



**Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería en Informática**

Simulación basada en agentes aplicada a la cadena de suministro

Autor:
Fernando Sáenz Antoñanzas

Director:
Miguel Ángel Barcelona Liédana

Ponente:
Sergio Ilarri Artigas

**Centro Politécnico Superior
Universidad de Zaragoza**

Noviembre 2010

*A mi abuelo Fernando, un ejemplo a
seguir en la vida.*

Agradecimientos

Gracias. Muy especialmente a mi madre, Pilar, mi padre, Fernando, mi hermana, María, y mi novia, Ángela, por soportarme con paciencia en todos los momentos malos. Gracias a toda mi familia. Con su ayuda y constancia, este viaje ha llegado a buen puerto.

Mención especial a mis amigos de la infancia y a los de fatiga en el CPS, ya saben quiénes son, por los días, horas y minutos buenos a su lado, y que sigan.

He de agradecer a mis compañeros del ITA lo llevaderas que me han hecho todas las jornadas de trabajo. Gracias a Erick Mendoza por su incondicional ayuda desde el primer día. Gracias a Miguel Ángel Barcelona, tutor y director en el ITA, y a Sergio Ilarri, ponente en el CPS, por la predisposición mostrada y la ayuda prestada.

RESUMEN

El proyecto “*Simulación basada en agentes aplicada a la cadena de suministro*” se realiza dentro del departamento de Logística y TICs del Instituto Tecnológico de Aragón.

El objetivo del proyecto es afrontar el problema existente en la toma de decisiones asociadas a la cadena de suministro. Tomando la compartición de información y la negociación como base del comportamiento de los miembros integrantes de la cadena de suministro, se trata de mejorar el funcionamiento de la misma. Se utilizan tecnologías de modelado basadas en agentes, lo que permitirá caracterizar la cadena de suministro desde los siguientes puntos de vista: autonomía, comunicación, aprendizaje y toma de decisiones determinadas por el contexto. Para validar el modelo, se utilizarán datos reales de una cadena de suministro del sector de la gran distribución como Centros Comerciales Carrefour S.A.

En las fases previas del proyecto se desarrolla un Documento de Visión y se planifica el proyecto. Teniendo como fin adquirir conocimiento y verificar que es factible su utilización, se hace un estudio sobre el modelado basado en agentes. También se comparan las diferentes herramientas existentes. Tras este punto de partida, se desarrolla el análisis y diseño del sistema, teniendo como referencia el modelo UML (Unified Modelling Language).

El proyecto se implementa con una herramienta libre y de código abierto llamada *Repast Symphony*. Esta herramienta destinada al modelado basado en agentes simplifica la creación y el uso del concepto de agentes en simulación. A partir de la implementación de los modelos correspondientes se obtienen resultados en forma de gráficas y listados de datos, que son posteriormente interpretados para la obtención de conclusiones.

Aplicando algoritmos de negociación y compartición de información se han podido alcanzar los objetivos definidos. Se obtienen resultados que mejoran ciertos aspectos de la cadena de suministro (incremento de ingresos, disminución de costes de inventario) a través de la aplicación de la aplicación de técnicas de negociación y compartición de información entre agentes.

En concreto, se ha conseguido mejorar los beneficios en proveedores y tiendas, y disminuir los costes globales en las plataformas, siendo estos los objetivos principales de cada uno de los integrantes de la cadena de suministro que se ha modelado.

Índice general

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1. Marco del proyecto	1
1.2. Objetivos y alcance del proyecto.....	1
1.3. Tareas principales.....	2
1.4. Estructura del Documento	3
Capítulo 2: Contexto tecnológico y planificación	5
2.1. Visión del proyecto	5
2.2. Estado del arte	7
2.2.1. Estado del arte: Agentes	7
2.2.2. Estado del arte: Herramientas para el modelado y simulación basado en agentes	8
2.3. Plan de Proyecto	12
Capítulo 3: Análisis y Diseño.....	15
3.1. Ciclo 1: Modelo Básico.....	15
3.2. Ciclo 2: Modelo Avanzado.....	18
3.2.1. Agente proveedor	18
3.2.2. Agente plataforma	19
3.2.3. Agente tienda	20
3.2.4. Agente cliente	21
Capítulo 4: Resultados	23
4.1. Modelo básico.....	23
4.2. Modelo avanzado	26
4.2.1. Negociación frente a Sin Negociación	26
4.2.2. Variación del margen de modificación de precios	28
4.2.3. Modificación de pesos: Precio y confianza.....	30
Capítulo 5: Conclusiones	33
5.1. Cumplimiento de objetivos.....	33
5.2. Valoración personal.....	33
5.3. Siguiendo pasos	34

