(SAner) no expresivo vs no receptivo

Un vendedor no expresivo no emite requerimientos de relajación, y por tanto no es receptivo. Esta combinación es válida.

En definitiva, el vendedor puede actuar conforme a 4 estrategias diferentes: **SAer1**, **SAer0.5**, **SAenr** y **SAenr**.

5.3.2. Análisis de validez de estrategias conjuntas

En función del análisis de validez de estrategias individuales, hay un total de 12 estrategias conjuntas posibles. Desglosamos a continuación dichas combinaciones.

BAer vs SAer1

Ambos agentes son expresivos y receptivos, de forma que no hay ninguna incoherencia.

BAer vs SAer0.5

Ambos agentes son expresivos y receptivos, por lo que no hay incoherencia.

BAer vs SAenr

Ambos agentes son expresivos, aunque la expresividad del comprador mediante la emisión de valoraciones no es tenida en cuenta por el vendedor. Esto sin embargo, no es detectable por el comprador, con lo que las estrategias son coherentes.

BAer vs SAenr

El comprador es expresivo pero el vendedor no. Esto significa que las valoraciones del comprador no son tenidas en cuenta por el vendedor, que además no es expresivo. Este aspecto es detectable por el comprador, dado que lo único que va a recibir son rechazos a requerimientos de compra sin argumentar. Un agente racional no emitirá valoraciones si sabe que no tienen utilidad alguna, con lo que esta combinación no es estable, y por tanto no es posible el equilibrio. Lo mejor que puede hacer un agente comprador en este caso es conmutar a una estrategia no expresiva y no receptiva **BAenr**.

BAenr vs SAer1

El comprador no es expresivo pero es receptivo, y el vendedor es expresivo, luego tiene sentido la receptividad del comprador. Esta combinación es coherente.

BAenr vs SAer0.5

Siguiendo el mismo razonamiento anterior la combinación es coherente.

BAenr vs SAenr

El comprador no es expresivo pero sí es receptivo, y el vendedor es expresivo, luego tiene sentido la receptividad del comprador. La no expresividad del comprador es coherente con la no receptividad del vendedor. La combinación es coherente.

BAner vs SAner

Ninguno de los agentes es expresivo, luego la receptividad del comprador no tiene sentido, y además este hecho es detectable por el comprador. Un agente comprador racional conmutará a modo no expresivo, no receptivo **BAner**.

BAner vs SAer1

Si el comprador no es receptivo, la expresividad del vendedor no es de utilidad, sin embargo, este hecho no es detectable por el vendedor. Las estrategias por tanto son coherentes. La generación de requerimientos de relajación tiene en cuenta únicamente la viabilidad de las ofertas de venta.

BAner vs SAer0.5

Siguiendo el mismo razonamiento anterior las estrategias son coherentes. La única diferencia es que la generación de requerimientos de relajación tiene en cuenta la utilidad de las ofertas de venta y la viabilidad al 50 %.

BAner vs SAer

Siguiendo el mismo razonamiento anterior las estrategias son coherentes. La única diferencia es que la generación de requerimientos de relajación tiene en cuenta únicamente la utilidad de las ofertas de venta.

BAner vs SAner

En este caso ninguno de los agentes es expresivo o receptivo. Es coherente, y además va a servir como punto de referencia para contrastar nuestra hipótesis de trabajo.

Tras este análisis, los pares de estrategias en equilibrio son 10: **BAer vs SAer1**, **BAer vs SAer0.5**, **BAer vs SAer**, **BAner vs SAer1**, **BAner vs SAer0.5**, **BAner vs SAer**, **BAner vs SAer1**, **BAner vs SAer0.5**, **BAner vs SAer**, y **BAner vs SAner**.

Para simplificar este repertorio vamos a hacer la siguiente agrupación: **BAer vs SAerx**, **BAner vs SAerx**, y **BAner vs SAxerx**. A continuación analizamos cada uno de estos grupos:

BAer vs SAerx

Este grupo de estrategias tienen en común el hecho de que el comprador es expresivo y receptivo de forma simultánea, y el vendedor es expresivo. Además, parece evidente que los diferentes perfiles de receptividad del vendedor van a influir en los resultados de las negociaciones, porque dependiendo de este perfil, la generación de requerimientos de relajación varía. Por lo tanto, a priori, necesitamos experimentar con las tres combinaciones que definen el grupo.

BAner vs SAexrx

Este grupo de estrategias tienen en común el hecho de que el comprador no es expresivo, pero es receptivo, y el vendedor es expresivo. Cuando el vendedor es receptivo, intuitivamente podemos afirmar que los resultados de las negociaciones son diferentes en comparación con las negociaciones del grupo anterior. Esto es así porque el vendedor no dispone de valoraciones del comprador. Sin embargo, cuando el vendedor no es receptivo, el escenario es idéntico al caso del grupo anterior en el que el vendedor no es receptivo. Es decir, si un vendedor no es receptivo, es indiferente que el comprador emita valoraciones. En conclusión, el par **BAner vs SAer** es idéntico a **BAer vs SAer**, a efectos de resultados de una negociación. Para acelerar los experimentos de este tipo, optamos por definir el experimento como **BAner vs SAer**.

BAner vs SAexrx

Este grupo de estrategias se caracteriza por la no expresividad y no receptividad del comprador. Así, es indiferente lo que haga el vendedor, sea o no expresivo o receptivo no se va a tener en cuenta en el comprador. Para acelerar la ejecución de los experimentos de este grupo, optamos por definir como representante el par **BAner vs SAer**.

En resumen, la tabla 5.3 presenta el conjunto de pares de estrategias con las que es necesario experimentar. Tras la reducción, son 6 las estrategias que a priori pueden resolver negociaciones con resultados dispares. Además, es importante destacar que el par **BAner vs SAer** nos va a servir como experimento de referencia con el que contrastar el resto de estrategias que de algún modo u otro incorporan argumentación basada en preferencias. En concreto, el par de estrategias **BAner vs SAer** simula el comportamiento de los agentes descritos en el trabajo de Xudong Luo [Luo *et al.*, 2003b], que como ya vimos en el capítulo 2, es el trabajo más relevante del ámbito de la negociación automática basada en restricciones difusas.

Tabla 5.3. Selección de pares de estrategias en experimentación

Estrategias
BAer vs SAer1
BAer vs SAer0.5
BAner vs SAer
BAner vs SAer1
BAner vs SAer0.5
BAner vs SAer

5.4. Declaración de preferencias, valores de reserva y catálogo de productos

En esta sección se completa el marco de experimentación con la definición de las preferencias del comprador, los catálogos de productos, y los valores de reserva estimados por el vendedor.

5.4.1. Las preferencias del comprador

Vamos a definir el FCSP que describe las preferencias del comprador como un problema de 5 restricciones difusas $R_{1..5}^f$ sobre 5 atributos $a_{1..5}$. Por simplicidad, cada restricción depende de un único atributo. El número de niveles de corte es 11 para cada restricción. Los diferentes niveles de corte son iguales para todas las restricciones. Esta particularidad es muy importante, porque permite que aparezcan con mayor probabilidad varias alternativas válidas en la generación de requerimientos de compra. Tengamos en cuenta que al aplicar concesiones mínimas, si los cortes no están al mismo nivel, los requerimientos se hacen escalonados independientemente de los requerimientos de relajación del vendedor. Si la estrategia de concesión fuese general, no sería imprescindible este requisito, porque habría un margen para relajar varias restricciones a niveles de corte similares. De alguna manera, al nivelar los cortes, estamos creando el mismo efecto que con una estrategia de concesión general. Por último, todos los atributos tienen el mismo dominio de valores $D = \{d_i = [0, 100], i = 1, \dots, 5\}$, a incrementos de una unidad. La asignación de estos valores no resta generalidad a los experimentos porque en cualquiera de los casos los valores se normalizan al calcular distancias, de manera que los errores en las estimaciones de distancia se pueden prefijar modificando los valores de reserva estimados. La tabla 5.4 describe el FCSP del comprador. La primera columna presenta los

Tabla 5.4. FCSP del agente comprador

μ_{R^f}	R_1^f	R_2^f	R_3^f	R_4^f	R_5^f
1	[100, 91]	[100, 91]	[100, 91]	[100, 91]	[100, 91]
0.9	[90, 81]	[90, 81]	[90, 81]	[90, 81]	[90, 81]
0.8	[80, 71]	[80, 71]	[80, 71]	[80, 71]	[80, 71]
0.7	[70, 61]	[70, 61]	[70, 61]	[70, 61]	[70, 61]
0.6	[60, 51]	[60, 51]	[60, 51]	[60, 51]	[60, 51]
0.5	[50, 41]	[50, 41]	[50, 41]	[50, 41]	[50, 41]
0.4	[40, 31]	[40, 31]	[40, 31]	[40, 31]	[40, 31]
0.3	[30, 21]	[30, 21]	[30, 21]	[30, 21]	[30, 21]
0.2	[20, 11]	[20, 11]	[20, 11]	[20, 11]	[20, 11]
0.1	[10, 1]	[10, 1]	[10, 1]	[10, 1]	[10, 1]
0	0	0	0	0	0

niveles de corte de cada restricción, y las cinco columnas restantes las restricciones en forma

de rangos de valores. Por ejemplo, la restricción dura $R_1^{c(\sigma_1^3)}$ estaría definida por el intervalo: $[100, 71]$.

5.4.2. Los valores de reserva estimados

Los valores de reserva estimados por el vendedor influyen como ya sabemos (ver ecuación 4.3.1) en la estimación de distancia de un atributo a las restricciones de un requerimiento de compra. Una estimación pesimista por ejemplo, hace que distancias relativamente cortas, sean percibidas como largas, y que por lo tanto, productos que por cercanía podrían ser buenos candidatos como ofertas de venta, no sean tenidos en cuenta. Entendemos por pesimista que el valor de reserva estimado puede ser alcanzado antes que el valor de reserva real.

En los experimentos se van a asumir valores de reserva estimados que se ajustan a los valores de reserva del comprador: $a_x^{res} = 1$. Es decir, el comprador estaría dispuesto a fijar el corte de las restricciones hasta un grado de satisfacción 0.1. Recordemos que las estimaciones se supone que son sobre cada restricción, y en ningún caso el vendedor puede tener la certeza de que el comprador estaría dispuesto a relajar todas las restricciones hasta un corte 0.1.

5.4.3. Catálogos de productos

Un catálogo puede caracterizarse en base a su tamaño y a las características de los productos. Cada entrada del catálogo tendrá una utilidad asignada, y conforme al FCSP del comprador, reportará a dicho comprador un determinado grado de satisfacción global. Nosotros, como observadores, podemos predecir qué productos de un catálogo pueden ser solución en un diálogo negociador. Asumiendo de nuevo el carácter no estratégico del vendedor en cuanto a la ocultación de productos, y la utilización por parte del comprador de una metaestrategia de compensación y concesión competitiva, es evidente que sólo podrán ser soluciones los productos que generan el máximo grado de satisfacción global al comprador.

Definición 5.4.1. (Conjunto solución) *Dado un catálogo de productos $S = \{s_j | j = 1 \dots k\}$, el conjunto de productos que pueden ser solución en una negociación es el conjunto solución $S_{sol} \subseteq S$, tal que todos los productos en $S_{sol} = \{s_i\}$ cumplen que $\forall s_i, \forall s_j, \alpha(p_i) \geq \alpha(p_j)$. Esto se cumple bajo el supuesto de un vendedor no estratégico en cuanto a ocultación de productos, y de un comprador que relaja restricciones mediante una estrategia de compensación y concesión competitiva.*

Definición 5.4.2. (Conjunto de ruido) *Dado un catálogo de productos $S = \{s_j | j = 1 \dots k\}$, el conjunto de ruido $S_{ruido} \subseteq S$, es el conjunto de productos complementario a S_{sol} , de manera que $S_{sol} \cup S_{ruido} = S$.*

Vistas estas dos definiciones, un catálogo vendrá definido por el número de productos incluidos en S_{sol} y en S_{ruido} . Para que el número de cortes hasta alcanzar una solución sea significativo, el conjunto S_{sol} se va a definir como un conjunto de productos donde $\alpha(p_i) = 0,7$. La estrategia para obtener estos productos ha sido generar aleatoriamente vectores de atributos en rangos preestablecidos (en este caso [100, 61]), y filtrar a continuación aquellos que satisfacen el requisito de satisfacción global 0.7.

Una vez generados los productos del conjunto solución, el siguiente paso es asignar valores de utilidad u_j a cada uno de ellos. Aunque en un caso real, va a existir normalmente un mínimo de correlación entre los valores de los atributos negociables y el valor de utilidad asociado, vamos a suponer el peor caso. Así, los valores de utilidad se van a generar aleatoriamente mediante una distribución uniforme. Para probar la eficacia puntual de las negociaciones, de forma también aleatoria, la utilidad de uno de los productos del conjunto S_{sol} se fija a un valor máximo. El objetivo es ver si tras una negociación se alcanza esta solución.

Para generar los conjuntos de ruido se va a seguir una estrategia similar, con la salvedad de que no será necesario seleccionar un producto y asignarle un valor máximo.

Hemos definido anteriormente un experimento como un diálogo negociador. Sin embargo, obtener el resultado de una sólo negociación para un conjunto de parámetros determinado no tiene valor estadístico, de manera que tenemos que repetir múltiples negociaciones variando únicamente los catálogos de productos. En concreto se van a realizar 300 negociaciones por experimento, donde sólo se modifican (de forma aleatoria) los valores de los atributos de los productos y sus utilidades, siguiendo los pasos que se acaban de describir.

5.4.4. Definición y análisis de experimentos

Para cada uno de los **6 pares de estrategias** que queremos analizar se van a realizar experimentos **sin conjunto de ruido, con conjunto de ruido**, para diferentes **tamaños de catálogo**.

Teniendo en cuenta que el valor de satisfacción global que alcanza el comprador es conocido, el resultado que debemos analizar es la utilidad que consigue el vendedor en cada negociación. Teniendo en cuenta que el vendedor intenta maximizar su utilidad, la distribución de los resultados no va a ser normal, por lo que la media no es un estadístico robusto. Así, los estadísticos fundamentales van a ser: la *mediana* de los resultados, y la *tasa de aciertos*. La *tasa de aciertos* va a estimar el número de veces que se consigue la solución pareto-óptima, es decir, la solución donde $u_j = \text{maxima utilidad}$. En todos los casos los intervalos de confianza se calculan para un 95%.

5.5. Resultados de los experimentos

En esta sección se presentan los resultados de los experimentos. Se han ordenado en función de las diferentes estrategias conjuntas, y de la utilización o no de conjuntos de ruido. Los resultados de los experimentos se documentan de cuatro formas:

1. Tabla con la tasa de éxitos y los intervalos de confianza al 95 % para cada uno de los tamaños de catálogo considerados, y la mediana de la utilidad que consigue el vendedor.
2. Box-plot o caja de bigotes de las medianas de la utilidad del vendedor para cada uno de los tamaños de catálogo considerados. Este tipo de figuras representan en un rectángulo los límites del primer intercuartil y el tercer intercuartil. La línea que aparece en la estrechez del rectángulo es la mediana. La zona comprendida entre los comienzos de la estrechez del rectángulo delimita el intervalo de confianza para el 95 %. Por último las cruces que aparecen en ocasiones fuera del rectángulo representan valores de utilidad que caen fuera de la zona delimitada por el primer y tercer intercuartiles (outliers).
3. Gráfico con los rangos de medias (mean-ranks) obtenidos a partir de un *test no paramétrico de Kruskal-Wallis*. Este es un análisis similar a un análisis de varianza de un sólo factor *ANOVA1*, con la diferencia de que no es necesario asumir normalidad en los valores que se analizan. En el caso del test no paramétrico no se analizan realmente los valores de los datos sino rangos de dichos valores.
4. Gráfico con las medias obtenidas a partir del análisis de varianza de un sólo factor *ANOVA1*.

Los análisis de varianza *ANOVA1* o *Kruskal-Wallis* [Pérez, 2003, Mathworks, 2005] tienen un objetivo fundamental, que es ver si las diferentes poblaciones son similares. Para comprobar esto, basta con ver si en los gráficos de ambos análisis hay o no solape entre los diferentes intervalos que describen las diferentes poblaciones (resultados de la negociación para cada tamaño de catálogo).

En primer lugar presentamos los resultados y el análisis de experimentos donde no hay conjuntos de ruido.

5.5.1. Experimentos sin ruido

Para realizar estos experimentos las utilidades del conjunto solución se van a generar entre 0 y 0.69, y el valor máximo va a ser 0.7 (sólo va a existir un producto con esta utilidad para el vendedor). El éxito en una negociación es alcanzar un acuerdo donde la utilidad para

el vendedor es 0.7. Vamos a comenzar con el análisis de las estrategias **BAnenr vs SAnenr**, que van a constituir el escenario de referencia para probar nuestra hipótesis de trabajo.

(1) Estrategias **BAnenr vs SAnenr**

En la tabla 5.5 se puede ver que las tasas de éxito se estabilizan entorno al 10 %, aunque

Tabla 5.5. Resultados de estrategia BAnenr vs SAnenr

BAnenr vs SAnenr				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.56	0.5018	0.6170	0.7
8	0.26	0.2113	0.3135	0.5197
16	0.11	0.0769	0.1510	0.4223
32	0.1	0.0685	0.1397	0.5333
64	0.09	0.0601	0.1282	0.6157
128	0.13	0.0941	0.1734	0.6417
256	0.15	0.1116	0.1955	0.6743

para 4 y 8 productos dicha tasa es mayor, lo cual es lógico debido a que el número de combinaciones de relajación es mucho mayor que el número de productos. En la figura 5.1 aparece un

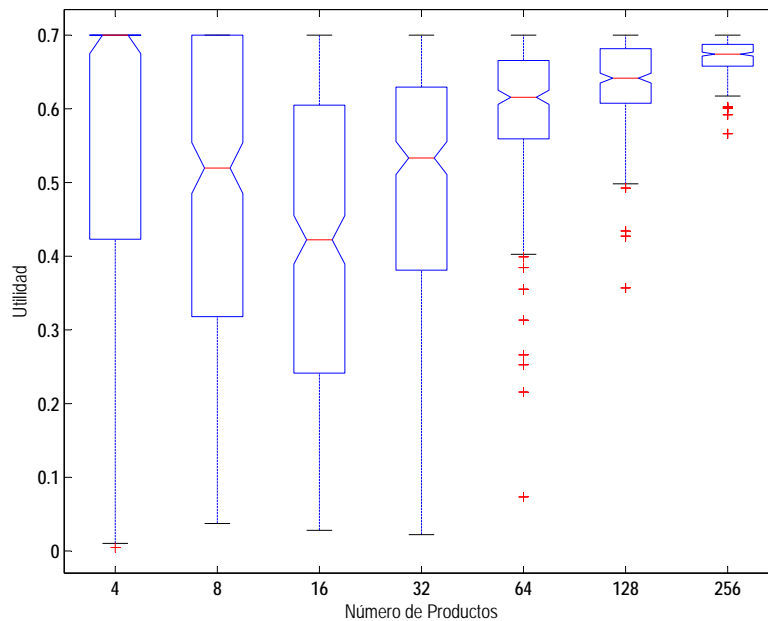


Figura 5.1. Box-plot de medianas de BAnenr vs SAnenr

valle en el valor de mediana para el caso de 16 productos. Sin embargo, la mediana vuelve a crecer a medida que el número de productos se incrementa. Este efecto era previsible, debido a que al aumentar el número de productos, la probabilidad de que el vendedor tenga productos con una utilidad alta para un requerimiento del comprador es mayor. De los resultados de los test de varianza que aparecen en las figuras 5.2 y 5.3 podemos concluir que los tamaños de

los catálogos tienen una influencia significativa en los resultados de las negociaciones, sobre todo para catálogos con un gran número de productos en el conjunto solución.