Bibliografía	35
---------------------------	-----------

ANEXOS

ANEXO A: Documento de Visión.....	38
ANEXO B: Plan de Proyecto.....	55
ANEXO C: Estado del arte-Agentes-.....	67
ANEXO D: Estado del arte-Herramientas para el modelado y simulación basadas en agentes.....	79
ANEXO E: Análisis modelo básico.....	101
ANEXO F: Análisis modelo avanzado.....	142
ANEXO G: Diseño e implementación del sistema.....	165
ANEXO H: Resultados del modelo básico.....	183
ANEXO I: Resultados del modelo avanzado.....	201
ANEXO J: Manual de usuario.....	221

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1 : Estructura general de la cadena de suministro.....	2
---	---

Capítulo 2

Figura 2: Arquitectura general de sistema de simulación.....	6
--	---

Figura 3: Diagrama de Gantt.	13
-----------------------------------	----

Capítulo 3

Figura 4: Diagrama de actividades.....	16
--	----

Capítulo 4

Figura 5: Stock en plataforma.	24
-------------------------------------	----

Figura 6: Decremento en los niveles de inventario.	24
---	----

Figura 7: Evolución de los beneficios en tiendas.....	27
---	----

Figura 8: Gastos en plataforma sistema de negociación.	27
---	----

Figura 9: Ingresos tiendas con variación de margen de precios.	29
---	----

Figura 10: Gastos en plataforma con variación de márgenes de precio.	29
---	----

Figura 11: Beneficios de tiendas con variación de pesos.....	31
--	----

Figura 12: Gastos en plataforma con modificación de pesos.....	31
--	----

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1: Estructura del documento.	3
Tabla 2: Listado de anexos.	4
Tabla 3: Problema planteado.	5

Capítulo 2

Tabla 4: Resumen de herramientas I.	10
Tabla 5: Resumen de herramientas II.	11
Tabla 6: Distribución del esfuerzo.	12
Tabla 7: Hitos del proyecto.	14

Capítulo 3

Tabla 8: Comportamiento en el modelo básico.	17
Tabla 9: Propiedades, parámetros y atributos de proveedor.	18
Tabla 10: Propiedades, parámetros y atributos de plataforma.	19
Tabla 11: Propiedades, parámetros y atributos de tienda.	20
Tabla 12: Propiedades, parámetros y atributos de cliente.	21

Capítulo 4

Tabla 13: Evolución del stock en plataforma.	23
Tabla 14: Resultados del modelo básico.	25
Tabla 15: Acciones futuras.	25
Tabla 16: Propiedades básicas de los agentes.	26
Tabla 17: Productos.	26
Tabla 18: Conclusiones con/sin negociación.	28
Tabla 19: Conclusiones margen de modificación de precios.	30
Tabla 20: Gastos en plataformas con variación de pesos.	31
Tabla 21 : Conclusiones con modificación de pesos.	32

Capítulo 5

Tabla 22: Acciones futuras.	34
----------------------------------	----

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo se procede a describir el marco en el que está desarrollado el proyecto, los objetivos y las tareas principales que se han realizado.

1.1. Marco del proyecto

El proyecto se ha llevado a cabo dentro del Instituto Tecnológico de Aragón, que es un centro tecnológico de carácter público que, desde Aragón, contribuye a la mejora de la competitividad de las empresas y al progreso sostenible de la sociedad, identificando necesidades, generando soluciones de I+D+i y transfiriendo conocimiento.

Más concretamente, se ha desarrollado dentro del Centro de Conocimiento en TICs aplicadas a la logística, que tiene por objetivo la generación, adaptación, transferencia y difusión de conocimiento en la aplicación de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TICs) en la resolución de problemas logísticos, con especial hincapié en la optimización de los procesos y en la integración de agentes en la cadena de suministro, para desarrollar una logística colaborativa y sostenible.

1.2. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo del proyecto es determinar conclusiones que puedan mejorar el funcionamiento de la cadena de suministro a partir del desarrollo de un modelo de simulación próximo a la realidad de esta cadena de suministro. La teoría de agentes permite caracterizar el comportamiento de las diferentes entidades integrantes de la cadena y dotarles de autonomía. Además, se dota a la simulación de la cadena de suministro con la capacidad de compartir información entre los distintos agentes que la forman.

Se tomará como escenario logístico de referencia una cadena de gran consumo real como Centros Comerciales Carrefour S.A.

Comparando la presencia o no de colaboraciones y negociaciones entre los agentes, y combinándolo con la modificación de los distintos parámetros determinantes que definen la simulación, se generarán resultados en cuanto a los ingresos, costes de inventario y beneficios de los agentes integrantes. A través de la interpretación de estos resultados se obtendrán las conclusiones que permitan extraer distintas configuraciones del modelo que benefician a los agentes en términos económicos.