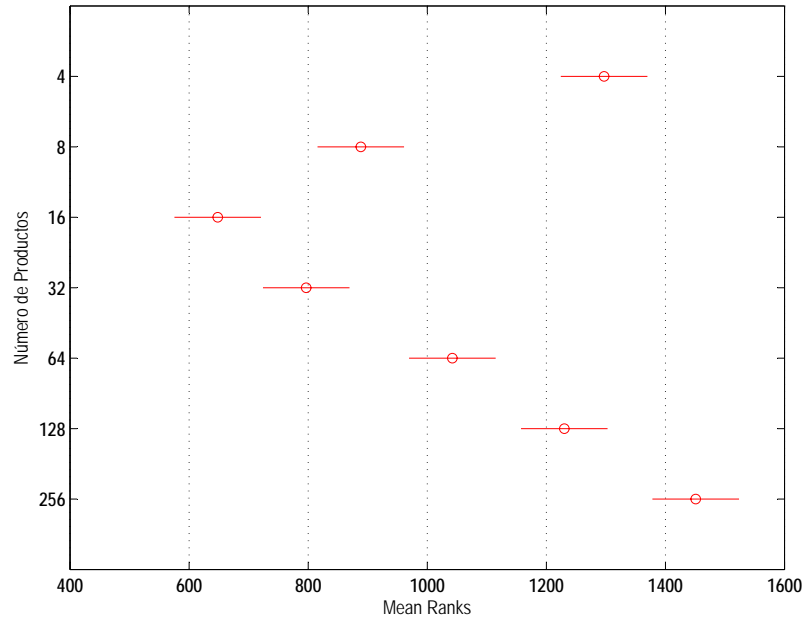


Figura 5.2. Mean Ranks en BAnenr vs SAnenr

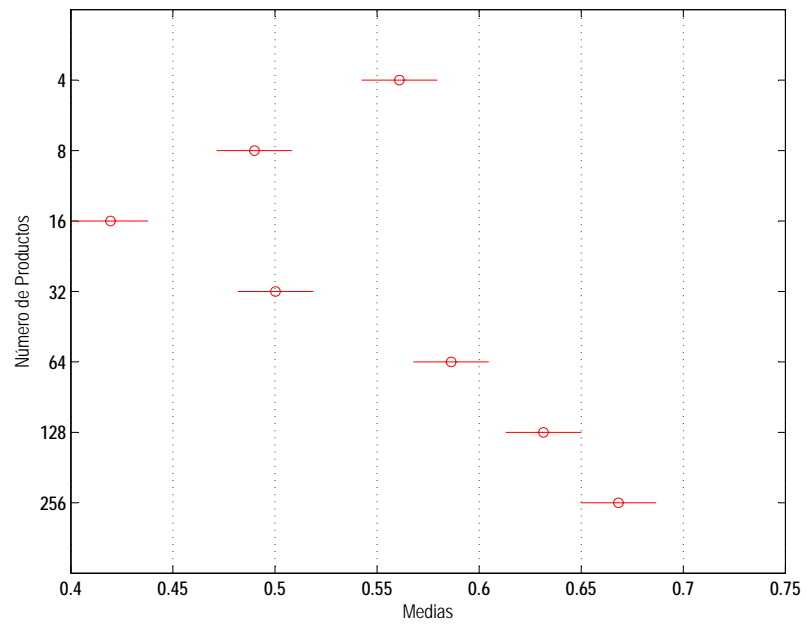


Figura 5.3. Medias en BAnenr vs SAnenr

(2) Estrategias BAer vs SAer1

Según este par de estrategias, ambos agentes son expresivos y receptivos, con la peculiaridad de que el vendedor compone los requerimientos de relajación teniendo en cuenta sólo la viabilidad de las ofertas de venta. Esto significa que prevalece la similaridad y las valoraciones del comprador, y por lo tanto el vendedor puede ser considerado como cooperativo, en el sentido de que atiende únicamente a las preferencias del comprador sin importarle las suyas. Si analizamos los resultados (ver tabla 5.6, y figuras 5.4, 5.5 y 5.6) podemos observar que son muy similares a los de las estrategias **BAner** vs **SAner**. Este es un resultado esperado, porque como hemos dicho, el vendedor no es en este caso un maximizador de utilidad.

Tabla 5.6. Resultados de Estrategia BAer vs SAer1 sin ruido

BAer vs SAer1				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.49	0.4321	0.5481	0.6828
8	0.28	0.2299	0.3345	0.5632
16	0.18	0.1382	0.2282	0.5133
32	0.14	0.1028	0.1845	0.5563
64	0.09	0.0601	0.1282	0.6158
128	0.13	0.0941	0.1734	0.6417
256	0.15	0.1116	0.1955	0.6743

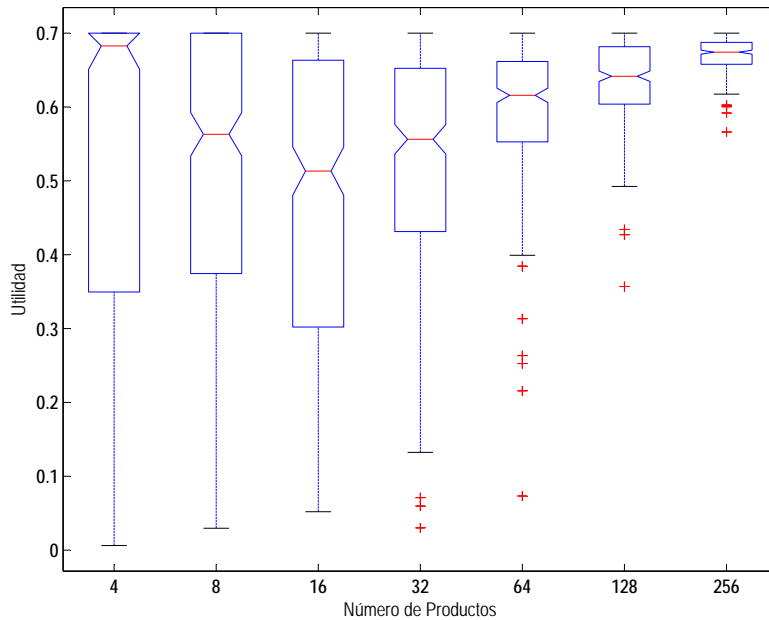


Figura 5.4. Box-plot de medianas de BAer vs SAer1

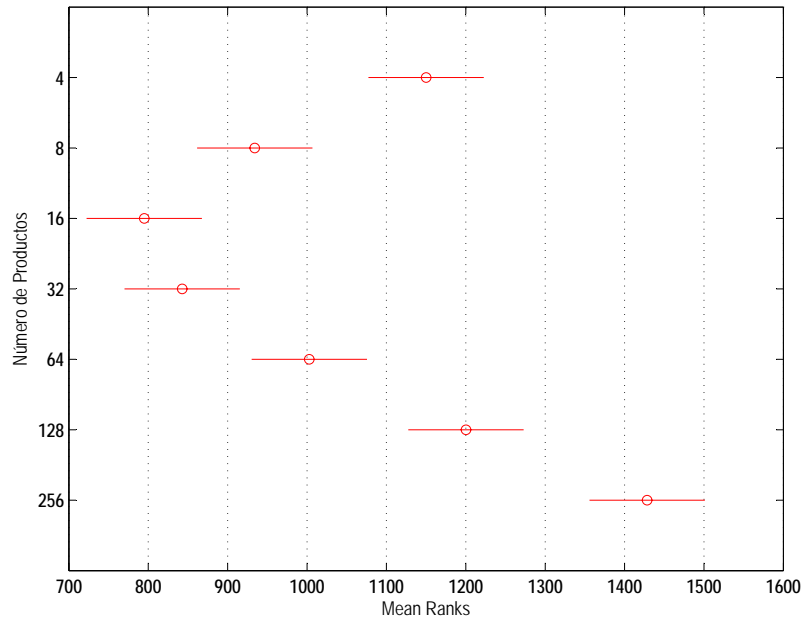


Figura 5.5. Mean Ranks en BAer vs SAer1

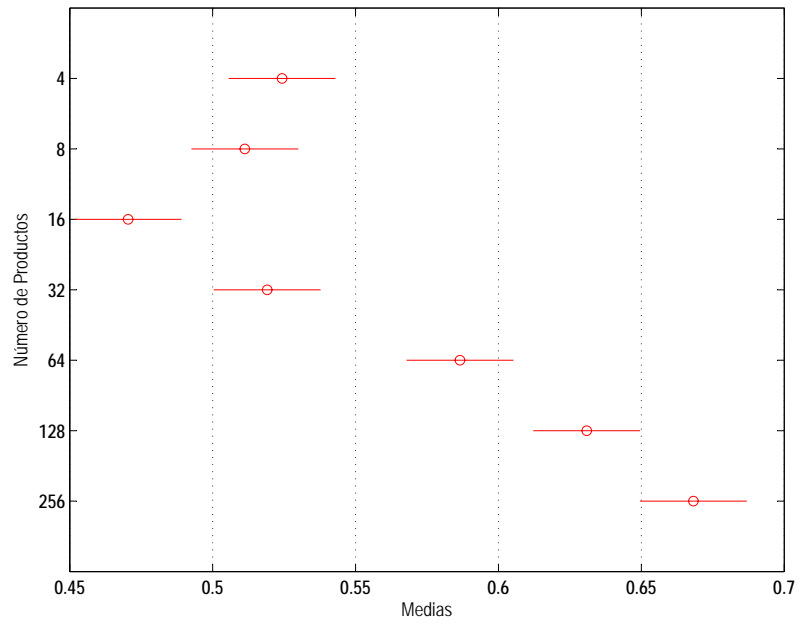


Figura 5.6. Medias en BAer vs SAer1

(3) Estrategias BAer vs SAer0.5

Cuando ambos agentes son expresivos y receptivos, los resultados son significativamente mejores que cuando no lo son. En la tabla 5.7 y figura 5.7 podemos ver como las tasas de éxito

Tabla 5.7. Resultados de Estrategia BAer vs SAer0.5 sin ruido

BAer vs SAer0.5				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.94	0.9068	0.9641	0.7
8	0.85	0.8045	0.8884	0.7
16	0.59	0.5320	0.6462	0.7
32	0.6	0.5421	0.6559	0.7
64	0.48	0.4222	0.5382	0.6881
128	0.52	0.4618	0.5778	0.7
256	0.56	0.5018	0.6170	0.7

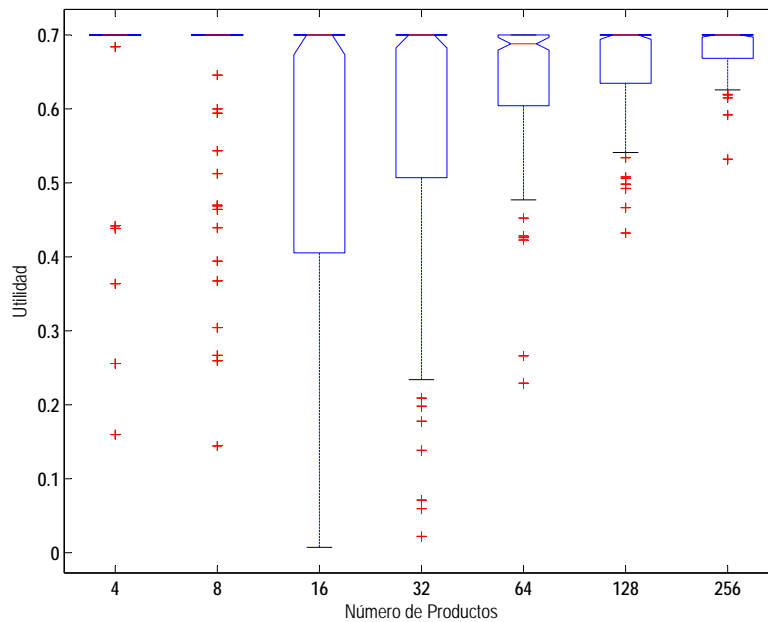


Figura 5.7. Box-plot de medianas de BAer vs SAer0.5

más bajas se encuentran entorno al 50 %, y las medianas están siempre muy cercanas a 0.7. Otro efecto muy importante que se puede apreciar en la figura 5.8, es que los rangos de medias se solapan a partir de los 16 productos. Esto significa que las poblaciones muestrales son similares, y por tanto, la utilización de estas estrategias tiene influencia en todos los tamaños de catálogos. Los valores medios que se pueden observar en la figura 5.9 son significativamente mejores para todos los tamaños de catálogo respecto de las estrategias **BAner** vs **SAner**. Sin embargo, como era de esperar, para 128 y 256 productos, las medias se hacen bastante parecidas.

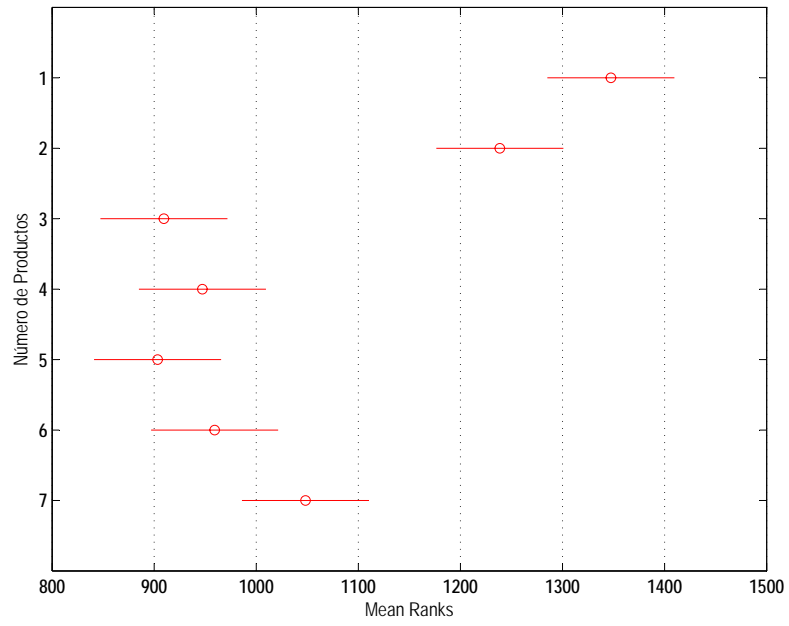


Figura 5.8. Mean Ranks en BAer vs SAer0.5

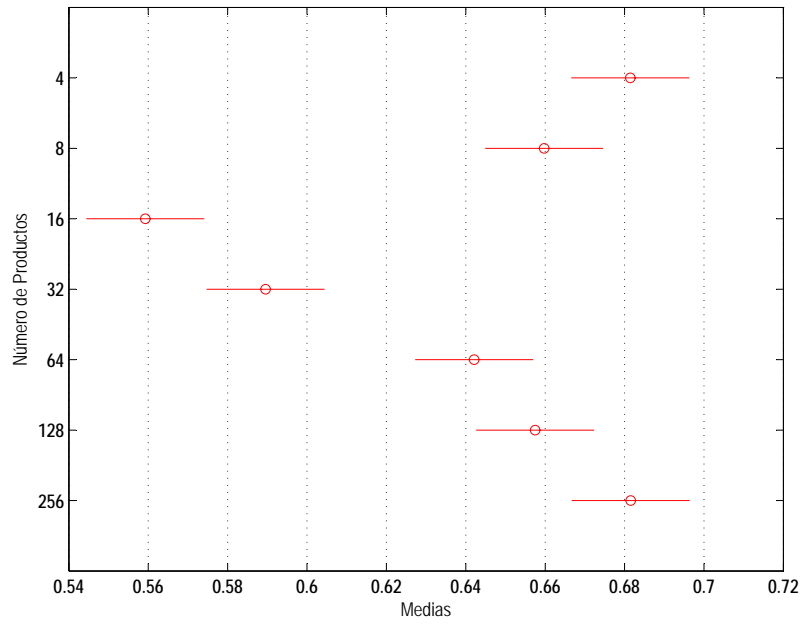


Figura 5.9. Medias en BAer vs SAer0.5

(4) Estrategias **BAner vs SAer**

Los resultados son idénticos a los obtenidos con las estrategias **BAer vs SAer0.5**. La conclusión que podemos extraer es que la utilización de la estimación de viabilidad no influye en los resultados. Esto significa que el agente vendedor puede centrarse exclusivamente en maximizar su utilidad. Esto tiene sentido porque en ausencia de ruido, todos los productos están a una distancia similar respecto de cualquier requerimiento de compra. La estimación de distancia puede cobrar más interés cuando existan productos que no sean solución, es decir en presencia de un conjunto de ruido.

(5) Estrategias **BAner vs SAer1**

Los resultados son idénticos a los obtenidos con las estrategias **BAer vs SAer1**. La conclusión es que en ausencia de ruido, para un vendedor cooperativo que no es maximizador de su utilidad, las valoraciones del comprador no influyen en los resultados. Esto se debe a que tiene mayor preponderancia la estimación de la distancia a los requerimientos de compra que las posibles valoraciones del comprador.

(6) Estrategias **BAner vs SAer0.5**

Los resultados son prácticamente idénticos a los obtenidos con las estrategias **BAer vs SAer0.5** y **BAner vs SAer**. En ausencia de ruido, las valoraciones del comprador tampoco influyen en los resultados, siendo preponderante la utilidad del vendedor.

5.5.2. Experimentos con ruido

Para generar los experimentos con conjuntos de ruido, vamos a tomar como referencia el número de productos del conjunto solución, de manera que el conjunto de ruido va a ser del mismo tamaño que el conjunto solución para todos los casos. Las utilidades del vendedor para los productos de dichos conjuntos de ruido van a estar comprendidas entre 0.9 y 1, mientras la utilidad del conjunto solución para el comprador va a ser de nuevo 0.7. Con estas utilidades, las ofertas de venta preferidas para el vendedor son los productos del conjunto de ruido. Sin embargo, un vendedor inteligente, llegará a la conclusión de que dichos productos no son ofertas de venta válidas, y se centrará en conseguir la mejor solución de entre aquellos productos que pueden realmente ser solución, es decir, los del conjunto solución. La utilidad de dicho conjunto de ruido para el comprador va a ser de 0.1, 0.2 o 0.3, generado mediante la asignación aleatoria de atributos en la banda [1 30]. Al igual que antes, analizamos a continuación los 6 pares de estrategias. Igual que en los experimentos sin ruido, las estrategias **BAner vs SAner**, van a ser el escenario de referencia para probar nuestra hipótesis de trabajo.

(1) Estrategias **BAner vs SAner**

En la tabla 5.8 se puede ver que las tasas de éxito se estabilizan entorno al 10%, aunque para 4 y 8 productos dicha tasa es mayor, lo cual es lógico debido a que el número de combinaciones de relajación es mucho mayor que el número de productos. En la figura 5.10 aparece

Tabla 5.8. Resultados de Estrategia BANenr vs SANenr con ruido

BANenr vs SANenr				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.4400	0.3830	0.4982	0.6432
8	0.32	0.2676	0.3760	0.5502
16	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
32	0.12	0.0855	0.1622	0.5362
64	0.15	0.1116	0.1955	0.6326
128	0.11	0.0769	0.1510	0.6419
256	0.07	0.0439	0.1050	0.6686

un valle en el valor de mediana para el caso de 16 productos. Sin embargo, la mediana vuelve a

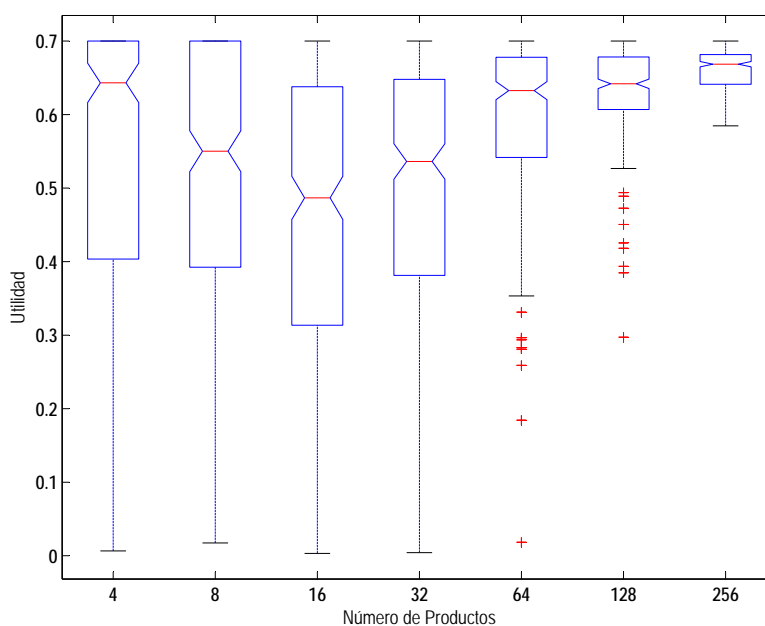


Figura 5.10. Box-plot de medianas de BANenr vs SANenr con ruido

crecer a medida que el número de productos se incrementa. Este efecto era previsible, debido a que al aumentar el número de productos, la probabilidad de que el vendedor tenga productos con una utilidad alta para un requerimiento del comprador es mayor. De los resultados de los test de varianza que aparecen en las figuras 5.11 y 5.12 podemos concluir que los tamaños de los catálogos tienen una influencia significativa en los resultados de las negociaciones, sobre todo para catálogos con un gran número de productos en el conjunto solución.

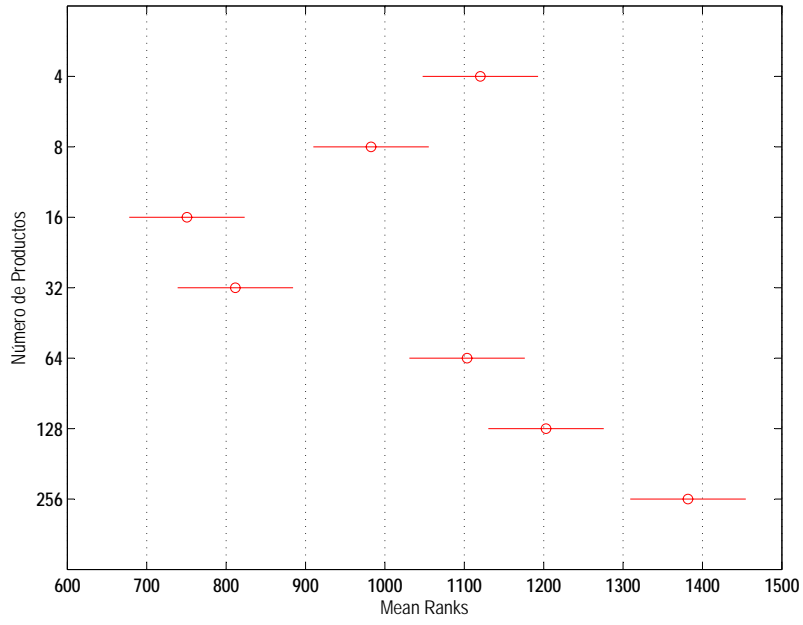


Figura 5.11. Mean Ranks en BANenr vs SANenr con ruido

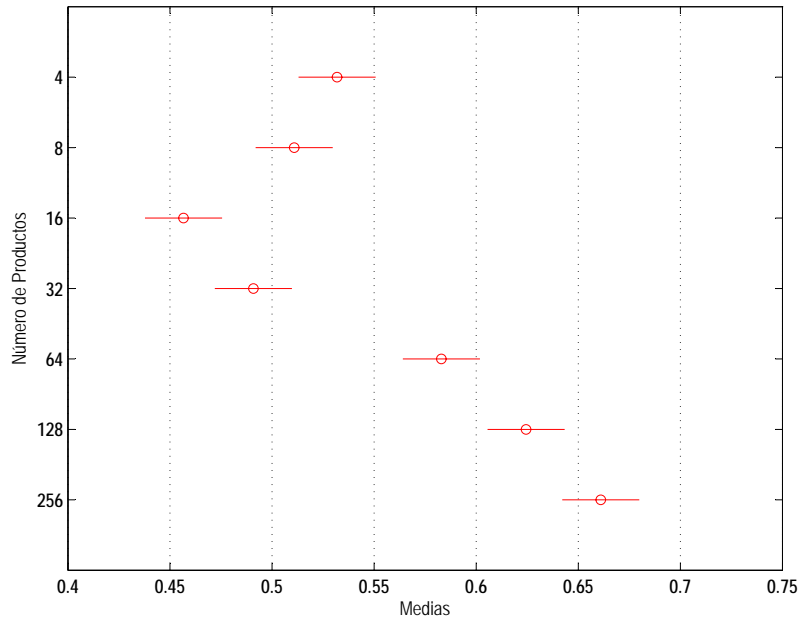


Figura 5.12. Medias en BANenr vs SANenr con ruido

(2) Estrategias BAer vs SAer1 y (3) Estrategias BANer vs SAer1

En la tabla 5.9 y las figuras 5.13, 5.14 y 5.15, podemos ver que los resultados en todos los casos son similares a los conseguidos con las estrategias **BAnenr vs SAnenr**. Este resultado era previsible, teniendo en cuenta que el vendedor no es maximizador de utilidad. Las estrategias **BAner vs SAer1** reportan los mismos resultados, lo cual es lógico porque la expresividad del comprador no tiene en cualquier caso un reflejo en el vendedor a efectos de maximizar utilidad.

Tabla 5.9. Resultados de Estrategia BAer vs SAer1 con ruido

BAer vs SAer1				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.43	0.3732	0.4881	0.6101
8	0.34	0.2865	0.3967	0.576
16	0.18	0.1382	0.2282	0.5717
32	0.15	0.1116	0.1955	0.5594
64	0.12	0.0855	0.1622	0.6262
128	0.11	0.0769	0.1510	0.6419
256	0.07	0.0439	0.1050	0.6686

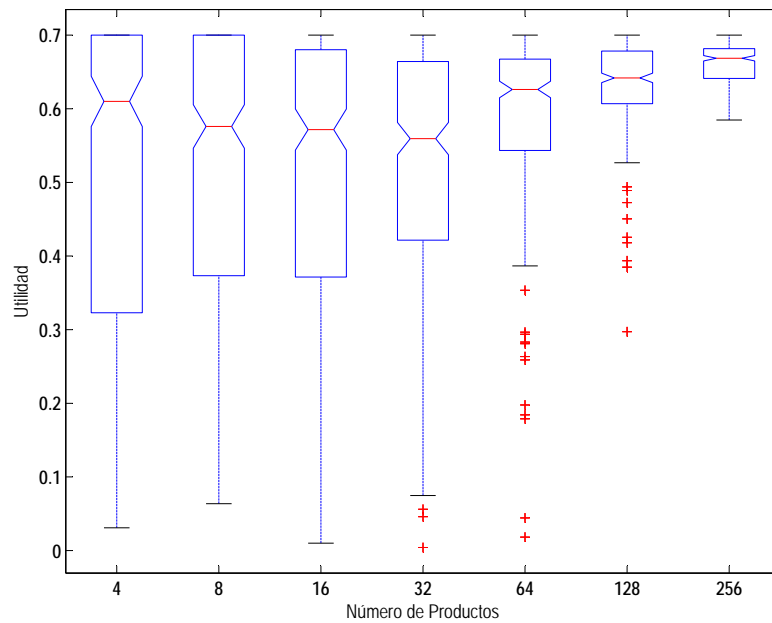


Figura 5.13. Box-plot de medianas de BAer vs SAer1 con ruido

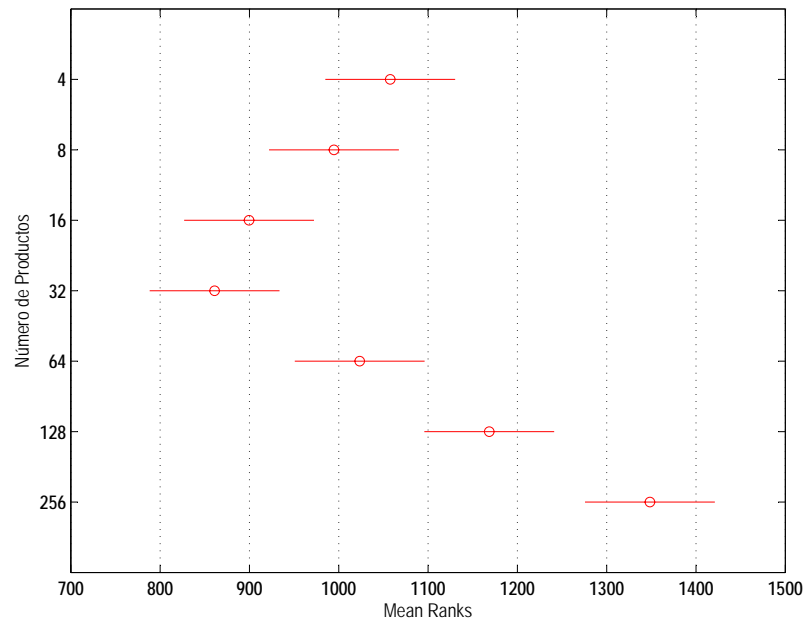


Figura 5.14. Mean Ranks en BAer vs SAer1 con ruido

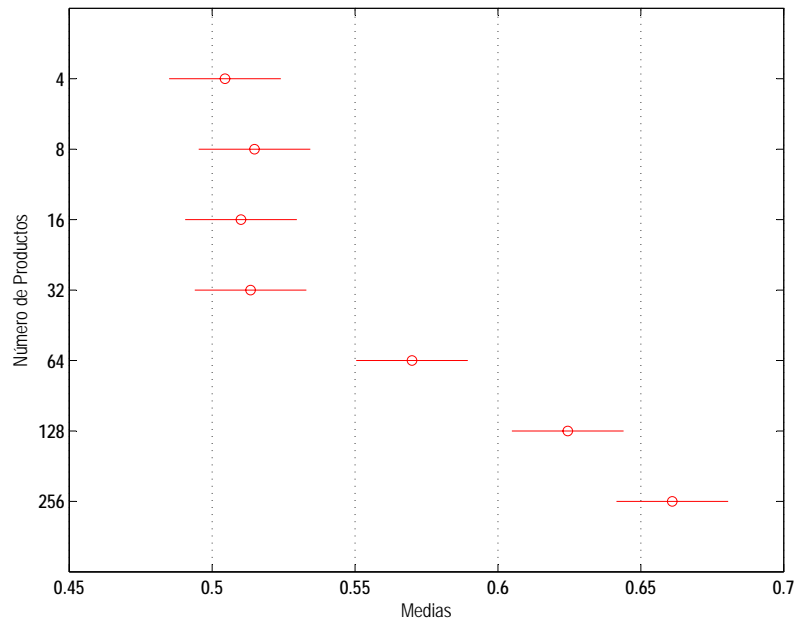


Figura 5.15. Medias en BAer vs SAer1 con ruido

(4) Estrategias BAer vs SAer0.5

En este caso, a diferencia de la versión del experimento sin ruido, los resultados son similares a los conseguidos con las estrategias **BAner vs SAner**. Queda patente que conforme a nuestra propuesta de instancia, la valoración de los requerimientos distrae al vendedor, modificando desfavorablemente las preferencias por las diferentes ofertas de venta, centrando finalmente la búsqueda en el conjunto de ruido. Este fenómeno sin embargo no aparece en el caso de ausencia de ruido.

(5) Estrategias BAner vs SAer

En este caso los resultados son también similares a los conseguidos con las estrategias **BAner vs SAner** (ver tabla 5.10, y figuras 5.16, 5.17 y 5.18). Estos resultados son muy importantes, porque nos permiten apreciar cómo, cuando existe ruido y el vendedor se limita a buscar aquello que más le interesa sólo pensando en la utilidad, los resultados no son buenos. Recordemos que en el caso de ausencia de ruido, estas estrategias conducían a soluciones satisfactorias.

Tabla 5.10. Resultados de Estrategia BAner vs SAer con ruido

Tamaño	Tasa de éxito	BAner vs SAer		Mediana
		Intervalos de confianza		
4	0.4400	0.3830	0.4982	0.6432
8	0.32	0.2676	0.3760	0.5502
16	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
32	0.12	0.0855	0.1622	0.5362
64	0.15	0.1116	0.1955	0.6326
128	0.11	0.0769	0.1510	0.6419
256	0.07	0.0439	0.1050	0.6686

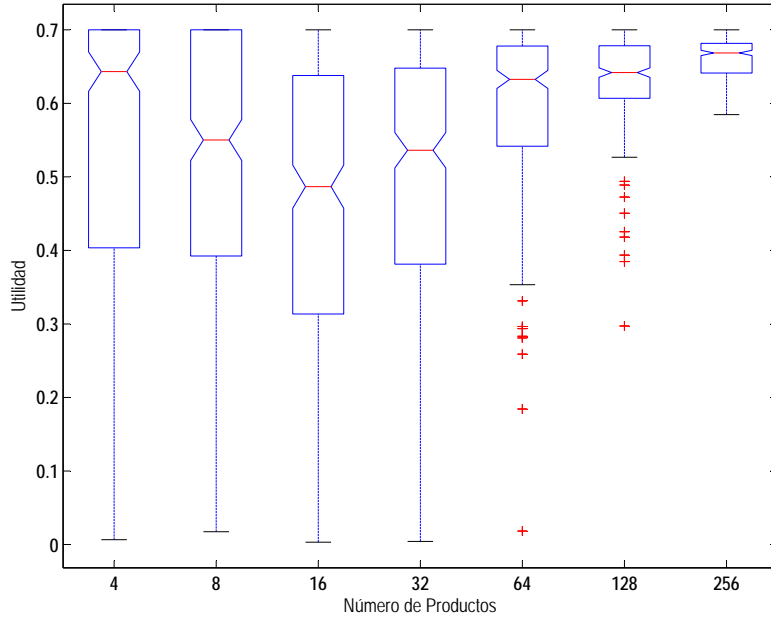


Figura 5.16. Box-plot de medianas de BAner vs SAer con ruido

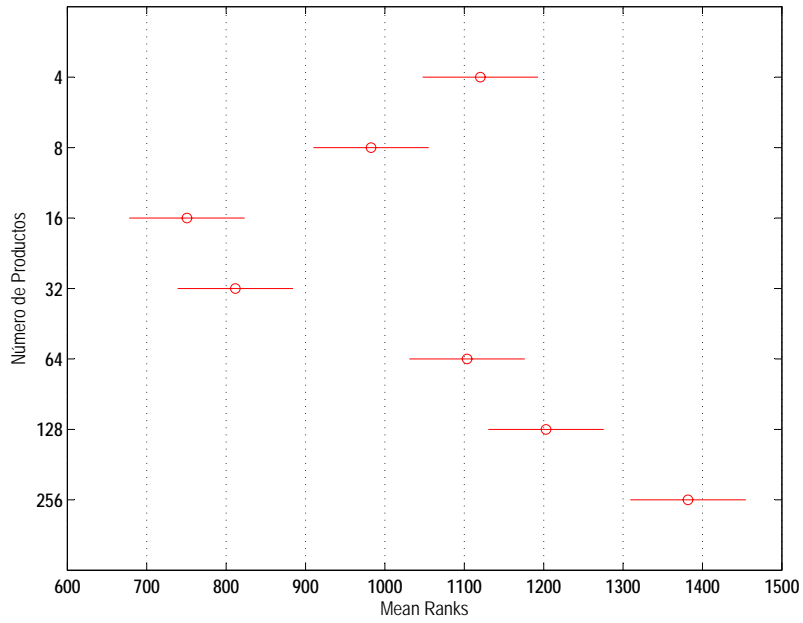


Figura 5.17. Mean Ranks en BAner vs SAer con ruido

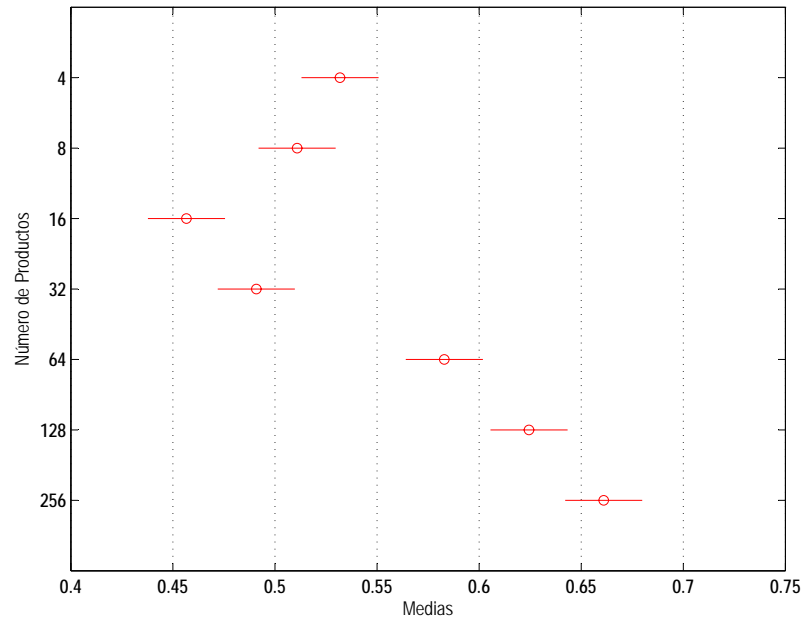


Figura 5.18. Medias en BAner vs SAer con ruido

(6) Estrategias BAner vs SAer0.5

Podemos comprobar (ver tabla 5.11 y figuras 5.19, 5.20 y 5.21) como los resultados son significativamente mejores en todos los casos. Este experimento demuestra que la expresividad del vendedor es clave para conseguir soluciones satisfactorias.