Se mostrarán mejoras relativas entre los diferentes esquemas de simulación, haciendo referencia a los beneficios y costes en los que incurren a lo largo de un año simulado.

En la *figura 1* se muestra cuál es la idea simplificada del funcionamiento del modelo de simulación. Se observa que la cadena está estructurada en 4 niveles: proveedor, plataforma logística, tienda o comercio y el cliente. Cada uno de estos grupos será además un conjunto de agentes con un mismo comportamiento base. Las interacciones básicas serán las negociaciones y el envío y

recepción de productos. A lo largo de la memoria, en las fases de análisis y diseño en los Anexos E, F y G se amplía el funcionamiento de esta cadena de suministro.

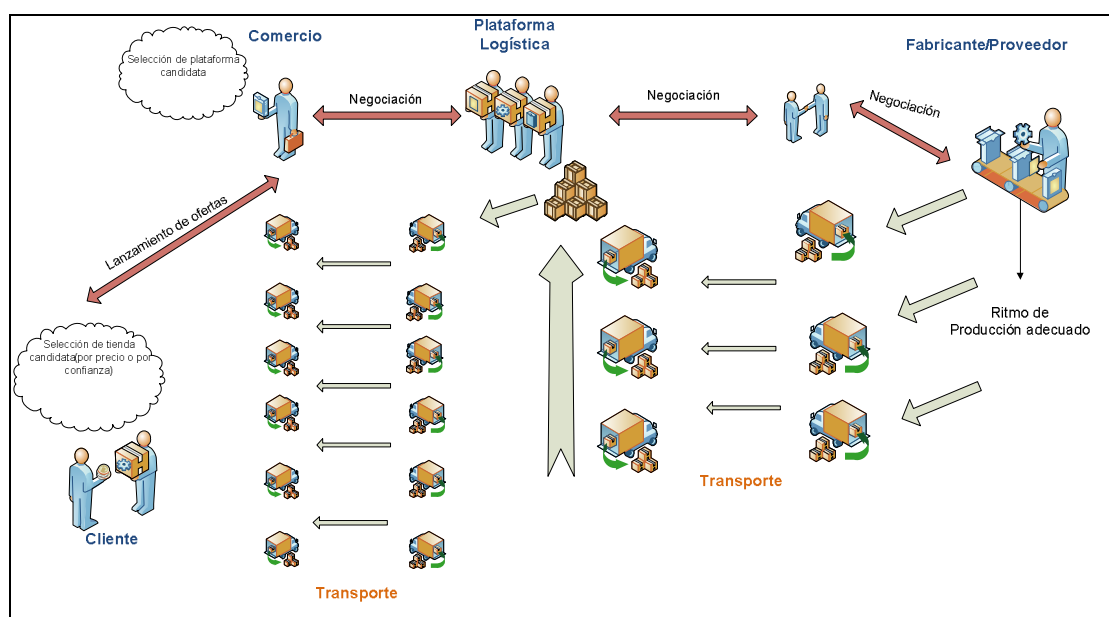


Figura 1 : Estructura general de la cadena de suministro.

1.3. Tareas principales

Para llevar a cabo el presente proyecto se han definido estas actividades:

1. En primera instancia se analiza el estado del arte del modelado basado en agentes, su aplicabilidad en el entorno logístico y en consecuencia, la ratificación de su utilidad en este entorno. Esta información se recoge en el Anexo C.
2. Además del estado del arte sobre modelado, también se ha estudiado el caso de las herramientas necesarias para poder desarrollar el proyecto. Así, se ha realizado un documento, Anexo D, en el que se recogen las características de las herramientas encontradas para desarrollar modelos de simulación.
3. A continuación, se han definido una serie de escenarios a partir de los cuales poder implementar y desarrollar los modelos. Para ello, se ha considerado un escenario real de una organización de gran consumo, como es Carrefour, de cara a poder aplicar los resultados obtenidos y validar los modelos

Estos escenarios en un primer desarrollo básico son simplemente orientativos, sin ninguna aplicabilidad real, pero obteniendo resultados que sirven como pruebas del correcto funcionamiento del entorno de simulación. En un desarrollo avanzado, será cuando busquemos la proximidad al caso real.

Capítulo 1: Introducción

4. Tras la definición de escenarios, se procede al modelado y simulación de los mismos. En esta fase se recoge información de salida del entorno de ejecución del sistema desarrollado.
5. Posteriormente, se realizan tanto el análisis de resultados obtenidos de las simulaciones, como la obtención de conclusiones que deriven de dichos resultados. Además, y con los resultados obtenidos, se plantearán una serie de acciones futuras que podrían afinar el modelo desarrollado.

1.4. Estructura del Documento

La memoria del proyecto “*Simulación basada en agentes aplicada a la cadena de suministro*” se divide en cinco capítulos que en la *tabla 1* se describen brevemente.