Tabla 5.11. Resultados de Estrategia BAner vs SAer05 con ruido

BAner vs SAer05				
Tamaño	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
4	0.9500	0.9189	0.9717	0.7
8	0.7600	0.7076	0.8072	0.7
16	0.6900	0.6343	0.7419	0.7
32	0.5200	0.4618	0.5778	0.7
64	0.4500	0.3928	0.5082	0.6859
128	0.3600	0.3056	0.4172	0.6647
256	0.3300	0.2770	0.3864	0.6807

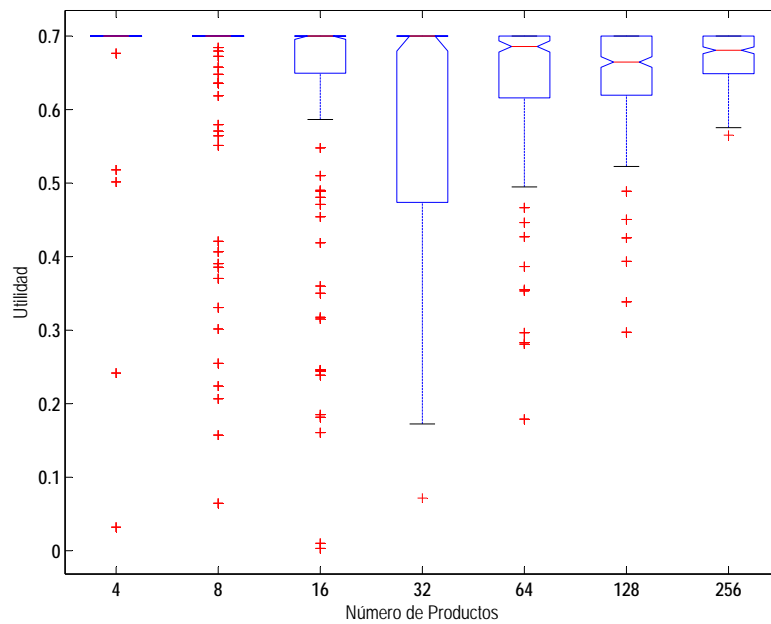


Figura 5.19. Box-plot de medianas de BAner vs SAer05 con ruido

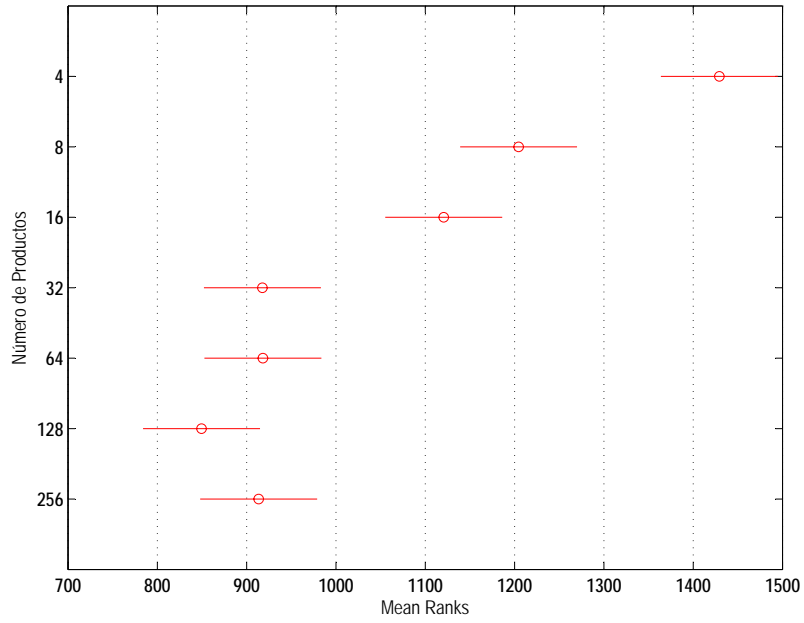


Figura 5.20. Mean Ranks en BAner vs SAer05 con ruido

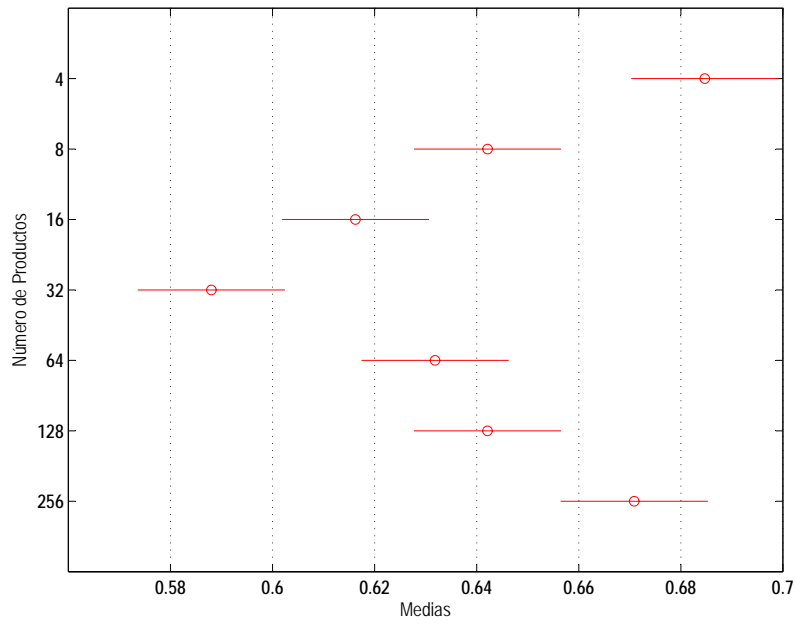


Figura 5.21. Medias en BAner vs SAer05 con ruido

En la figura 5.22 se resumen los resultados alcanzados para los experimentos con ruido,

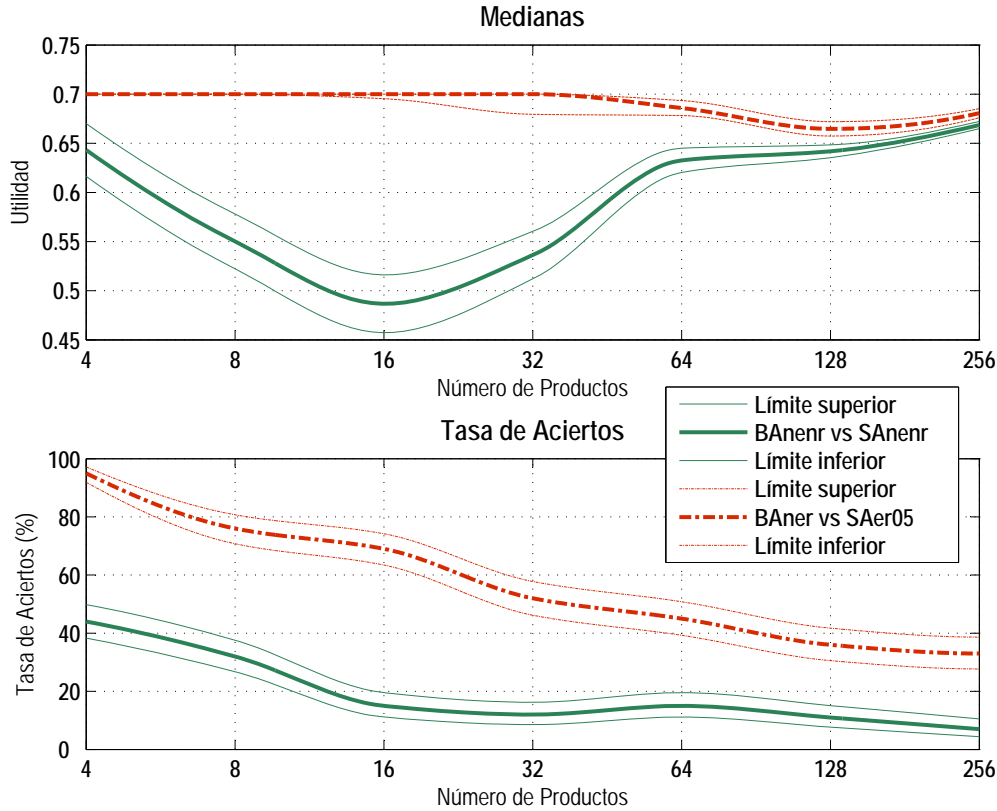


Figura 5.22. Comparativa de Estrategias BANer vs SANer y BANer vs SAer05

para los casos de las estrategias BANer vs SANer y BANer vs SAer05. En la gráfica superior se muestran las medianas, y en la gráfica inferior las tasas de aciertos. Nos vamos a centrar en estas estrategias porque constituyen, el escenario de referencia con el cual nos comparamos (BANer vs SANer), y la mejor combinación de estrategias (BANer vs SAer05).

Las tasas de aciertos siguen una misma tendencia para todos los catálogos, con una mejora apreciable en el caso de las estrategias BANer vs SAer05. En el caso de las medianas, para catálogos de hasta 64 productos, los resultados son óptimos, con lo que la introducción de expresividad en el comprador no se hace necesaria. Para catálogos de más de 256 productos las estrategias tienden a converger, con lo que la expresividad no juega un papel tan determinante. Recordemos que un catálogo muy poblado permite que el vendedor tenga ofertas válidas con una utilidad alta, siempre que la distribución de utilidades sea uniforme. Tan sólo para catálogos de 128 productos se detecta un pequeño valle en la mediana de la utilidad, que aún así, mejora los resultados conseguidos sin la utilización de estrategias expresivas, y en cualquier caso, los valores están muy cercanos al valor de utilidad óptimo. Estos resultados

nos permiten concluir, que la expresividad permite que los resultados mejoren notablemente, y que sólo es necesaria una estrategia expresiva en el lado del vendedor.

Finalmente, en la figura 5.23 se presentan dos gráficas que describen el *porcentaje de*

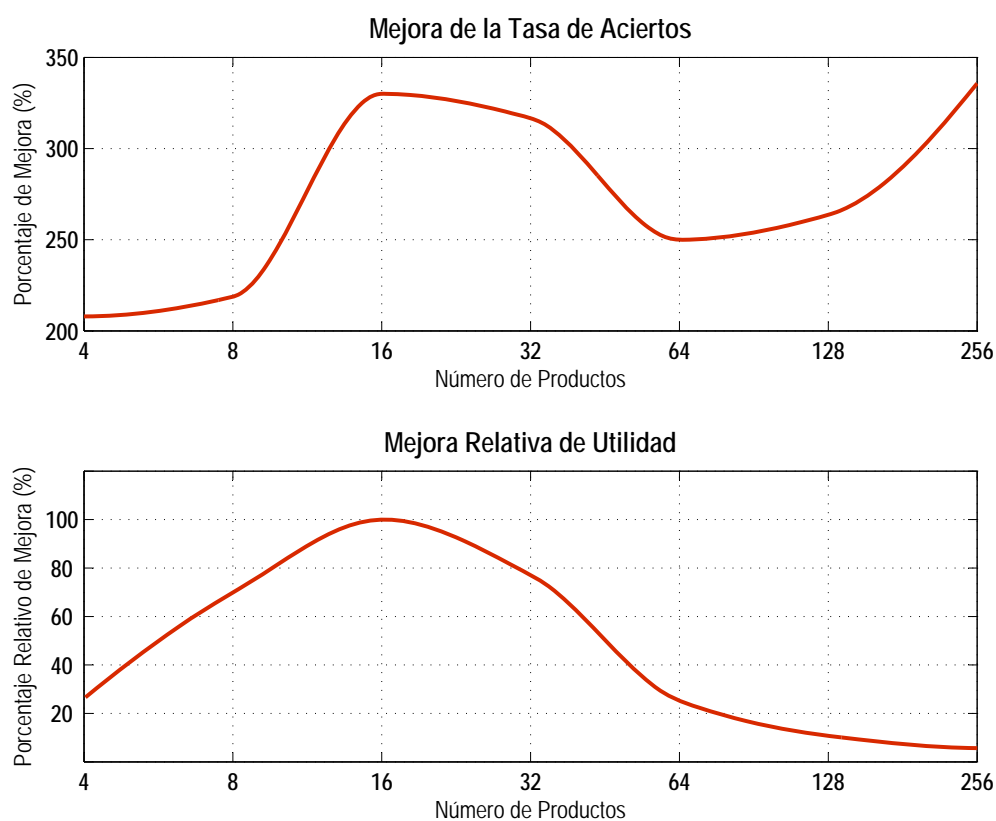


Figura 5.23. Mejora de la Tasa de Aciertos y Mejora Relativa de Utilidad

mejora de la tasa de aciertos, y el *porcentaje relativo de mejora de utilidad*. La *mejora de la tasa de aciertos* representa la relación porcentual entre las tasas de aciertos que se consiguen con las estrategias BAner vs SAer05 y las que se consiguen con las estrategias BANer vs SANer. Esta gráfica muestra una propiedad muy importante, que es la tendencia exponencial de mejora relativa de la tasa de aciertos. Para catálogos con un conjunto solución pequeño la mejora es de aproximadamente el 200%, observándose un incremento entorno al 325% para tamaños intermedios de 16 y 32 productos. Hay que tener en cuenta que cuando hay muy pocos productos, la posibilidad de que aleatoriamente se consiga una buena solución es mayor que si el catálogo es grande, y es por ello por lo que la mejora es menor para 4 y 8 productos. Aunque para 64 productos se produce un decremento al 250%, a medida que los catálogos aumentan de tamaño aparece una tendencia exponencial de mejora en la tasa de aciertos. A medida que los catálogos se hacen muy grandes, sin expresividad, la probabilidad de conseguir

la solución óptima decrece exponencialmente, y tiende a cero, mientras que con expresividad se persigue la solución óptima de forma explícita.

La *mejora relativa de utilidad* es una medida relativa de la mejora que se obtiene con las estrategias **BAner vs SAer05** para los diferentes catálogos, en relación con la máxima mejora que se consigue respecto de las estrategias **BAner vs SAner**. Podemos observar que la referencia es el catálogo de 16 productos, que es el escenario con el que se consigue la máxima utilidad. Así, la gráfica muestra un porcentaje relativo de mejora del 100 % para este catálogo. Para catálogos grandes el porcentaje relativo de mejora decrece por debajo del 10 %, siendo el porcentaje mínimo de mejora para catálogos de tamaño inferior de aproximadamente el 10 %, y un valor medio entorno al 60 %.

5.6. Análisis global de resultados

En los experimentos realizados *sin conjuntos de ruido* la expresividad del vendedor es fundamental para conseguir una mejora en las negociaciones. Sin embargo, la expresividad del comprador no comporta una ventaja en los resultados, aunque en ningún caso un comprador expresivo hace que los resultados empeoren. Por otra parte, la estimación de la viabilidad no es decisiva, porque al no existir ruido todos los productos están a una distancia similar de los requerimientos de compra, y así, el parámetro decisivo es la utilidad del vendedor. Las valoraciones de los requerimientos de compra no afectan a los resultados debido a una mayor preponderancia del valor de utilidad en la obtención de los candidatos como ofertas potenciales de venta. Este aspecto guarda relación con los factores de escala que se están aplicando a la función *prefer* para el cálculo de preferencia por las ofertas de venta, dependientes del parámetro β y de los propios valores emitidos por el comprador como valoración de un requerimiento de compra $v_{\mathcal{B}_{req}}$. En conclusión, en ausencia de ruido, las estrategias óptimas son **BAner vs SAer05** o **BAer vs SAer05** o **BAner vs SAner**. Sin embargo, siguiendo el principio de mínima revelación de información, la estrategia **BAer vs SAer05** no es la mejor opción, porque el comprador es expresivo. Y finalmente, siguiendo el principio de simplicidad, las estrategias **BAner vs SAer05** requieren mayor carga computacional que las estrategias **BAner vs SAner** porque es necesario el cálculo de la *viabilidad* de la ofertas de venta. Esto nos lleva a elegir como par de estrategias más adecuadas a **BAner vs SAner**. Sin embargo, hay que dejar claro, que esta elección final es función de la estimación del vendedor acerca las características de su catálogo en relación con los requerimientos de compra recibidos. En la sección final de este capítulo abordaremos con detalle estos aspectos.

En los experimentos realizados *con conjuntos de ruido* la expresividad del vendedor es también fundamental para conseguir una mejora en las negociaciones. Sin embargo, y a diferencia de los experimentos sin ruido, la expresividad del comprador hace que los resultados se

acerquen a los conseguidos con las estrategias de referencia **BAner vs SAner**, con lo que las estrategias **BAer vs SAerx** no son adecuadas. Con ruido, la viabilidad se hace decisiva en la mejora de las negociaciones, no siendo válidas las estrategias **BAner vs SAer** que se centran en la utilidad del vendedor. En conclusión, con presencia de ruido, las estrategias óptimas son **BAner vs SAer05**.

Analizando en su conjunto todos los experimentos podemos extraer las siguientes conclusiones:

- En todos los casos los resultados no son peores que para las estrategias **BAner vs SAner**. Esto significa que nuestro modelo y propuesta de instancia como mínimo alcanza los resultados que se obtienen si no existe expresividad.
- El uso conjunto de las estrategias **BAner vs SAer05** permite que para todos los tamaños de catálogo se consigan soluciones muy cercanas a la solución óptima. Tan sólo para tamaños de catálogo grandes, la mediana se despega muy ligeramente de esta solución óptima. Todo esto se cumple en escenarios con ruido y sin ruido.
- Las soluciones que se alcanzan con las estrategias **BAer vs SAer05** no son óptimas para el caso de presencia de ruido, y en ausencia de ruido los resultados son similares a las estrategias **BAner vs SAer05**, con lo que la utilización de expresividad en el lado del comprador requiere de una calibración compleja de la función *prefer* que será función de la caracterización del catálogo del vendedor.

En resumen, podemos afirmar que el factor expresividad reporta un beneficio significativo en los procesos de negociación, y que el elemento clave reside en la expresividad del vendedor y la receptividad del comprador. Además, nuestra aproximación expresiva al problema de la negociación bilateral supone un avance significativo en el estado del arte, en tanto en cuanto los resultados alcanzados con las estrategias **BAner vs SAer05** y **BAer vs SAer05** son significativamente mejores que los alcanzados con las estrategias de referencia **BAner vs SAner** que constituyen la base de las aproximaciones a la negociación basada en restricciones difusas utilizadas hasta ahora [Luo *et al.*, 2003b].

En la siguiente sección se aborda un aspecto fundamental pendiente de análisis, que es la robustez de la propuesta de instancia del modelo de negociación.

5.7. Robustez de la propuesta de instancia

Los experimentos realizados y analizados anteriormente nos han confirmado las bondades de una propuesta expresiva de negociación bilateral. En esta sección vamos a analizar la robustez de la propuesta de instancia del modelo, para lo que es necesario analizar la influencia de los parámetros de los que depende una negociación, con el objeto de ver cómo afecta

una modificación de los mismos. Para desarrollar este análisis, en primer lugar es necesario identificar los parámetros críticos, para ello nos vamos a basar en los experimentos realizados.

Los experimentos han demostrado que las estrategias **BAner vs SAer05** permiten alcanzar soluciones más satisfactorias en todos los casos, y que el mecanismo clave de mejora reside en la expresividad del vendedor. Dicha expresividad está centrada en la emisión de *requerimientos de relajación*, codificados como vectores con valores binarios 0 ó 1. Teniendo en cuenta que la receptividad del comprador está basada en la función *fmrc* definida como:

$$\arg \frac{\text{máx}}{\alpha_{\text{max}}^{t+1}, \rho_{\text{max}}^t} \alpha^{\lambda_{\text{Breq}}^{(t+1)k_x}} + r_{k_x} * \eta,$$

y que el valor $\alpha^{\lambda_{\text{Breq}}^{(t+1)k_x}}$ es una constante igual al valor máximo de los grados de satisfacción global potencial tras realizar relajaciones ficticias, la decisión de relajación es función únicamente del producto $r_{k_x} * \eta$. Esto significa que para un valor η prefijado cualesquiera, la decisión depende únicamente de los valores r_{k_x} definidos en el requerimiento de relajación. El valor absoluto de dichos valores es indiferente con lo que únicamente es importante su valor relativo. Esto significa que la decisión de relajación final del comprador depende de las preferencias del vendedor, teniendo en cuenta únicamente las restricciones relajables desde el punto de vista del comprador, y dicha decisión depende únicamente de valores relativos, no absolutos.