Capítulo 1: Introducción	Se definen el ámbito del documento, así como los objetivos del mismo y las tareas principales realizadas.
Capítulo 2: Primeras fases	Engloba una visión general del proyecto y el alcance del mismo. También ofrece un resumen sobre el estudio del arte de las herramientas de simulación estudiadas y sobre la aplicabilidad y comparativa de técnicas basadas en agentes.
Capítulo 3: Análisis y Diseño	En este capítulo se caracterizan los agentes, mostrando su comportamiento en el modelo desde un punto de vista analítico. Está compuesto por diagramas y cuadros de comportamiento de los agentes. Se diferenciarán el análisis y diseño en los ciclos 1 y 2, es decir, para el escenario básico y el avanzado respectivamente.
Capítulo 4: Resultados	Se ofrecen los resultados más relevantes obtenidos tras realizar las simulaciones así como las conclusiones extraídas de los mismos.
Capítulo 5: Conclusiones y siguientes pasos	Se muestran las conclusiones generales extraídas por el autor y los siguientes pasos que serían de interés en una futura ampliación del proyecto.

Tabla 1: Estructura del documento.

Tras la memoria, se incluyen un total de diez documentos que amplían conceptos explicados en la memoria. Se incluyen un total de diez anexos, nombrados en la *tabla 2*.

Capítulo 1: Introducción

Anexo A: Documento de Visión	Se define el alcance del proyecto, las ideas originales que lo definen. También la perspectiva y funcionalidad del producto.
Anexo B: Plan del Proyecto	Estructura temporal, división en tareas y esfuerzo requerido por el proyecto.
Anexo C: Estado del Arte- Agentes-	Estudio realizado para contrastar métodos de simulación y las ventajas y casos existentes sobre simulación basada en agentes aplicadas a la logística.
Anexo D: Estado del Arte- Herramientas para el modelado y simulación basado en agentes	Estudio dirigido a seleccionar una herramienta para programar y simular los modelos de cadena de suministro.
Anexo E: Análisis Modelo Básico	Muestra del comportamiento de los agentes que intervienen en la cadena y sus interacciones para el escenario básico.
Anexo F: Análisis Modelo Avanzado	Muestra del comportamiento de los agentes que intervienen en la cadena y sus interacciones para el escenario avanzado.
Anexo G: Diseño e Implementación del Sistema	Ampliación de cómo se van a comportar los agentes y como se traslada este comportamiento al sistema de simulación. También se mostrarán las decisiones de implementación.
Anexo H: Resultados del Modelo Básico	Se ofrecen los resultados obtenidos de la simulación del modelo básico y las conclusiones extraídas del mismo.
Anexo I: Resultados Modelo Avanzado	Se ofrecen los resultados obtenidos de la simulación del modelo avanzado y las conclusiones extraídas del mismo.
Anexo J: Manual de Usuario	Manual en el que se definen las funcionalidades necesarias para instalar, desinstalar y manejar el sistema de simulación.

Tabla 2: Listado de anexos.

Capítulo 2

Contexto tecnológico y planificación

En este capítulo se detallan tanto una visión general del proyecto desde el punto de vista tecnológico como la planificación seguida a lo largo del proyecto.

2.1. Visión del proyecto

El propósito de este capítulo es definir a alto nivel las necesidades a cubrir con el desarrollo del modelo de simulación basado en agentes aplicado a la cadena de suministro. La información ampliada en cuanto a la visión y alcance del proyecto está desarrollada en Documento de Visión del Proyecto en el Anexo A.

La definición del problema consiste en no disponer de un sistema que trate de manera directa los problemas derivados de la falta de comunicación y la compartición de información entre los distintos integrantes de la cadena. Con el desarrollo de las simulaciones sociales que aquí se desarrollan se conseguirá un aumento de los beneficios y ventajas en cuanto a costes de las partes integrantes de la cadena.

En la *Tabla 3* se muestra un resumen del problema general:

El problema	La no inclusión de factores humanos y comportamiento social en las simulaciones logísticas, al igual que obviar la influencia del sistema colaborativo en las cadenas de suministro en términos económicos.
Afecta a ...	Toda empresa cuyos ingresos dependan total o parcialmente del funcionamiento de una cadena de suministro.
Impacto del problema...	<ul style="list-style-type: none">• Los costes aumentan.• Los ingresos podrían ser mayores.
Posible solución	El uso de un sistema colaborativo y de negociaciones entre los diferentes miembros integrantes de la cadena, así como la adquisición de aprendizaje sería positivo para mejorar tanto particular como globalmente el conjunto de la cadena de suministro.