El otro aspecto clave en la emisión de requerimientos de relajación reside en la composición de dichos requerimientos. Como se vio en el capítulo 4, dicha composición está descrita en los mecanismos **S3: Generate Potential Sale-Offers** y **S4: Generate Relax Requirement** donde: se obtiene la preferencia por que cada producto del catálogo sea una oferta de venta, y se compone el requerimiento de relajación que favorece las ofertas de venta seleccionadas. De los dos mecanismos, el que introduce incertidumbre en el proceso de composición del requerimiento de relajación es **S3**. El elemento clave en este mecanismo es la función *prefer* definida como:

$$\text{prefer}(s_j) = \beta * u_j + (1 - \beta) * (1 - \text{sqr}t(\sum_{i=1}^n (\hat{\text{d}}\text{ist}(a_{ji}, \lambda_{\text{Breq}}^{t,i}) * v_{\text{boundary}(\lambda_{\text{Breq}}^{t,i})})^2/n)),$$

donde si asumimos una estrategia **BAner**, tenemos³

$$\text{prefer}(s_j) = \beta * u_j + (1 - \beta) * (1 - \text{sqr}t(\sum_{i=1}^n \hat{\text{d}}\text{ist}(a_{ji}, \lambda_{\text{Breq}}^{t,i})^2/n))$$

En esta función, se van a asumir utilidades u_j definidas entre 0 y 1, y estimaciones de distancia coherentes. Esto último significa que los parámetros utilizados en la estimación de distancia

³Al asumir esta estrategia, las valoraciones de requerimientos de compra desaparecen.

son definidos correctamente por el vendedor. Según esto, el único parámetro arbitrario que influye en el resultado de la función *prefer* es β . Supongamos ahora que tenemos dos productos s_a y s_b para los que se calculan los valores correspondientes de *prefer*, de manera que tenemos: $prefer(s_a) = \beta * u_a + (1 - \beta) * \hat{sim}(s_a)$ y $prefer(s_b) = \beta * u_b + (1 - \beta) * \hat{sim}(s_b)$. Si hacemos iguales los dos valores de preferencias tendremos: $\beta * (u_a - u_b) = (\beta - 1) * (\hat{sim}(s_a) - \hat{sim}(s_b))$. Esta ecuación permite ver claramente que el parámetro β es un factor de escala que relaciona los valores de utilidad con la estimaciones de similaridad. Aún asumiendo, al igual que con los valores de utilidad, una normalización de los valores de similaridad entre 0 y 1, la asignación de un valor al parámetro β es clave para que el mecanismo funcione correctamente. Los experimentos han corroborado esta afirmación, de manera que para las estrategias **BAner vs BAer1** los resultados no persiguen la maximización de la utilidad, y para las estrategias **BAner vs SAer1**, la no receptividad del vendedor hace que el único criterio sea la maximización de la utilidad. En el primer caso los resultados nunca son buenos, mientras que en el segundo caso los resultados sólo son buenos para el escenario con ausencia de ruido. Estos hechos sugieren que la asignación $\beta = 0,5$ puede ser operativa en un rango mayor de escenarios, como hemos podido comprobar a tenor de los resultados obtenidos con las estrategias **BAner vs SAer05**. Sin embargo, la elección más adecuada del parámetro β dependerá fundamentalmente de las distribuciones conjuntas existentes de los valores de utilidad y de similaridad. Por ejemplo, si el vendedor estima que el catálogo de productos al completo presenta un margen de similaridad muy estrecho, mientras que el de utilidad es más amplio, el parámetro β debe ser pequeño para destacar las variaciones de similaridad frente a las de utilidad. Este razonamiento sería extensible a otras configuraciones más complejas de catálogo. La implementación de este análisis sin embargo constituye en sí misma una nueva propuesta de instancia, que escapa de los objetivos de esta tesis.

En la tabla 5.12 presentamos los resultados que se obtienen cuando el parámetro β varía

Tabla 5.12. Variación de la Mediana de Utilidad y Tasa de Aciertos con β para 16 productos

BAner vs SAer05				
β	Tasa de éxito	Intervalos de confianza		Mediana
0	0.18	0.1382	0.2282	0.5717
0.1	0.52	0.4618	0.5778	0.7
0.2	0.57	0.5119	0.6268	0.7
0.3	0.61	0.5523	0.6655	0.7
0.4	0.64	0.5828	0.6944	0.7
0.5	0.69	0.6343	0.7419	0.7
0.6	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
0.7	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
0.8	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
0.9	0.15	0.1116	0.1955	0.4867
1	0.15	0.1116	0.1955	0.4867

en incrementos de 0.1 entre 0 y 1 para catálogos de 16 productos. Estos resultados se calculan utilizando las estrategias **BAner vs SAer05** bajo las condiciones de ruido utilizadas en los experimentos anteriores. Si analizamos dichas condiciones, y mediante unos cálculos muy sencillos, se observan los siguientes rangos de valores para las similitudes y las utilidades:

- Similitudes entre 0.83 y 1 aproximadamente para el caso de productos del conjunto solución; y entre 0.55 y 0.77 para el caso de productos del conjunto de ruido.
- Utilidades entre 0 y 0.7 para el caso de productos del conjunto solución; y entre 0.9 y 1 para el caso de productos del conjunto de ruido.

Estos rangos nos permiten obtener las diferencias de similaridad máximas y mínimas que se pueden medir entre productos de los dos conjuntos: 0.45 y 0.06. Igualmente, las diferencias de utilidad máxima y mínima serán: 1 y 0.2. Si en la ecuación $\beta * (u_a - u_b) = (\beta - 1) * (\hat{sim}(s_a) - \hat{sim}(s_b))$ consideramos como producto del conjunto solución s_a y como producto del conjunto de ruido s_b , para que la función *prefer* discrimine siempre correctamente debe satisfacer la inecuación $\beta * (u_a - u_b) > (\beta - 1) * (\hat{sim}(s_a) - \hat{sim}(s_b))$. La solución ideal como ya sabemos es conseguir una utilidad $u_a = 0,7$. En el peor caso tendremos: $\beta * (1 - 0,7) < (1 - \beta) * (0,83 - 0,77)$, de manera que $\beta / (1 - \beta) < 0,3$. Si despejamos β de esta inecuación tenemos que se satisface para $\beta \leq 0,2$. Por último, si en lugar de fijar como solución ideal $u_a = 0,7$, relajamos el requisito y fijamos $u_a = 0,5$, la inecuación se convierte en $\beta / (1 - \beta) < 0,5$, que se satisface para $\beta \leq 0,3$. Estas últimas operaciones reflejan el hecho de que un valor de β demasiado grande desvía la atención del agente vendedor hacia el conjunto de ruido, mientras que valores más bajos permiten discriminar de forma eficiente productos solución de utilidad alta frente a productos de ruido también con utilidad alta. Es importante aclarar que los valores de β calculados no tienen correspondencia exacta con los valores que se observan experimentalmente, pero esto es debido a que las distribuciones reales en los experimentos no son ideales.

La principal conclusión que podemos extraer del análisis realizado es que el parámetro determinante en el proceso de negociación es β , y que dicho parámetro debe elegirse en función de las distribuciones de utilidad y similaridad observadas en el catálogo de productos.

5.8. Discusión y consideraciones finales

La aportación de este capítulo es doble: por un lado validamos el modelo de negociación propuesto, y comprobamos que efectivamente es operativo, y por otro mostramos experimentalmente que cuando se hace un uso adecuado de estrategias expresivas, las soluciones que se alcanzan son más satisfactorias que si los agentes no hacen uso de dichas estrategias. Al validar la operatividad del modelo, constatamos que el modelo propuesto cumple con los requisitos preestablecidos.

El proceso de realización de experimentos comienza con la extracción de los parámetros de experimentación más relevantes, y en función de éstos, se desarrolla un análisis de validez de estrategias. El análisis de validez de estrategias se divide en dos partes: un análisis individual, y un análisis conjunto que enfrenta las posibles estrategias de comprador y vendedor. En base a los pares de estrategias válidas se realizan los diferentes experimentos que han constatado nuestra hipótesis inicial de trabajo fundamentada en la utilización de estrategias expresivas. Aunque teóricamente, y conforme a nuestra propuesta de instancia, la utilización de valoraciones de requerimientos de compra refuerza la efectividad de la función *prefer* del agente vendedor en la selección de candidatos como ofertas de venta, se ha comprobado experimentalmente que incluso en escenarios relativamente simples su utilización distrae negativamente al vendedor. Se ha comprobado cómo los pares de estrategias **BAner vs SAerx** son los que ofrecen una mejor respuesta, y que el parámetro β que pondera la importancia de la similaridad y la utilidad en el proceso de generación de requerimientos de relajación debe elegirse en función de las distribuciones de utilidad de similaridad observadas en el catálogo. Por último, es importante destacar que teniendo en cuenta que nunca se consiguen soluciones peores que con las estrategias **BAner vs SAner**, siempre será recomendable la utilización del par **BAner vs SAerx**, independientemente de que se esté aplicando un valor β más o menos depurado. Es preferible incluso la utilización del par de estrategias **BAer vs SAerx**, aunque como hemos visto, la probabilidad de conseguir soluciones óptimas en este caso es menor que con las estrategias **BAner vs SAer**.

Como hemos afirmado anteriormente, nuestra aproximación expresiva al problema de la negociación bilateral supone un avance significativo en el estado del arte, en tanto en cuanto los resultados alcanzados con las estrategias **BAner vs SAer05** y **BAer vs SAer05** son significativamente mejores que los alcanzados con las estrategias de referencia **BAner vs SAner** que constituyen la base de las aproximaciones a la negociación basada en restricciones difusas utilizadas hasta ahora.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

Recordemos en primer lugar que esta tesis comenzó como un intento por responder a la siguiente cuestión:

¿Cómo podemos construir agentes inteligentes capaces de negociar en entornos de comercio electrónico competitivos y dinámicos de forma efectiva, siendo requisito fundamental la minimización de la revelación de información privada?

La hipótesis sobre la que se ha fundamentado todo el trabajo, es que mediante un modelo de interacción suficientemente expresivo que permitiese la argumentación de propuestas mediante la declaración parcial de preferencias, los agentes podrían llegar a acuerdos de mayor calidad, sin que se viese mermado el requisito de minimización de pérdida de privacidad. En este esfuerzo por construir agentes inteligentes negociadores bajo esta hipótesis, nos planteábamos las siguientes cuestiones:

¿Qué modelo de preferencias es el apropiado para construir diálogos expresivos que permitan la argumentación mediante preferencias?

¿Cuáles son las primitivas de comunicación necesarias, y cómo deben articularse dichas primitivas?

¿Qué mecanismos de decisión fundamentales hay que definir, y cómo se pueden estructurar para que sean sencillas las implantaciones de nuevos algoritmos que faculten las tomas de decisiones?

¿Es posible definir un modelo general que permita contrastar la utilización de diferentes estrategias de negociación, fundamentalmente diferenciadas en cuanto a la capacidad expresiva de compradores y vendedores?

Con el objeto de responder a todas estas preguntas, en el capítulo 2 se ha realizado un análisis exhaustivo de las diferentes aproximaciones a la negociación bilateral automática. El análisis se ha estructurado en tres bloques: aproximaciones basadas en teoría de juegos,

aproximaciones basadas en heurísticas, y aproximaciones basadas en argumentación. Este análisis nos lleva a proponer una solución intermedia basada en aproximaciones heurísticas y de argumentación. Mediante esta solución híbrida se han compensado las deficiencias que de forma independiente presentan ambas aproximaciones, y se han aprovechado de manera efectiva sus características más destacadas.

Partiendo de esta aproximación híbrida, se hacía necesaria la especificación de un marco concreto de implementación de dicha aproximación. Tomando como referente el ámbito del comercio electrónico en escenarios competitivos, y teniendo en cuenta que el modelado de preferencias es una componente fundamental en cualquier sistema de negociación automática, optamos por basar nuestro modelo de negociación en la utilización de restricciones difusas. Tras un análisis de las diferentes propuestas previas que hacen uso de restricciones difusas en el ámbito del comercio electrónico, llegamos a la conclusión de que la mayor parte de ellas hacen uso de una negociación de tipo posicional, lo que significa básicamente que no se propagan restricciones. Como explicamos en ese mismo capítulo, la negociación posicional no permite restringir el espacio de negociación de forma eficiente, de manera que la negociación se convierte en un proceso iterativo que no se puede acotar temporalmente en la mayor parte de las ocasiones. La única aproximación que hace uso de la propagación de restricciones, no hace uso de argumentación basada en preferencias, de manera que las soluciones que se alcanzan son completamente aleatorias, y dependientes fundamentalmente de las necesidades del comprador. Ninguna de las aproximaciones además define un modelo genérico que de cabida a diferentes algoritmos que implementen variantes de los mecanismos de decisión de vendedores y compradores, y ninguna aborda el problema de la formalización de los mecanismos de comunicación entre los agentes.

Nuestra propuesta se ha basado en la construcción de un modelo de negociación basado en restricciones difusas. En el capítulo 3 se ha abordado la definición de este modelo, que opta de manera natural y práctica en primer lugar por la definición de preferencias mediante un FCSP en el lado del comprador, y en el lado del vendedor por la especificación de un catálogo de productos. Sin embargo, el conocimiento del dominio de los agentes compradores y vendedores va más allá de la declaración del FCSP y del catálogo. Así, comprador y vendedor vienen definidos también por un perfil negociador, fundamentado en una medida de la expresividad y de la receptividad con la que queremos configurar el agente, y en una formalización de las creencias acerca del comportamiento estratégico del oponente. Todos estos aspectos constituyen la respuesta a la primera cuestión parcial planteada al principio de este capítulo y del capítulo de introducción.

La respuesta a la segunda cuestión viene dada por la utilización del marco de los juegos de diálogo formales, adoptado del campo de la teoría de la argumentación. Por primera vez, se ha hecho uso de dicho marco para formalizar un modelo de diálogo de negociación bilateral

basado en la propagación de restricciones difusas. El modelo de diálogo aborda todas las fases necesarias en cualquier encuentro, desde la apertura y cierre, hasta la propia negociación y confirmación de transacciones.

La respuesta a la tercera cuestión toma la forma de una arquitectura genérica de mecanismos de decisión. Los mecanismos de decisión de comprador y vendedor quedan perfectamente especificados a efectos de entradas y salidas, y no se prevé la incorporación de nuevos mecanismos. La flexibilidad de la arquitectura reside en la declaración de marcos estratégicos ubicados dentro de los mecanismos. Un marco estratégico define una o más estrategias, más o menos genéricas, que en último lugar se especifican de forma abstracta como una función concreta con unas determinadas entradas y salidas.

El modelo de diálogo y los mecanismos de decisión se enlazan a través de lo que se define como semántica operacional. La semántica operacional define las reglas de transición que articulan la activación de los mecanismos de decisión tras la recepción de locuciones, y la emisión de locuciones tras la ejecución de mecanismos de decisión. Se demuestra finalmente que agentes equipados con la funcionalidad declarada en los mecanismos de decisión, bajo el modelo de diálogo y las locuciones especificadas, y siguiendo las reglas de transición, son capaces de entablar diálogos de negociación de compra automatizados.

La respuesta a la cuarta cuestión es una síntesis de las tres cuestiones iniciales. La capacidad expresiva de los agentes viene determinada por la definición de un modelo de diálogo con la capacidad de incorporar argumentación, requisito que se cumple con el modelo de diálogo propuesto. Esta capacidad expresiva está modulada por los perfiles negociadores que se especifican en los conocimientos del dominio de los agentes. Mediante la asignación de diferentes perfiles será posible la contrastación de estrategias de forma experimental. Sin embargo, para poder responder afirmativamente a la cuestión, y por extensión, a las tres primeras cuestiones, se hace necesaria la implementación práctica del modelo. Esto pasa en primer lugar por la especificación de una propuesta de instancia del modelo, consistente en la especificación detallada de todos los mecanismos de decisión para los que se han declarado marcos estratégicos.

La propuesta de instancia se desarrolla en el capítulo 4. Hemos probado cómo en base a nuestro marco de negociación los agentes llegan a un acuerdo si éste existe, y además, en el caso de que no exista acuerdo posible, el diálogo finaliza. Los mecanismos de argumentación implementados permiten que no solo prevalezcan los criterios de satisfacción local, sino que se tenga en cuenta también el criterio de satisfacción global. Demostramos que la eficiencia en la comunicación es predecible, y que el principio de minimización de revelación de información entra en conflicto con la pareto-optimalidad de las soluciones. Nuestra propuesta tiene como objetivo incrementar la probabilidad de consecución de soluciones pareto-óptimas, sin

renunciar a la minimización de revelación de información privada. Nuestra propuesta se ha basado en la utilización de valoraciones de requerimientos de compra y de requerimientos de relajación, es decir, en la utilización de argumentación basada en preferencias.

Finalmente, en el capítulo 5, se aborda el análisis experimental del marco de negociación desarrollado en los capítulos 3 y 4. Tras la extracción de los parámetros de experimentación, se ha realizado un análisis de la validez y compatibilidad de estrategias de los agentes compradores y vendedores. Una vez depurada la compatibilidad y validez de estrategias, se realizan experimentos con el objeto de comprobar la validez de nuestra hipótesis inicial de trabajo. Dicha hipótesis se ve confirmada tras la realización de los experimentos. Según la propuesta de instancia del modelo, la solución más adecuada pasa por dotar al vendedor de un perfil expresivo, y al comprador de un perfil receptivo pero no expresivo, aunque no se descarta la posibilidad de utilizar perfiles expresivos en ambos lados. En cualquiera de los casos, ninguna combinación de estrategias genera resultados peores que aplicando una combinación no expresiva en ambos agentes. Por último, un análisis de robustez de la propuesta de instancia nos lleva a concluir que el punto crítico de la propuesta se ubica en el mecanismo de generación de requerimientos de relajación, en concreto en el proceso de selección de productos como ofertas de venta potenciales. La clave de la efectividad del algoritmo propuesto radica en la ponderación correcta de la utilidad que genera una venta, y la viabilidad de dicha venta. Se concluye tras el análisis experimental, y un simple desarrollo teórico, que la ponderación más efectiva es función de la distribución de utilidades y de la distribución de las características de los productos.

6.2. Contribuciones de la tesis

A continuación se enumeran a modo de resumen las contribuciones de esta tesis, estructuradas en cuatro bloques generales: Modelo de negociación, Instancia del modelo de negociación, Análisis del marco de negociación, y Desarrollo de plataforma de negociación.

Modelo de negociación

- Se propone un modelo de negociación automática bilateral multiatributo basado en restricciones difusas, aplicable en el ámbito del comercio electrónico. El modelo es el primero descrito en la literatura que incorpora conceptos de las aproximaciones heurísticas y de argumentación a la negociación automática bilateral de forma simultánea.
- Nuestra aproximación es la primera en hacer uso de un marco de juegos de diálogos formales para definir un modelo de diálogo de negociación basado en restricciones difusas. Mediante esta formalización, el modelo se ha estructurado conforme a un modelo de diálogo, una arquitectura de mecanismos de decisión, y una semántica

operacional que enlaza los mecanismos con las locuciones del modelo de diálogo. Con esta estructura, la sintaxis de la locuciones, los mecanismos de decisión que engloban los marcos estratégicos, y las reglas que enlazan las locuciones y los mecanismos, están desacoplados. De esta forma ha sido más sencilla la especificación de un modelo general de negociación sobre el que probar diferentes estrategias de negociación.

- Nuestra conceptualización del agente vendedor y comprador incorpora la noción de perfil de negociación. Cada perfil negociador está compuesto por un perfil expresivo y otro receptivo. Dichos perfiles están desacoplados, de manera que cualquier combinación es posible en principio. Los perfiles enlazan con los mecanismos de decisión, y son los que permiten modelar las actitudes de los agentes durante las negociaciones. Hasta ahora, ningún modelo previo ha parametrizado los perfiles negociadores de los agentes, formando parte de los modelos de requerimientos. Gracias a la introducción de los perfiles negociadores en el modelo, hemos sido capaces de realizar un análisis exhaustivo de los resultados que se consiguen combinando diferentes estrategias de negociación basadas en actitudes.
- En la especificación de los mecanismos de decisión del modelo, se incorpora la noción de marco estratégico. Mediante este concepto, el mecanismo se especifica en detalle hasta un cierto nivel. Se ha intentado que el nivel de detalle permita que el mecanismo sea flexible, con el objeto de permitir la implementación de diferentes variantes de estrategias y algoritmos. De alguna manera el marco estratégico permite la especificación de las directrices estratégicas generales del mecanismo, facilitando la instanciación posterior del modelo mediante la instanciación de tales mecanismos. Hasta lo que conocemos, es la primera vez que se utiliza esta formalización en el caso de la especificación de modelos de negociación automática.