Tabla 3: Problema planteado.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

El proyecto tratará de afrontar el problema existente en la toma de decisiones asociado a las cadenas de suministro, a través del modelado y la generación de escenarios a partir de las cuales simular las cadenas de suministro, teniendo como base el concepto de la cadena colaborativa, es decir, compartiendo información entre los agentes integrantes de la misma.

En la *figura 2* se muestra la arquitectura general del sistema de simulación. Con esta figura se trata de ejemplificar de un simple vistazo cómo está estructurado el sistema que se desarrolla. Por un lado estará el modelo, que tras implementarlo e introducir en él los datos provenientes del caso real, podemos ejecutar la simulación para poder obtener datos y gráficas para ser interpretadas, lo que haremos más adelante, en los Anexos H e I.

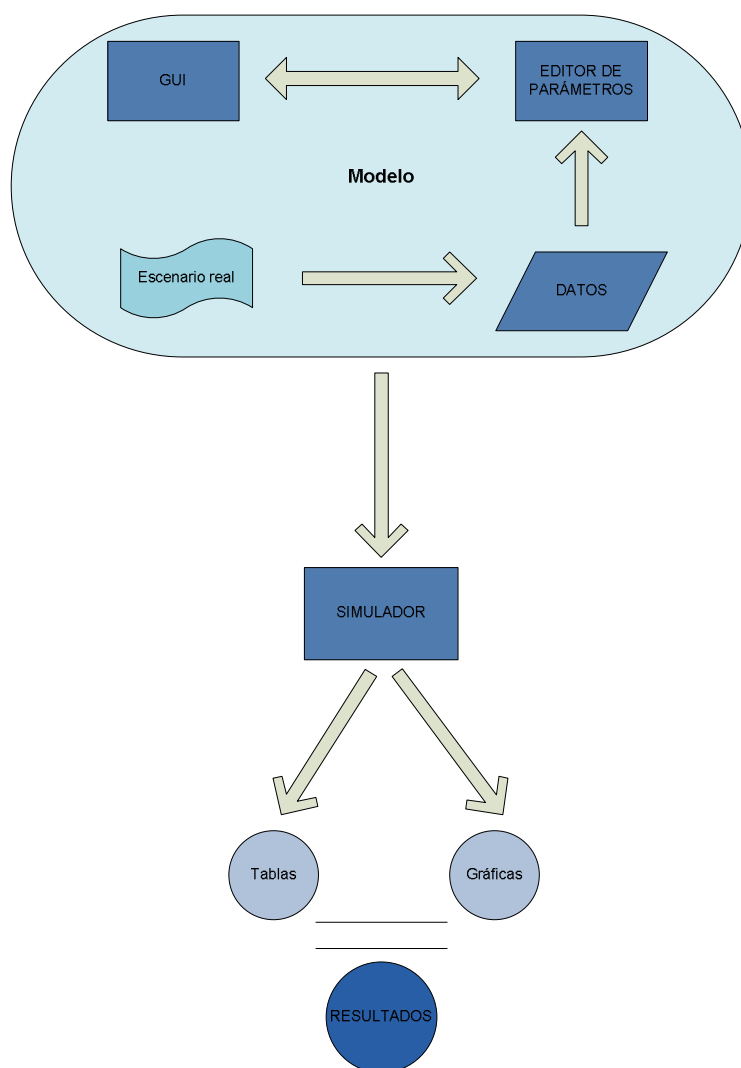


Figura 2: Arquitectura general de sistema de simulación.

2.2. Estado del arte

En esta sección se plantean los resultados y conclusiones obtenidos tras realizar dos estudios sobre el estado del arte. El primero dedicado a detectar los motivos que justifican el uso de agentes en logística y la comparación con otros métodos, y el segundo, destinado a la elección de una herramienta de simulación.

2.2.1. Estado del arte: Agentes

Con la realización del estado del arte de modelado basado en agentes se quiere explicar y argumentar el uso del concepto de agente para la creación de nuestro sistema, en comparación con otros métodos que aquí detallaremos. En el Anexo C se detalla esta sección, además de definirse otros métodos utilizados en el campo de la simulación logística.

Se puede definir un agente como una entidad que puede actuar de forma autónoma e inteligente.

Las siguientes propiedades definen y muestran las ventajas que nos aportan las simulaciones basadas en agentes aplicadas a la simulación logística.

- Permiten el modelado y la implementación de comportamiento pro-activo, propiedad fundamental si queremos dotar de iniciativa a los agentes integrantes de la cadena de suministro. Es más natural interpretar comportamientos como agentes que como objetos.
- Soporta computación distribuida. Puesto que cada agente puede ser implementado como una pieza independiente del modelo.
- Puesto que cada agente es un proceso independiente que se comunica con el resto de agentes, podemos incluir o eliminar agentes en el proceso de simulación sin interrupción. Esto atribuye un dinamismo excepcional a las simulaciones.
- Dependiendo del software utilizado, puede ser más accesible y sobre todo comprensible para aquéllos que no tienen conocimientos de programación.

Si lo que queremos es diferenciar el concepto de objeto con respecto al de agente podemos hacerlo definiendo las siguientes propiedades que los caracterizan:

- Entidades pro-activas en lugar de entidades puramente reactivas como son los objetos.
- Posibilidad de uso de un lenguaje de comunicación entre agentes (KQML, tipo LISP).
- Paso del uso tradicional de conceptos de modelización a conceptos de “Belief-Desire-Intentions” (creencias, deseo e intenciones).

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

Tras explicar las propiedades esenciales de los agentes, se extraen ideas generales de la lectura de otros trabajos utilizados como referencia, citados en esta sección.

Se estudia el funcionamiento de las cadenas de suministro a través de sistemas multi-agente, se permite a los agentes unirse, quedarse o dejar la cadena de suministro. La funcionalidad de la cadena de suministro está implementada a través de negociación basada en agentes (*Thierry Moyaux, Brahim Chaib-draa, and Sophie D'Amours, Supply Chain Management and Multiagent Systems*).

Se puede conseguir un incremento en la efectividad de las cadenas de suministro a través de la utilización de los agentes. Utilizando un sistema basado en agentes se puede disminuir el efecto látigo, consistente en un desajuste del inventario derivado de la mala información transmitida. Así, si hay mala transmisión entre una tienda y una plataforma, peor será la información que transmita la plataforma al proveedor, por ello el problema se arrastra a toda la cadena.

En consecuencia, se definen los mecanismos de comunicación y negociación como comportamiento beneficioso en el modelado de las mismas (*Sara Saberi, Charalampos Makatsoris. "Agent system for negotiation in supply chain management"*).

Esta tecnología facilita la integración de los miembros de la cadena como una red con un esqueleto independiente. Se consiguen disminuir costes a través de la compartición de información, a través de un mayor control de los niveles de inventario.

Se considera que la tendencia más aplicada en la simulación de cadenas de suministro, y de reciente desarrollo, son los modelos de simulación basados en agentes. Permitir que cada agente pueda tomar decisiones independientes es beneficioso para la cadena. Concluyendo se dice que los sistemas multi-agente y las estrategias de colaboración y coordinación son los más estudiados en la actualidad (*José L. Calderón y Francisco C. Lario. "Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo"*).

Respecto a la aplicabilidad queda patente que realizar un modelo de simulación basado en agentes es de gran utilidad en este proyecto.

2.2.2. Estado del arte: Herramientas para el modelado y simulación basado en agentes

Esta sección presenta el estudio realizado sobre las herramientas disponibles para modelar y simular. En el Anexo D se muestran las referencias a cada una de las herramientas nombradas en esta sección.

Teniendo en cuenta una serie de criterios que definen la *tabla 4* mostrada en la página siguiente, hemos podido seleccionar la herramienta Repast Symphony (*Repast Home Page. Página oficial de Repast. 2008. <http://repast.sourceforge.net/>*).

Repast Symphony, herramienta que funciona bajo Eclipse (<http://www.eclipse.org/org/>), es la elegida para implementar el sistema de simulación. La capacidad de desarrollar el proyecto en Java y disponer de licencia como software libre, y ser uno de los lenguajes más extendidos, del cual se puede obtener multitud de información, ha sido uno de los motivos de su elección.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

Se descartan las herramientas que son de pago, criterio que se estableció desde un comienzo. Existen herramientas tales como SeSam (<http://www.simsesam.de/>), que permitían realizar el proyecto a través de un editor gráfico, con aspecto atractivo, pero que a su vez limitaba la funcionalidad del proyecto. Además, se considera más importante el aprendizaje de un lenguaje de programación como Java para un Ingeniero Informático, que el simple manejo de un editor gráfico. Por último se desechó porque al lanzar ciertas simulaciones de demostración la ejecución provocaba bloqueos en nuestro PC.

Tras mostrar y estudiar la *tabla 4*, se enuncian una serie de conclusiones finales que definitivamente llevan a elegir la herramienta para Eclipse, Repast Symphony.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