Instancia del modelo de negociación

- Proponemos una instancia del modelo general de negociación con la que analizar de forma práctica la importancia de la expresividad en las negociaciones bilaterales. En este sentido, nuestra propuesta es la primera que incluye las nociones de valoración de requerimiento de compra, y de requerimiento de relajación.
- La propuesta de instancia incluye la especificación detallada de todos los mecanismos de decisión que componen el modelo general. Todos los algoritmos propuestos que implementan los mecanismos son originales.

Análisis del marco de negociación

- Demostramos de forma teórica que el marco de negociación propuesto cumple propiedades fundamentales: garantía de éxito y de finalización, distribución y comunicación eficiente, simetría, estabilidad, y flexibilidad.

- Se analizan en detalle las propiedades de distribución y comunicación, lo que nos permite concluir que la eficiencia en la comunicación es función de los operadores utilizados por el comprador en el cálculo de la satisfacción, de la predisposición a la revelación de información privada, y de sus preferencias.
- Se analiza en detalle el cumplimiento de la propiedad de pareto-optimalidad de la propuesta de instancia, y se establecen las condiciones que deben satisfacer los requerimientos de compra para satisfacer de forma estricta dicha propiedad. Se llega a la conclusión además de que para garantizar la consecución de soluciones pareto-óptimas se debe violar el principio de minimización de revelación de información.
- Se demuestra mediante ejemplos cómo mediante la valoración de requerimientos de compra y de requerimientos de relajación, se puede mantener el principio de minimización de revelación de información privada y a la vez incrementar la probabilidad de conseguir soluciones pareto-óptimas.
- Se han analizado a nivel de agente las diferentes combinaciones de perfiles negociadores con el objeto de prever su validez. Dadas las combinaciones válidas de perfiles a nivel de agente, se han analizado las estrategias conjuntas, que viene definidas por la aplicación de diferentes perfiles negociadores. Este análisis concluye con la especificación de 6 pares de estrategias sobre las que ha sido necesaria la experimentación. Estos análisis son los primeros que se recogen en la literatura sobre la negociación automática bilateral.
- Tras un análisis experimental exhaustivo se confirma nuestra hipótesis de trabajo, según la cual, una aproximación expresiva en los procesos de negociación permite que se alcancen soluciones más satisfactorias.

Desarrollo de plataforma de negociación

- Se ha desarrollado una plataforma de negociación (Anegsys) basada en Matlab y Jade que implementa el modelo general de negociación propuesto, y que permite una instanciación eficiente. De forma específica se ha implementado la propuesta de instancia del modelo.

6.3. Investigación futura

Tomando como referencia la propuesta de instancia del modelo de negociación descrita en la tesis, son varios los trabajos que se pueden desarrollar bajo líneas de investigación futuras.

En primer lugar vamos a abordar trabajos inmediatos que se pueden llevar a cabo, en base a los mecanismos fundamentales descritos en el modelo: **B2: Generate Purchase Requirement**, **B3: Generate Purchase Requirement Valuation**, **S3: Generate Potential Sale-Offers**, y **S4: Generate Relax Requirement**.

B2: Generate Purchase Requirement

En la propuesta se ha definido un algoritmo de modificación de requerimientos de compra basado en la minimización de pérdida de satisfacción global del comprador. Sin embargo, sería interesante comprobar cómo responde el sistema ante un esquema de concesión del comprador más relajado. Esto significaría que el comprador estaría dispuesto a rebajar su grado de satisfacción global potencial tras una petición de relajación en base a una estrategia de concesión general para un valor ε arbitrario.

B3: Generate Purchase Requirement Valuation

En este caso sería interesante profundizar qué escalado es preferible aplicar en la valoración de los requerimientos de compra. Hay que aclarar sin embargo que este mecanismo guarda una relación directa con los mecanismos **S3** y **S4** del vendedor, de manera que este análisis pasa por contrastar la propuesta de valoración de requerimientos con las propuestas para dichos mecanismos.

S3: Generate Potential Sale-Offers

El mecanismo de generación de ofertas de venta potenciales es el más sofisticado de todos los implementados. De él depende que los requerimientos de relajación sean adecuados. Son tres los aspectos que se pueden tratar: la definición de diferentes umbrales de preferencia para la obtención de ofertas de venta potenciales, la utilización de diferentes funciones de similaridad, y la utilización de diferentes estimadores de valoración del comprador.

S4: Generate Relax Requirement

En la generación de requerimientos de relajación se marcan como restricciones relajables aquellas que no son satisfechas por ninguno de los productos seleccionados en **S3**. Sería interesante ver cómo responde el sistema ante requerimientos de relajación más sofisticados, donde los mapas de distribución de satisfacción de restricciones son tratados de una forma más elaborada, y los requerimientos de relajación para una restricción concreta vienen definidos por un dominio continuo en lugar de los valores 1 y 0.

Además de estos trabajos específicos, podemos distinguir líneas de actuación más generales que aborden la interacción de varios mecanismos. En este sentido en el análisis de robustez realizado en el capítulo 5 hemos constatado la importancia del análisis que el vendedor hace de su catálogo a la hora de fijar los parámetros de negociación de los diferentes mecanismos. El principal problema lo hemos encontrado en la ponderación de la utilidad de una oferta de venta y de la viabilidad de dicha oferta. Hemos razonado además, que una ponderación correcta debe ser función de la distribución de utilidades y de los valores de los atributos de los productos. Esto nos lleva a proponer como línea de investigación, la posibilidad de utilizar técnicas de clustering o de agrupación sobre el catálogo, con una doble intención: realizar

filtrados previos de productos no viables, y agrupar productos considerados viables de manera que sea sencilla la ponderación de los valores de utilidad y de viabilidad. Estos aspectos pueden repercutir en una mejora en las negociaciones, y en algo también muy importante, que es en una mejora en los tiempos de negociación.

Nos gustaría por último también, apuntar a una línea de investigación algo más alejada de las propuestas anteriores, que es la extensión del modelo de negociación bilateral basado en restricciones difusas al ámbito de la negociación multilateral. Sin embargo, en este caso, intuimos que esta línea pasa por abordar en primer lugar el problema de la negociación bilateral donde los dos agentes negociadores tienen roles similares y modelan sus restricciones mediante restricciones difusas. Este es un problema que todavía no se ha tratado en el caso de negociaciones donde se propagan restricciones. La aplicación de la noción de expresividad en el ámbito de una negociación multilateral es otro aspecto que tampoco se ha tratado hasta ahora.

Bibliografía

- [Amgoud *et al.*, 2000a] Amgoud, L., Maudet, N., y Parsons, S. (2000a). Modelling dialogues using argumentation. In Durfee, E., editor, *Proceedings of the 4th International Conference on Multi-agent Systems (ICMAS-2000)*, pages 31–38, Boston, USA.
- [Amgoud y Parsons, 2001] Amgoud, L. y Parsons, S. (2001). Agent dialogues with conflicting preferences. In *Proceedings of the 8th International Workshop on Agent Theories Architectures and Languages (ATAL-2001)*, pages 190–205, Seattle, USA.
- [Amgoud *et al.*, 2000b] Amgoud, L., Parsons, S., y Maudet, N. (2000b). Arguments, dialogue and negotiation. In *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000)*, pages 338–342, Amsterdam, Netherlands.
- [Austin, 1962] Austin, J. L. (1962). *How To Do Things with Words*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [Bailay y Bakos, 1997] Bailay, J. P. y Bakos, Y. (1997). An exploratory study of the emerging role of electronic intermediaries. *International Journal of Electronic Commerce*, 1(3):7–20.
- [Barbuceanu y Lo, 2000] Barbuceanu, M. y Lo, W. (2000). A multi-attribute utility theoretic negotiation architecture for electronic commerce. In *Proceedings of the fourth international conference on Autonomous agents (AGENTS-2000)*, pages 239–246, New York, NY, USA. ACM Press.
- [Beer *et al.*, 1999] Beer, M., D’Inverno, M., Luck, M., Jennings, N., Preist, C., y Schroeder, M. (1999). Negotiation in multi-agent systems. *Knowledge Engineering Review*, 14(3):285–290.
- [Bellifemine *et al.*, 2006a] Bellifemine, F., Caire, G., Trucco, T., y Rimassa, G. (2006a). *Jade Programmer’s Guide*. JADE Board, TILAB, disponible en <http://jade.tilab.com> (20/06/2006), jade 3.4 edition.
- [Bellifemine *et al.*, 2006b] Bellifemine, F., Caire, G., Trucco, T., Rimassa, G., y Mungenast, R. (2006b). *Jade Administrator’s Guide*. JADE Board, TILAB, disponible en <http://jade.tilab.com> (20/06/2006), jade 3.4 edition.

- [Bellman y Zadeh, 1970] Bellman, R. E. y Zadeh, L. A. (1970). Decision making in a fuzzy environment. *Management Science*, P17-B(4):141–164.
- [Bichler, 2000] Bichler, M. (2000). A roadmap to auction-based negotiation protocols for electronic commerce. In *Proc. of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 6018–6027, Hawaii, USA. IEEE Computer Society.
- [Binmore y Vulkan, 1999] Binmore, K. y Vulkan, N. (1999). Applying game theory to automated negotiation. *NETNOMICS*, 1(1):1–9.
- [Cabanillas y Caire, 2004] Cabanillas, D. y Caire, G. (2004). *Application-defined content languages and ontologies*. JADE Board, TILAB, disponible en <http://jade.tilab.com> (20/06/2006), jade 3.4 edition.
- [Castro-Sanchez *et al.*, 2004] Castro-Sanchez, J. J., Jennings, N. R., Luo, X., y Shadbolt, N. R. (2004). Acquiring domain knowledge for negotiating agents: a case of study. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(1):3–31.
- [Chavez y Maes, 1996] Chavez, A. y Maes, P. (1996). Kasbah: An agent marketplace for buying and selling goods. In *Proc. of the 1st International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-1996)*, pages 75–90, London, UK.
- [Cohen, 2002] Cohen, S. P. (2002). *Negotiating Skills for Managers*. McGraw-Hill.
- [Coleman, 1990] Coleman, J. S. (1990). *Foundations of Social Theory*. Harvard University Press, Cambridge MA, USA.
- [Collins *et al.*, 1998] Collins, J., Tsvetovatyy, M., Mobasher, B., y Gini, M. (1998). Magnet: a multi-agent contracting system for plan execution. In *Proc. of the Workshop on Artificial Intelligence and Manufacturing: State of the Art and State of Practice (SIGMAN-1998)*, pages 63–68, Albuquerque, USA.
- [Dash *et al.*, 2003] Dash, R. K., Parkes, D. C., y Jennings, N. R. (2003). Computational mechanism design: A call to arms. *IEEE Intelligent Systems*, 18(6):40–47.
- [Dignum *et al.*, 2000] Dignum, F., Dunin-Keplicz, B., y Berbrugge, R. (2000). Agent theory for team formation by dialogue. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL-2000)*, volume 2000 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 150–166, Berlin, Germany. Springer Verlag.
- [Dubois *et al.*, 1994] Dubois, D., Fargier, H., y Prade, H. (1994). Propagation and satisfaction of flexible constraints. *Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing*, pages 166–187.

- [Dubois *et al.*, 1996] Dubois, D., Fargier, H., y Prade, H. (1996). Possibility theory in constraint satisfaction problems: Handling priority, preference and uncertainty. *Applied Intelligence*, 6(4):287–309.
- [Dubois y Prade, 1999] Dubois, D. y Prade, H. (1999). Qualitative possibility theory and its applications to constraint satisfaction and decision under uncertainty. *International Journal of Intelligent Systems*, 14:45–61.
- [Esteva *et al.*, 2001] Esteva, M., Rodríguez, J. A., Sierra, C., García, P., y Arcos, J. L. (2001). On the formal specifications of electronic institutions. In *Agent Mediated Electronic Commerce (The European AgentLink Perspective)*, volume 1991 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 126–147, Berlin, Germany.
- [Faratin, 2000] Faratin, P. (2000). *Automated Service Negotiation Between Autonomous Computational Agents*. PhD thesis, University of London, Queen Mary and Westfield College, Department of Electronic Engineering.
- [Faratin *et al.*, 2000] Faratin, P., Jennings, N. R., Buckle, P., y Sierra, C. (2000). Automated negotiation for provisioning virtual private networks using fipa-compliant agents. In *Proceedings of 5th International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Systems (PAAM-2000)*, pages 185–202, Manchester, UK.
- [Faratin *et al.*, 1998] Faratin, P., Sierra, C., y Jennings, N. R. (1998). Negotiation decision functions for autonomous agents. *Robotics and Autonomous Systems*, 24(3-4):159–182.
- [Faratin *et al.*, 2002] Faratin, P., Sierra, C., y Jennings, N. R. (2002). Using similarity criteria to make issue trade-offs in automated negotiations. *Artificial Intelligence*, 142(2):205–237.
- [Fatima *et al.*, 2001] Fatima, S., Wooldridge, M., y Jennings, N. R. (2001). Optimal negotiation strategies for agents with incomplete information. In *Intelligent Agent series VIII: Proceedings of the 8th International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL-2001)*, volume 2333 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 53–68. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- [Fatima *et al.*, 2003] Fatima, S., Wooldridge, M., y Jennings, N. R. (2003). Optimal agendas for multi-issue negotiation. In *Proceedings of the second international joint conference on autonomous agents and multiagent systems (AAMAS-2003)*, pages 129–133, Melbourne, Australia.
- [Fatima *et al.*, 2004] Fatima, S., Wooldridge, M. J., y Jennings, N. R. (2004). An agenda based framework for multi-issues negotiation. *Artificial Intelligent Journal*, 152(1):1–45.

- [Fatima *et al.*, 2005] Fatima, S., Wooldridge, M. J., y Jennings, N. R. (2005). Bargaining with incomplete information. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 44(3):207–232.
- [Fatima *et al.*, 2002] Fatima, S. S., Wooldridge, M., y Jennings, N. R. (2002). The influence of information on negotiation equilibrium. In *Proceedings of 4th International Workshop on Agent-Mediated Electronic Commerce (AMEC-2002)*, pages 180–193, Bologna, Italy.
- [FIPA, 2002a] FIPA (2002a). *Communicative Act Library Specification*. Disponible en <http://www.fipa.org> (20/06/2006).
- [FIPA, 2002b] FIPA (2002b). *FIPA ACL Message Structure Specification*. Disponible en <http://www.fipa.org> (20/06/2006).
- [FIPA, 2002c] FIPA (2002c). *FIPA SL Content Language Specification*. Disponible en <http://www.fipa.org> (20/06/2006).
- [Fisher y Ury, 1981] Fisher, F. y Ury, W. (1981). *Getting to yes: Negotiating an agreement without giving in*. Random House Business Books.
- [Guttman y Maes, 1998] Guttman, R. H. y Maes, P. (1998). Cooperative vs. competitive multi-agent negotiations in retail electronic commerce. In Klush, M. y Weiss, G., editors, *Cooperative Information Agents II*, volume 1435 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 135–147. Springer.
- [Guttman *et al.*, 1998] Guttman, R. H., Moukas, A. G., y Maes, P. (1998). Agent-mediated electronic commerce: A survey. *The Knowledge Engineering Review*, 13(2):147–159.
- [Hamblin, 1970] Hamblin, C. L. (1970). *Fallacies*. Methuen, London, UK.
- [Hauser y Wernerfelt, 1990] Hauser, J. R. y Wernerfelt, B. (1990). An evaluation cost model of considerations sets. *Journal of Consumer Research*, 16:393–408.
- [He *et al.*, 2003] He, M., Jennings, N. R., y Leung, H.-F. (2003). On agent-mediated electronic commerce. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 15(4):985–1003.
- [Hiltrop y Udall, 1995] Hiltrop, J. M. y Udall, S. (1995). *The Essence of Negotiation*. Prentice Hall.
- [Hindriks *et al.*, 1998] Hindriks, K. V., de Boer, F. S., van der Hoek, W., y Meyer, J. J. C. (1998). Formal semantics for an abstract agent programming language. In *Intelligent Agents IV*, volume 1365 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 215–229, Berlin, Germany. Springer Verlag.

- [Hitchcock *et al.*, 2001] Hitchcock, D., McBurney, P., y Parsons, S. (2001). A framework for deliberation dialogues. In Hansen, H. V., editor, *Proceedings of the 4th Conference Ontario Society Study of Argumentation (OSSA-2001)*, Windsor, Canada.
- [Jade, 2006] Jade (2006). *Java Agent DEvelopment Framework*. Disponible en <http://jade.tilab.com> (20/06/2006).
- [Jennings, 2001] Jennings, N. R. (2001). An agent-based approach for building complex software systems. *Communications of the ACM*, 44(4):35–41.
- [Jennings *et al.*, 1996] Jennings, N. R., Faratin, P., Johnson, M. J., Norman, T. J., O'Brien, P., y Wiegand, M. E. (1996). Agent-based business process management. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 5(2-3):105–130.
- [Jennings *et al.*, 2001] Jennings, N. R., Faratin, P., Lomuscio, A. R., Parsons, S., Sierra, C., y Wooldridge, M. (2001). Automated negotiation: Prospects, methods and challenges. *International Journal of Group Decision and Negotiation*, 10(2):199–215.
- [Jennings *et al.*, 1998] Jennings, N. R., Parsons, S., Noriega, P., y Sierra, C. (1998). On argumentation-based negotiation. In *Proceedings of International Workshop on Multi-Agent Systems (IWMAS-1998)*, pages 1–7, Dedham, USA.
- [Jennings *et al.*, 2000] Jennings, N. R., Parsons, S., Sierra, C., y Faratin, P. (2000). Automated negotiation. In *Proc. 5th Int. Conf. on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Systems (PAAM-2000)*, pages 23–30, Manchester, UK.
- [Keeny y Raiffa, 1976] Keeny, R. y Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley and Sons.
- [Klir y Yuan, 1995] Klir, G. J. y Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice-Hall.
- [Kowalczyk, 2000] Kowalczyk, R. (2000). On negotiation as a distributed fuzzy constraint satisfaction problem. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA-2000)*, pages 631–637, London, UK.
- [Kowalczyk, 2002] Kowalczyk, R. (2002). Fuzzy e-negotiation agents. *Soft Computing*, 6(5):337–347.
- [Kowalczyk y Bui, 2000a] Kowalczyk, R. y Bui, V. (2000a). On constraint-based reasoning in e-negotiation agents. In Dignum, F. y Cortés, U., editors, *Agent-Mediated E-Commerce III (AMEC-2000)*, volume 2003 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 31–46. Springer.