	OBJETIVO PRINCIPAL	LENGUAJE PROGRAMACIÓN	LICENCIA	DOCUMENTACIÓN	SISTEMA OPERATIVO	GRÁFICOS	GRÁFICA
NetLogo	Ciencias sociales y naturales. Aprender a modelar. Nivel principiante.	NetLogo	Gratuito. No es open source.	Modelos de ejemplo FAQ. Manual de Usuario actualizado.	Cualquier versión de la máquina virtual de Java superior a v1.4.1	Nivel Bajo	Nivel medio
SeSAM	Investigación. Enseñanza.	Simulación a partir de especificaciones visuales.	LGPL(licencia basada en la GPL, pero menos estricto en algunos términos).	Tutorial poco completo FAQ Lista de correo poco dinámica.	Windows Linux Mac OS X	Nivel medio	Nivel medio
Repast Simphony	Ciencias sociales.	Java	BSD(Berkeley Software Distribution). Licencia de software Libre	Lista correo Papers Referencia Manual de usuario Ejemplo FAQ	Sobre cualquier Plataforma Java	Nivel Medio-Alto	Nivel Alto. Adaptado a realizar gráficas.
Jade	Aplicaciones distribuidas formadas por entidades autónomas.	Java	LGPL(licencia basada en la GPL, pero menos estricto en algunos términos).	Lista correo. Papers Referencia Manual de usuario API FAQ	Sobre cualquier plataforma Java	Nivel Medio-Alto	Nivel alto. Totalmente programable
Arena	Desafíos Industriales	Especificaciones visuales(Flowcharts)	Software no gratuito. Arena Basic 1895 €	Manuales de usuario, específicos según el entorno a simular	Windows	Nivel Medio-Alto	Nivel Medio-Alto

Tabla 4: Resumen de herramientas I.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

	OBJETIVO PRINCIPAL	LENGUAJE PROGRAMACIÓN	LICENCIA	DOCUMENTACIÓN	SISTEMA OPERATIVO	GRÁFICOS	GRÁFICAS
Simio	Fabricación Puertos Simulación militar Salud Cadenas de abastecimiento	Especificaciones visuales. Se basa en .NET	Evaluación Gratuita Versión Design Edition 6850 € Versión Enterprise 10275 €	Newsroom Soporte técnico Blog Videos Lecciones prácticas	Windows	Nivel Alto. Galería 3D de Google	Nivel Medio-Alto

Tabla 5: Resumen de herramientas II.

Se elige RepastS (Repast Symphony) por los siguientes motivos:

- Programación Java nos permite modelar con mayor versatilidad que las demás aplicaciones.
- Ofrece una estructura de los agentes y sus atributos que facilitan la comprensión de los agentes.
- Permite mayor modularidad para posteriores implementaciones sobre el mismo sistema.
- Facilidad de modificación.
- Permite documentar de una manera efectiva el código asociado a los agentes y sus interacciones.
- Las gráficas pueden ser del nivel que se desee, según necesidades.
- EL modelo de ejecución incluye una conexión a una serie de herramientas externas tales como ORA, R Statistics environment, Pajet, una herramienta de consultas SQL, VisAD, Weka, Matlab e iReport, en caso de necesitar su utilización.
- Soporta acceso a las propiedades de los agentes.
- Permite ecuaciones de comportamiento de agentes.
- Visualizar las propiedades del modelo en tiempo de ejecución.
- Adaptar los toolkits necesarios que funcionen bajo Eclipse.

2.3. Plan de Proyecto

En la realización del proyecto se ha seguido un proceso de desarrollo iterativo e incremental dividido en dos ciclos. En un primero ciclo se realizan el análisis, diseño, implementación y obtención de resultados del modelo básico y en un segundo ciclo se realizan las mismas fases para el modelo avanzado. Consideramos útil su aplicabilidad sobre un sistema complejo que requería de puntos intermedios para verificar su correcto funcionamiento y continuar con la incorporación de funcionalidad.

Inicialmente se deseaba utilizar el método de Puntos de Casos de Uso (http://es.wikipedia.org/wiki/Puntos_de_caso_de_uso) para estimar el esfuerzo del proyecto.

Puesto que este es un método puramente dirigido a proyectos software, y se considera que gran parte del coste de este proyecto viene condicionado tanto por los estudios previos como por la interpretación de los resultados, hemos atribuido porcentajes o pesos a cada una de las actividades, y teniendo en cuenta el periodo disponible para la realización total del proyecto, hemos podido estimar el reparto total del tiempo. Se puede observar en la *tabla 6* esta distribución temporal.

Actividad	Horas-Hombre	Porcentaje
Estudio Estado del Arte	49	10%
Análisis	147	15%
Modelado de Escenarios	147	15%
Diseño	49	5%
Programación	245	20%
Pruebas y Resultados	196	20%
Interpretación de resultados	98	10%
Otras actividades	49	5%
TOTAL	980 horas	100%

Tabla 6: Distribución del esfuerzo.