- [Kowalczyk y Bui, 2000b] Kowalczyk, R. y Bui, V. (2000b). On fuzzy e-negotiation agents: Autonomous negotiation with incomplete and imprecise information. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA-2000)*, pages 1034–1038, London, UK.
- [Kowalczyk y Bui, 2002] Kowalczyk, R. y Bui, V. (2002). Fenas: a fuzzy e-negotiation agents system. In *Proceedings of the IEEE/IAFE/INFORMS 2000 Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering (CIFEr)*, pages 26–29, New York, USA.
- [Kraus, 2001] Kraus, S. (2001). *Strategic Negotiation in Multiagent Environments*. Mit Press.
- [Kraus *et al.*, 1998] Kraus, S., Sycara, K., y Evenchick, A. (1998). Reaching agreements through argumentation: A logical model and implementation. *Artificial Intelligence*, 1-2:1–69.
- [Kurbel y Loutchko, 2003] Kurbel, K. y Loutchko, I. (2003). Towards multi-agent electronic marketplaces: What is there and what is missing? *The Knowledge Engineering Review*, 18(1):33–46.
- [Lai y Lin, 2001] Lai, R. y Lin, M. W. (2001). Modeling of agent negotiation via fuzzy constraint processing. In *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pages 445–448, Melbourne, Australia.
- [Lai y Lin, 2002a] Lai, R. y Lin, M. W. (2002a). Agent negotiation as fuzzy constraint processing. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pages 1021–1026, Honolulu, USA.
- [Lai y Lin, 2002b] Lai, R. y Lin, M. W. (2002b). A fuzzy constraint-based framework for agent negotiation. In *Proceedings of the 6th Joint Conference on Information Science*, pages 156–159, North Carolina, USA.
- [Lai y Lin, 2004] Lai, R. y Lin, M. W. (2004). Modeling agent negotiation via fuzzy constraints in e-business. *Computational Intelligence*, 20(4):624–642.
- [Lancaster, 1966] Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74:132–157.
- [Lancaster, 1971] Lancaster, K. J. (1971). *Consumer Demand: A New Approach*. Columbia University Press, New York City, NY, USA.
- [Li *et al.*, 2003] Li, C., Giampapa, J. A., y Sycara, K. (2003). A review of research literature on bilateral negotiations. Technical Report CMU-RI-TR-03-41, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA.

- [Lilien *et al.*, 1992] Lilien, G. L., Kotler, P., y Moorthy, S. K. (1992). *Marketing Models*. Prentice-Hall Press, USA.
- [Lin *et al.*, 2003] Lin, M. W., Lai, R., y Yu, T. J. (2003). Fuzzy constraint-based agents for negotiation in e-commerce. In *Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE-2003)*, pages 452–458, Las Vegas, USA.
- [Lomuscio *et al.*, 2001] Lomuscio, A., Wooldridge, M., y Jennings, N. R. (2001). A classification scheme for negotiation in electronic commerce. In *Agent Mediated Electronic Commerce, The European AgentLink Perspective*, pages 19–33. Springer-Verlag, London, UK.
- [Lopez-Carmona y Velasco, 2006a] Lopez-Carmona, M. A. y Velasco, J. R. (2006a). An expressive approach to fuzzy constraint based agent purchase negotiation. In *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2006)*, pages 429–431, Hakodate, Japan.
- [Lopez-Carmona y Velasco, 2006b] Lopez-Carmona, M. A. y Velasco, J. R. (2006b). A fuzzy constraint based model for automated purchase negotiations. In *Proceedings of the Int. Workshop on Trading Agent Design and Analysis, and Agent Mediated Electronic Commerce VIII (TADA-AMEC VIII, AAMAS'06)*, pages 210–213, Hakodate, Japan.
- [Lopez-Carmona *et al.*, 2006] Lopez-Carmona, M. A., Velasco, J. R., y Alarcos, B. (2006). Automated purchase negotiations in a dynamic electronic marketplace. In *Proceedings of the 1st International Conference on Ubiquitous Computing, ICUC'06*, pages 203–211, Alcalá de Henares, Spain.
- [Lopez-Carmona *et al.*, 2004] Lopez-Carmona, M. A., Velasco, J. R., Maestre, I. M., y Guillén, A. N. (2004). Modelo de negociación automática bilateral para entornos abiertos de comercio electrónico. In *Libro de actas de la Conferencia IADIS WWW/Internet 2004*, pages 195–202, Madrid.
- [Luo *et al.*, 2003a] Luo, X., Jennings, N. R., y Shadbolt, N. (2003a). Knowledge-based acquisition of tradeoff preferences for negotiating agents. In *Proceedings of the 5th International Conference on Electronic Commerce*, pages 138–144, Pittsburgh, USA.
- [Luo *et al.*, 2003b] Luo, X., Jennings, N. R., Shadbolt, N., Ho-Fung-Leung, y Lee, J. H. M. (2003b). A fuzzy constraint based model for bilateral, multi-issue negotiations in semi-competitive environments. *Artificial Intelligence*, 148(1-2):53–102.
- [Luo *et al.*, 2003c] Luo, X., Lee, J. H., Leung, H. F., y Jennings, N. R. (2003c). Prioritised fuzzy constraint satisfaction problems: axioms, instantiation and validation. *Fuzzy Sets and Systems*, 136(2):151–188.

- [Luo *et al.*, 1997] Luo, X., Zhang, C., y Cai, J. (1997). The weighting issue in fuzzy logic. *Informatica (Slovenia)*, 21(2).
- [Mas-Colell *et al.*, 1995] Mas-Colell, A., Whinston, M. D., y Green, J. R. (1995). *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, New York NY, USA.
- [Mathworks, 2005] Mathworks (2005). *Statistics Toolbox For Use with MATLAB*. The Mathworks, Inc., disponible en <http://www.mathworks.com> (20/06/2006), version 5.1(release 14sp3) edition.
- [Mathworks, 2006] Mathworks (2006). *Matlab*. Disponible en <http://www.mathworks.com> (20/06/2006).
- [Matos *et al.*, 1998] Matos, N., Sierra, C., y Jennings, N. R. (1998). Determining successful negotiation strategies: an evolutionary approach. In *Proceedings of 3rd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-1998)*, pages 182–189, Paris, France.
- [Mayfield *et al.*, 1996] Mayfield, J., Labron, Y., y Finin, T. (1996). Evaluating kqml as an agent communication language. In Wooldridge, M. J., Müller, J. P., y Tambe, M., editors, *Intelligent Agents II*, volume 1039 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 347–360, Berlin, Germany. Springer Verlag.
- [McBurney *et al.*, 2003] McBurney, P., Euk, R. M. V., Parsons, S., y Amgoud, L. (2003). A dialogue game protocol for agent purchase negotiations. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 7(3):235–273.
- [McBurney y Parsons, 2002] McBurney, P. y Parsons, S. (2002). Games that agents play: A formal framework for dialogues between autonomous agents. *Logic, Language and Information*, 11(3):315–334.
- [McBurney y Parsons, 2003] McBurney, P. y Parsons, S. (2003). Dialogue game protocols. In *Communication in Multiagent Systems*, volume 2650 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 269–283, Berlin, Germany. Springer Verlag.
- [McBurney *et al.*, 2002] McBurney, P., Parsons, S., y Wooldridge, M. (2002). Desiderata for agent argumentation protocols. In *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2002)*, pages 402–409, Bologna, Italy. ACM Press.
- [Osborne y Rubinstein, 1994] Osborne, M. J. y Rubinstein, A. (1994). *A Course in Game Theory*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

- [Pareto, 1906] Pareto, V. (1906). *Manual of Political Economy*. Augustus M. Kelley Publishers, New York NY, USA, reprint (june 1, 1969) edition.
- [Parsons y Jennings, 1996] Parsons, S. y Jennings, N. R. (1996). Negotiation through argumentation-a preliminary report. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi Agent Systems (ICMAS-1996)*, pages 267–274, Kyoto, Japan.
- [Parsons *et al.*, 1998] Parsons, S., Sierra, C., y Jennings, N. R. (1998). Agents that reason and negotiate by arguing. *Journal of Logic and Computation*, 8(3):261–292.
- [Parunak, 1999] Parunak, H. V. D. (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter 9, pages 377–421. Industrial and practical applications of dai. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- [Poundstone, 1993] Poundstone, W. (1993). *Prisoner's Dilemma*. Anchor, New York, USA.
- [Pérez, 2003] Pérez, C. (2003). *Estadística, Problemas Resueltos y Aplicaciones*. Prentice Hall, Madrid.
- [Pruitt, 1981] Pruitt, D. (1981). *Negotiation Behavior*. Academic Press.
- [Rahwan *et al.*, 2002] Rahwan, I., Kowalczyk, R., y Pham, H. H. (2002). Intelligent agents for automated one-to-many e-commerce negotiation. In Oudshoorn, M., editor, *Proceedings of the 25th Australasian Conference on Computer Science*, pages 197–204, Melbourne, Australia. Australian Computer Society Press.
- [Raiffa, 1982] Raiffa, H. (1982). *The Art and Science of Negotiation*. Harvard University Press.
- [Ramchurn *et al.*, 2003] Ramchurn, S. D., Jennings, N. R., y Sierra, C. (2003). Persuasive negotiation for autonomous agents: a theoretical approach. In *Proceedings of the IJCAI Workshop on Computational Models of Natural Argument*, pages 9–17, Acapulco, Mexico. AAAI Press.
- [Roberts y Lilien, 1993] Roberts, J. H. y Lilien, G. L. (1993). *Explanatory and predictive models of consumer behavior*, volume Handbooks in Operations Research and Management Science: Volume 5: Marketing, pages 27–82. North-Holland, Amsterdam, The Netherlands.
- [Rodríguez *et al.*, 1997] Rodríguez, J. A., Noriega, P., Sierra, C., y Padget, J. (1997). Fm96.5 - a java-based electronic auction house. In *Proc. of the Second International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-1997)*, pages 207–224, London, UK.

- [Rosenschein y Zlotkin, 1994] Rosenschein, J. S. y Zlotkin, G. (1994). *Rules of Encounter*. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- [Rubinstein, 1982] Rubinstein, A. (1982). Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica*, 50(1):97–109.
- [Rubinstein, 1985] Rubinstein, A. (1985). A bargaining model under incomplete information. *Econometrica*, 53:1151–1172.
- [Russell y Norvig, 2003] Russell, S. y Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2nd edition.
- [Sadeh *et al.*, 1999] Sadeh, N., Hildum, D. W., Kjenstad, D., y Tseng, A. (1999). Mascot: an agent-based architecture for coordinated mixed-initiative supply chain planning and scheduling. In *Workshop on Agent-Based Decision Support in Managing the Internet-Enabled Supply-Chain (AGENTS-1999)*, Seattle, USA.
- [Samuelson, 1998] Samuelson, L. (1998). *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- [Sandholm y Vulkan, 1999] Sandholm, T. y Vulkan, N. (1999). Bargaining with deadlines. In *AAAI/IAAI*, pages 44–51, Orlando, USA.
- [Sandholm, 1999a] Sandholm, T. W. (1999a). Automated negotiation. *Communications of the ACM*, 42(2):84–85.
- [Sandholm, 1999b] Sandholm, T. W. (1999b). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter 5, pages 201–258. Distributed Rational Decision Making. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- [Sandholm, 2002a] Sandholm, T. W. (2002a). Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions. *Artificial Intelligence*, 135(1-2):1–54.
- [Sandholm, 2002b] Sandholm, T. W. (2002b). emediator: A next generation electronic commerce server. *Computational Intelligence, Special issue on Agent Technology for Electronic Commerce*, 18(4):656–676.
- [Schreiber *et al.*, 2000] Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., Hoog, R. D., Shadbolt, N., Velde, W., y Wielinga, B. (2000). *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*. The MIT Press, New York, USA.
- [Searle, 1969] Searle, J. (1969). *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge University Press, New York, USA.

- [Shaw, 2000] Shaw, M. J. (2000). *Handbook on Electronic Commerce*, chapter 1, pages 3–24. Electronic Commerce: State of Art. Springer.
- [Sierra, 2004] Sierra, C. (2004). Agent-mediated electronic commerce. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 9:285–301.
- [Sierra et al., 1997] Sierra, C., Faratin, P., y Jennings, N. R. (1997). A service-oriented negotiation model between autonomous agents. In *Proceedings of the 8th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW-1997)*, pages 17–35, Ronneby, Sweden.
- [Sierra et al., 1998] Sierra, C., Jennings, N. R., Noriega, P., y Parsons, S. (1998). A framework for argumentation-based negotiation. In Singh, M., Rao, A., y Wooldridge, M. J., editors, *Proc. of the Fourth Int. Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*, volume 1365 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 177–192. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- [Slade, 2002] Slade, C. (2002). Reason to buy: The logic of advertisements. *Argumentation*, 16:157–178.
- [Subramani y Walden, 2000] Subramani, M. y Walden, E. (2000). Economic returns fo firms from business-to-business electronic commerce initiatives: An empirical examination. In *Proc. 21st International Conference on Information Systems*, pages 279–295, Brisbane, Australia.
- [Sun, 2006] Sun (2006). *Java Sun*. Disponible en <http://java.sun.com> (20/06/2006).
- [Sycara, 1989] Sycara, K. (1989). Argumentation: Planning other agents' plans. In *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 517–523, Detroit, USA.
- [Sycara, 1998] Sycara, K. (1998). Bayesian learning in negotiation. *International Journal of Human Computer Studies*, 48:125–141.
- [Tesauro, 2002] Tesauro, G. (2002). Efficient search techniques for multi-attribute bilateral negotiation strategies. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Electronic Commerce (ISEC-2002)*, pages 30–36, Roma, Italy. IEEE Computer Society.
- [Traum, 1999] Traum, D. (1999). Speech acts for dialogue agents. In *Foundations And Theories Of Rational Agents*, pages 169–201. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

- [Tsvetovatyy *et al.*, 1997] Tsvetovatyy, M., Gini, M., Mobasher, B., y Wieckowski, Z. (1997). Magma: an agent-based virtual market for electronic commerce. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, 11(6):501–524.
- [Vetter y Pitsch, 1999] Vetter, M. y Pitsch, S. (1999). An agent-based market supporting multiple auction protocols. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Autonomous Agents (AGENTS-1999)*, Seattle, USA.
- [Vickrey, 1961] Vickrey, W. (1961). Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. *Journal of Finance*, (1):8–37.
- [von Neuman y Morgenstern, 1944] von Neuman, J. y Morgenstern, O. (1944). *The Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press, Princeton NJ, USA.
- [Walton y Krabbe, 1995] Walton, D. N. y Krabbe, E. C. W. (1995). *Commitment in Dialogue: Basic Concepts of Interpersonal Reasoning*. SUNY Press, Albany NY, USA.
- [Weiss, 1999] Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- [Wooldridge, 2002] Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons.
- [Wooldridge y Parsons, 2000] Wooldridge, M. J. y Parsons, S. (2000). Languages for negotiation. In Horn, W., editor, *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000)*, pages 393–397. John Wiley & Sons.
- [Wurman, 2001] Wurman, P. R. (2001). Dynamic pricing in the virtual marketplace. *IEEE Internet Computing*, 5:36–42.
- [Yokoo, 2001] Yokoo, M. (2001). *Distributed Constraint Satisfaction*. Springer Verlag.
- [Zadeh, 1965] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:50–54.
- [Zadeh, 1971] Zadeh, L. A. (1971). Similarity relations and fuzzy orderings. *Information Sciences*, 3:177–200.

Apéndice A

Anegsys: una plataforma de negociación automática

En este apéndice se describe la plataforma de negociaciones automáticas: *Automated NEGotiation SYStem (Anegsys)*.

A.1. Introducción

Anegsys surge a partir de la necesidad de disponer de una herramienta con la que poner en práctica todas las ideas plasmadas en el capítulo 3. En definitiva, necesitábamos un software en el que no solamente fuesen capaces agentes compradores y vendedores de dialogar para negociar la compraventa de productos, sino que además fuese sencilla la programación de nuevos protocolos o estrategias. En principio Anegsys está pensado para que múltiples agentes compradores y vendedores puedan negociar bilateralmente la compraventa de productos. Sin embargo, Anegsys no está concebido como un software explotable comercialmente, porque el propósito de su diseño es académico, y su objetivo general es el de permitir la experimentación de estrategias de negociación.

Nuestro objetivo ha sido implementar una plataforma software que permite plasmar el marco de negociación descrito en el capítulo 3 en un sistema multiagente real. Además, dicho sistema facilita: la programación y modificación de protocolos, estrategias, modelos de datos, y parámetros de negociación; y la realización de experimentos.

Sabemos que el marco de negociación lo componen: unos modelos de preferencias y perfiles de negociación, un modelo de diálogo, una arquitectura de mecanismos de decisión y una serie de reglas de transición. Los modelos de preferencias y perfiles de negociación tienen una estructura estática, pero la estructura está parametrizada, de manera que los valores pueden cambiar entre negociaciones e incluso en el curso de una negociación. Algo parecido podemos decir de la arquitectura de mecanismos de decisión. Es sobre esta arquitectura sobre la que se deben implementar estrategias, por lo que su carácter es también dinámico. En cambio, el modelo de diálogo y las reglas de transición han sido especificadas por completo en el marco de negociación, por lo que posibles cambios sobre estas estructuras son menos probables.

En función de todos estos aspectos podemos definir dos ámbitos claros de implementación: el ámbito de implementación del sistema de comunicación, y el ámbito de implementación de los mecanismos de decisión. Para cubrir el primer ámbito, se ha optado por utilizar la plataforma multiagente de libre distribución *Java Agent DEvelopment Framework (JADE)* [Jade, 2006]. En cambio, todos los mecanismos de decisión, los modelos de preferencias y los perfiles de negociación se han desarrollado en Matlab [Mathworks, 2006], utilizando el propio lenguaje nativo Matlab. Las reglas de transición de nuestro modelo son el enlace entre ambos entornos, Jade y Matlab. Cuando un mecanismo genera una salida, esta salida la está generando un programa Matlab, que transmite dicha salida al agente, cuyo esqueleto está programado en Java y está corriendo en la plataforma Jade. El agente procesa esta salida, y emite el correspondiente mensaje al agente oponente conforme a dichas reglas de transición. El agente receptor activará el mecanismo que corresponda, que se ejecutará en Matlab mediante una llamada.

A.2. Arquitectura de la plataforma

En la figura A.1 podemos ver a través de un diagrama de despliegue cuál es la arqui-

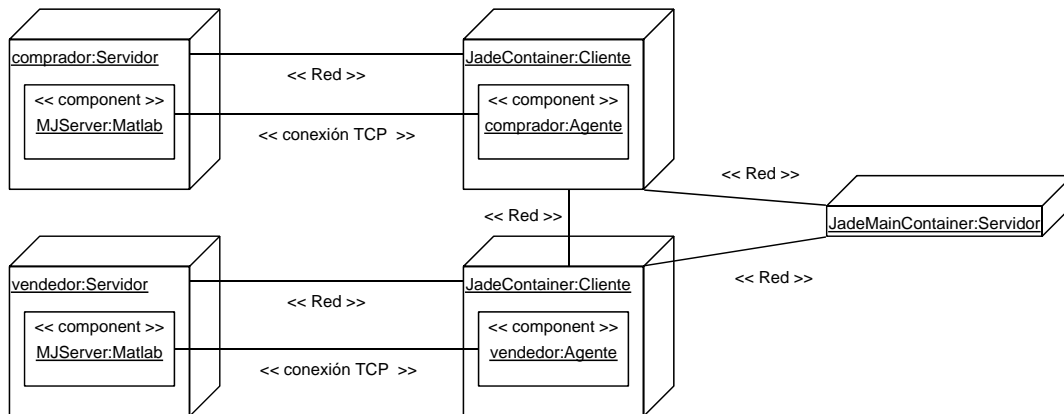


Figura A.1. Arquitectura de la Plataforma Anegsys

itectura de Anegsys. El diagrama presenta 5 instancias de nodos, los cuales pueden hacer referencia a cualquier dispositivo capaz de ubicar los componentes que explicamos más adelante. El sistema puede funcionar perfectamente en una sólo máquina o nodo, pero hemos preferido representar el esquema más general. Los nodos cliente contienen los agentes, alojados en contenedores Jade, que se integran con el contenedor principal ubicado en la instancia `JadeMainContainer:Servidor`. La Plataforma Jade estaría constituida por estos tres nodos. También sería posible ubicar todos los nodos en una sólo máquina. En cualquier caso todos los contenedores deben estar conectados para que los agentes puedan funcionar. Por otro lado, dos componentes `MJServer:Matlab` ubicados en sus respectivos nodos `comprador:Servidor` y

vendedor:Servidor, están conectados a través de una conexión TCP con los agentes. En este caso no es necesaria la conectividad entre los dos nodos comprador:Servidor y vendedor:Servidor. Aunque hemos asignado a cada agente su propia componente MJServer:Matlab, es perfectamente posible que todos los agentes de la plataforma trabajen sobre la misma instancia de componente MJServer:Matlab.

La figura A.2 describe internamente la arquitectura de Anegsys, considerando un úni-

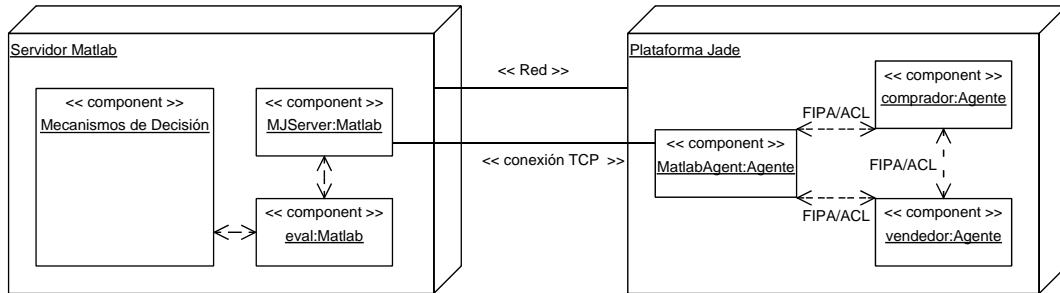


Figura A.2. Arquitectura interna de Anegsys

co servidor MJServer:Matlab que utilizan todos los agentes, y un único cliente/servidor que incluye la plataforma Jade con todos los contenedores. El nodo Plataforma Jade se ha representado omitiendo todos los detalles inherentes a la propia Plataforma Jade, como por ejemplo los contenedores o los agentes DF, AMS y RMA.¹ Podemos ver como aparece un nuevo elemento, el agente MatlabAgent. Éste es un agente proxy que sirve de interfaz entre los agentes y Matlab. Cuando un agente comprador o vendedor quiere ejecutar alguna operación en Matlab, el comando se encapsula en un mensaje FIPA/ACL² [FIPA, 2002b] que recibe MatlabAgent. Éste, conectado mediante un socket TCP a MJServer:Matlab, envía íntegro el mensaje FIPA/ACL con el comando o función Matlab que se tiene que ejecutar. Cuando MJServer:Matlab recibe el mensaje lo analiza y extrae el comando o función, que se ejecuta mediante un intérprete de comandos en Matlab. Los resultados vuelven encapsulados en otro mensaje FIPA/ACL donde el destino es el agente comprador o vendedor que emitió el mensaje inicial. Esto significa que todos los mensajes tienen como emisor y receptor a MatlabAgent y el agente comprador o vendedor. MJServer es por tanto el proxy del nodo Matlab, equivalente al proxy MatlabAgent del nodo Jade. Cabe decir que hasta lo que conocemos, no existe una implementación similar que se haya usado para conectar Jade con Matlab, y que tanto los componentes MJServer como MatlabAgent han sido desarrollados íntegramente por nosotros. De la arquitectura que estamos presentando, el único componente nativo es eval:Matlab, que en realidad no es más que una función Matlab que permite procesar comandos representados como una cadena de caracteres que se le pasan como parámetro.

¹Para conocer Jade como plataforma, remitimos al lector a la documentación de administración [Bellifemine *et al.*, 2006b].

²Foundation for Intelligent Physical Agents/Agent Communication Language.

A.3. Consideraciones finales

El uso intensivo de la plataforma a lo largo del desarrollo de los experimentos nos ha demostrado que la elección de Matlab y Jade ha sido acertada. El modelo de negociación ha permitido desacoplar sin dificultad dos aspectos clave de los procesos de negociación: el diálogo y los mecanismos de decisión. Por una parte la implementación del modelo de diálogo sobre Jade se realiza de una forma natural, en tanto que la definición de locuciones, ontologías, máquinas de estados, y en general de protocolos de interacción se abordan adecuadamente en las bibliotecas Java de Jade. Por otra parte, la potencia del lenguaje nativo Matlab permite la reconfiguración y definición de los mecanismos de decisión y por tanto de las estrategias de los agentes de forma muy eficiente. Por último, en la figura A.3 se presentan los tiempos de negociación calculados para diferentes escenarios que son función de: el número de atributos de los productos sobre los que se negocia, y el número de productos del catálogo del vendedor.

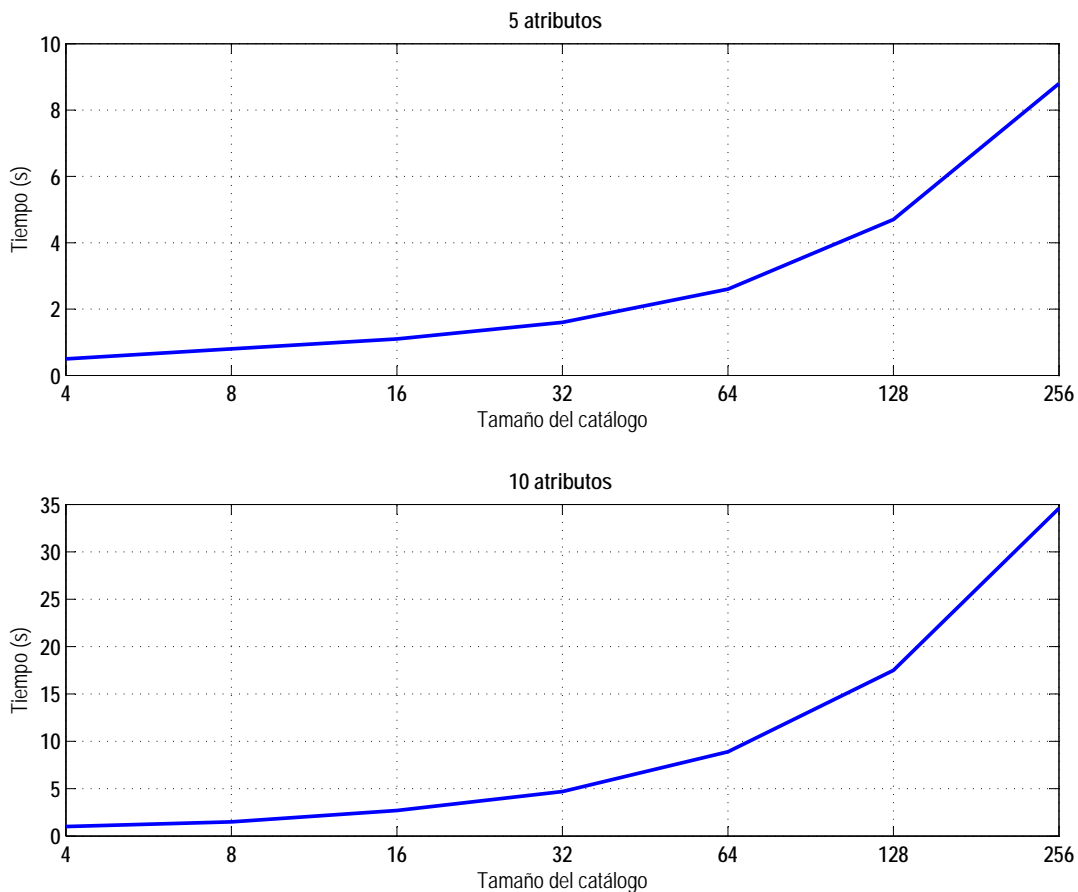


Figura A.3. Resumen de tiempos de negociación en función del número de atributos y de productos del catálogo

Apéndice B

Implementación del modelo de diálogo sobre FIPA/ACL

En este apéndice presentamos nuestra implementación del modelo de diálogo mediante el lenguaje de comunicación de agentes FIPA/ACL [FIPA, 2002b].

B.1. Introducción

En el apéndice A hemos descrito la plataforma de negociación automática Anegsys. La plataforma de agentes sobre la que se construye Anegsys es Jade, aunque como se ha indicado en el apéndice A, Matlab juega también un papel muy importante como motor de cálculo del sistema. Hemos visto además que el modelo de diálogo se implementa en Java sobre Jade, utilizando las correspondientes bibliotecas que proporciona Jade para el desarrollo de agentes [Bellifemine *et al.*, 2006a]. Jade es en realidad una implementación que sigue los estándares definidos por FIPA, y entre otros, implementa los estándares de comunicación entre agentes que allí se definen. Esto significa que hemos tenido que traducir nuestro modelo de diálogo al estándar FIPA/ACL [FIPA, 2002b], que define un lenguaje de comunicación entre agentes.

B.2. FIPA/ACL

FIPA/ACL es quizás el lenguaje de comunicación para agentes más utilizado. Aunque es el estándar predominante, ha sufrido fuertes críticas [McBurney *et al.*, 2002], entre otras, su limitada o nula capacidad para tratar argumentos. En la tabla B.1 se presenta una posible clasificación de las locuciones existentes en FIPA/ACL. Esta clasificación nos permite mapear cada una de las locuciones de nuestro modelo de diálogo en una locución FIPA/ACL existente [FIPA, 2002a]. Sin embargo, esto no va a ser siempre posible, por ejemplo cuando la locución exprese algún tipo de argumentación.

B.3. Implementación de locuciones sobre FIPA/ACL

A continuación vamos a analizar cada una de las locuciones de nuestro modelo de diálogo (ver sección 3.7), y vamos a definir la implementación en FIPA/ACL de cada una de ellas.

- L1:** Locución `open_dialogue(.)`: Un comprador sugiere la apertura de un diálogo negociador, con el compromiso de entablar dicha negociación si el vendedor acepta. De los diferentes tipos de locuciones de la tabla B.1, la que más se ajusta a este propósito es la locución `propose`.
- L2:** Locución `enter_dialogue(.)`: Un vendedor indica el deseo de incorporarse al diálogo propuesto por un comprador. Esto equivale a aceptar la propuesta del comprador, es decir, a emitir la locución `accept-proposal`.
- L3:** Locución `willing_to_sell(.)`: El vendedor expresa su deseo de vender un producto, lo que puede considerarse una declaración expresiva (el emisor representa con esta locución su estado interno en relación con sus preferencias subjetivas o intenciones). La única locución disponible es `inform`.
- L4:** Locución `desire_to_buy(.)`: El comprador expresa su deseo de comprar un producto con unas determinadas características. Al igual que con la locución **L3**, ésta puede considerarse una declaración expresiva. La única locución disponible es `inform`.

Tabla B.1. Clasificación de locuciones FIPA ACL

Tipo de Locución	Locución FIPA/ACL
Declaración de Hechos	<code>confirm</code>
	<code>disconfirm</code>
	<code>failure</code>
	<code>inform</code>
	<code>inform-if</code>
	<code>inform-ref</code>
	<code>query-if</code> <code>query-ref</code>
Declaración Expresiva	<code>inform</code>
Declaración de Conexión Social	<code>inform</code>
Compromiso	<code>accept-proposal</code>
	<code>agree</code>
	<code>propose</code>
	<code>refuse</code>
	<code>reject-proposal</code>
Directiva	<code>cancel</code>
	<code>cfp</code>
	<code>request</code>
	<code>request-when</code>
	<code>request-whenever</code>
Inferencia	<code>inform</code>
Argumentación	
Declaración de Control	<code>not-understood</code>
	<code>propagate</code>
	<code>proxy</code>
	<code>subscribe</code>

- L5:** Locución **prefer_to_sell(.)**: El vendedor expresa sus preferencias por que las restricciones emitidas por un comprador sean relajadas. Puede considerarse una declaración expresiva (el emisor representa con esta locución su estado interno en relación con sus preferencias subjetivas). La única locución disponible es **inform**.
- L6:** Locución **prefer_to_buy(.)**: El comprador expresa su deseo de comprar un producto con unas determinadas características, y expresa además sus preferencias por dichas características. Ésta puede considerarse una declaración expresiva. La única locución disponible es **inform**.
- L7:** Locución **refuse_to_buy(.)**: El comprador expresa su rechazo a comprar un determinado producto. Esta locución tiene un carácter más fuerte que las declaraciones expresivas, de manera que este rechazo puede interpretarse como una expresión de rechazo hacia un compromiso. La locución más adecuada es **refuse**.
- L8:** Locución **refuse_to_sell(.)**: El comprador expresa su rechazo a comprar un determinado producto o a satisfacer un requerimiento de compra. Esta locución tiene un carácter más fuerte que las declaraciones expresivas, de manera que este rechazo puede interpretarse como una expresión de rechazo hacia un compromiso. La locución más adecuada es **refuse**.
- L9:** Locución **agree_to_buy(.)**: El comprador se compromete a comprar un determinado producto. Debido a que es claramente una expresión de compromiso, la locución elegida es **propose**. Recordemos que es el comprador el que inicia el proceso de confirmación de una adquisición de un producto.
- L10:** Locución **agree_to_sell(.)**: El vendedor se compromete a vender un determinado producto. Sin embargo, esta locución es siempre una respuesta a **agree_to_buy(.)**, con lo que la locución más adecuada es **accept-proposal**. Recordemos que el vendedor puede aceptar un compromiso de compra sólo cuando el comprador ha emitido anteriormente la correspondiente propuesta de compra.
- L11:** Locución **withdraw_dialogue(.)**: El comprador o vendedor expresa su intención de abandonar el diálogo. Ésta es una declaración expresiva, por lo que la locución utilizada es **inform**.

En resumen, son 4 las locuciones FIPA/ACL utilizadas: **inform**, **propose**, **accept-proposal** y **refuse**. De la asignación hecha se evidencia la debilidad de FIPA/ACL cuando se trata de discernir si una locución **inform** expresa deseos o preferencias. Una vez hemos asignado una locución FIPA/ACL a cada una de nuestras locuciones originales, el siguiente paso es especificar el lenguaje de dominio que se va a utilizar, es decir, vamos a definir una ontología [FIPA, 2002a, FIPA, 2002b, FIPA, 2002c, Cabanillas y Caire, 2004] aplicable en nuestro ámbito de comercio bilateral basado en restricciones difusas.

El siguiente esquema representa la estructura de clases que define nuestra ontología compatible con FIPA:

- Concept
 - AgentAction
 - Agree_to_buy
 - Buy
 - Open_dialogue
 - Sell
 - AID
 - Product
 - Purchase Requirement
 - Purchase Requirement Valuation
 - Relax Requirement
- Predicate
 - Desire_to_buy
 - Prefer_to_buy
 - Prefer_to_sell
 - Willing_to_sell
 - Withdraw_dialogue

El esqueleto de esta arquitectura viene forzado por los requisitos FIPA/ACL de composición de mensajes ACL [FIPA, 2002b] y por la plataforma de agentes Jade [Bellifemine *et al.*, 2006a]. La estructura define dos clases abstractas, Concept y Predicate, y dos clases derivadas de Concept: AID y AgentAction que constituyen dicho esqueleto. Las clases que representen una acción, deben ubicarse bajo AgentAction. AID (Agent Identifier) es una clase predefinida que especifica el identificador de un agente, es decir, su nombre en la plataforma. El resto de clases definidas constituyen realmente nuestra ontología.

- Agree_to_buy :offer (Instancia de Product)
- Buy :offer (Instancia de Product)
- Open_dialogue :category (String)
- Sell :offer (Instancia de Product) :purchase requirement (Instancia de Purchase Requirement)
- Product :attributes (String)
- Purchase Requirement :constraints (String)
- Purchase Requirement Valuation :constraints (String) :valuation (String)
- Relax Requirement :constraints (String) :relax (String)
- Desire_to_buy :purchase requirement (Instancia de Purchase Requirement)

- `Prefer_to_buy` :purchase requirement valuation (Instancia de Purchase Requirement Valuation)
- `Prefer_to_sell` :relax requirement (Instancia de Relax Requirement)
- `Willing_to_sell` :product (Instancia de Product)
- `Withdraw_dialogue` :category (String)

Cada una de las clases contiene campos o slots, delimitados por “:”. Por ejemplo, una instancia de la clase `Prefer_to_buy` contiene un campo denominado `:purchase requirement valuation` que debe estar definido por una instancia de la clase `Purchase Requirement Valuation`. Ésta, a su vez, está definida por dos campos `:constraints` y `:valuation`, cada uno de los cuales debe representar una instancia de un objeto `String` (cadena de caracteres).¹

Por último, una vez descrita la ontología, las locuciones FIPA/ACL, las locuciones definidas en nuestro modelo de diálogo, y hecho el mapeo de locuciones, tan sólo resta especificar la forma de componer cada una de las locuciones existentes.

B.4. Especificación de locuciones

La siguiente lista presenta la asignación de locuciones FIPA/ACL a las locuciones de nuestro modelo de diálogo. Los mensajes del ejemplo están resumidos, por ejemplo, no aparecen los campos de emisor y receptores que todo mensaje ACL debe incluir (ver el documento [FIPA, 2002b, FIPA, 2002a], donde se describe la estructura de todo mensaje ACL, y el conjunto de locuciones que existen).

- L1:** Locución `open_dialogue(.)`: `propose (AgentAction (Open_dialogue :category “coche”))`.
- L2:** Locución `enter_dialogue(.)`: `accept-proposal (AgentAction (Open_dialogue :category “coche”))`.
- L3:** Locución `willing_to_sell(.)`: `inform (Willing_to_sell (Product :attributes “rojo 2000 BMW”))`
- L4:** Locución `desire_to_buy(.)`: `inform (Desire_to_buy (Purchase Requirement :constraints “(rojo o verde) y (1000-1500) y (SEAT)”))`.
- L5:** Locución `prefer_to_sell(.)`: `inform (Prefer_to_sell (Relax Requirement :constraints “(rojo o verde) y (1000-1500) y (SEAT)” :relax “(1 0 1)”))`.
- L6:** Locución `prefer_to_buy(.)`: `inform (Prefer_to_buy (Purchase Requirement Valuation :constraints “(rojo o verde) y (1000-1500) y (SEAT)” :valuation “(0.9 0.8 0.2”))`.
- L7:** Locución `refuse_to_buy(.)`: `refuse (AgentAction (Buy (Product :offer “rojo 2000 BMW”)))`;

¹String es una clase primitiva, cuya estructura es conocida. En este caso es una cadena de texto cualquiera.

L8: Locución `refuse_to_sell(.)`: `refuse (AgentAction (Sell (Product :offer ‘rojo 2000 BMW’))), o refuse AgentAction((Sell (Purchase Requirement :constraints ‘(rojo o verde) y (1000-1500) y (SEAT)’)))).`

L9: Locución `agree_to_buy(.)`: `propose (AgentAction(Agree_to_buy (Product :attributes ‘rojo 2000 BMW’))).`

L10: Locución `agree_to_sell(.)`: `accept-proposal (AgentAction(Agree_to_buy (Product :attributes ‘rojo 2000 BMW’))).`

L11: Locución `withdraw_dialogue(.)`: `inform (Withdraw_dialogue :category ‘coche’);`