Para mostrar la estimación de la dedicación prevista para el proyecto, se utiliza la herramienta de código libre GanttProject. En la *figura 3* se observa la distribución en iteraciones de la planificación del proyecto. Puesto que el diagrama debe definirse en una fase temprana, en este caso no ha sido totalmente exacto puesto que se han necesitado dos semanas extra para completar la *Iteración 4-Escenario Avanzado*. Este incremento es debido al aumento del coste en la obtención de resultados concluyentes tras implementar el escenario avanzado en la *Iteración 4*.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

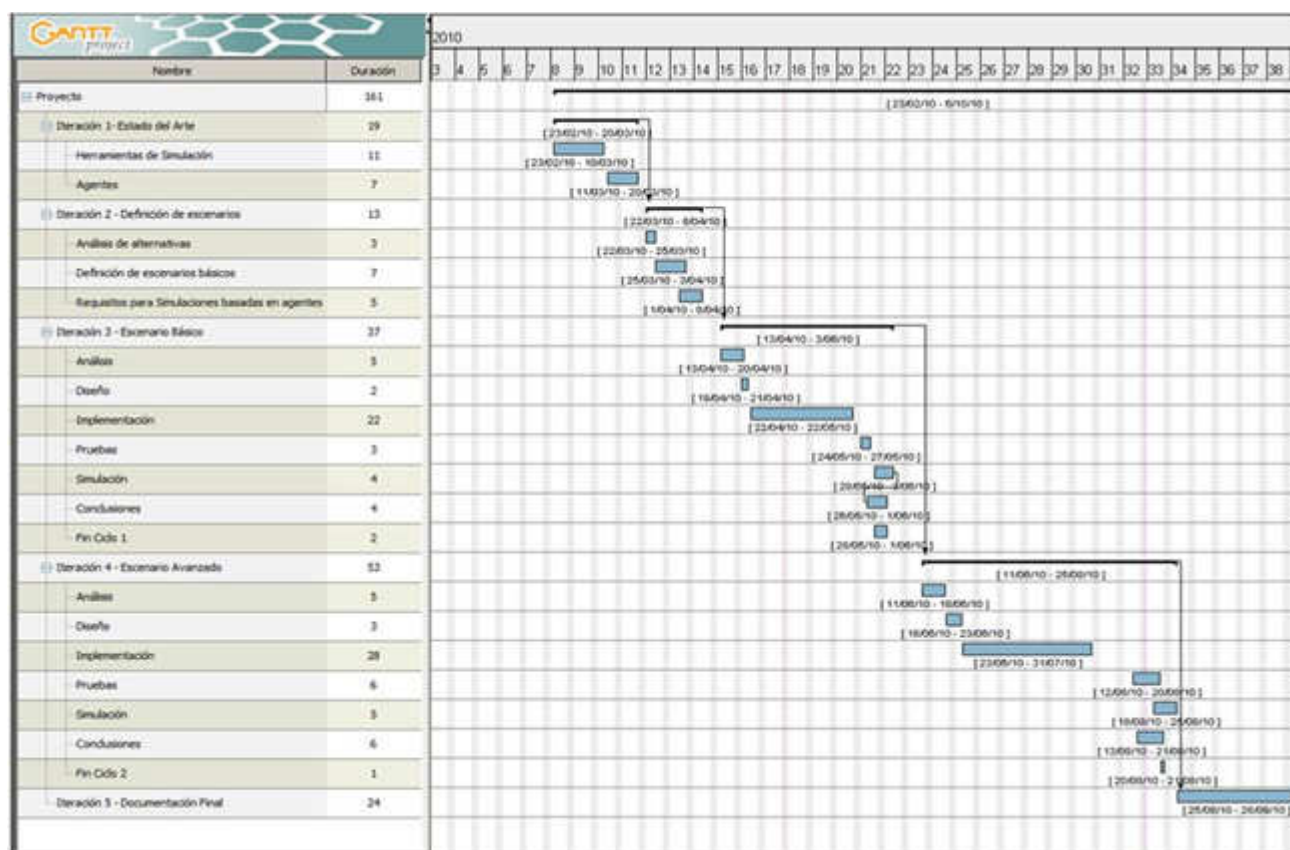


Figura 3: Diagrama de Gantt.

Capítulo 2: Contexto Tecnológico y planificación

Durante la realización del proyecto se dividió el mismo en hitos, que suponen la consecución de actividades. En la *tabla 7* pueden observarse los hitos desarrollados en el proyecto. El Plan de Proyecto completo está en el Anexo B.

ID	Responsable	Hito	Fecha (2010)	Resultados asociados
H01	Fernando Sáenz	“Documento de visión” <i>terminado</i>	30/02	Documento de Visión
H02	Fernando Sáenz	“Estado del Arte: Herramientas” <i>terminado</i>	30/03	Estado del Arte “Herramientas de simulación”
H03	Fernando Sáenz	“Estado del Arte: Agentes” <i>terminado</i>	15/04	Estado del Arte “Agentes”
H04	Fernando Sáenz	“Simulador Escenario Básico” <i>terminado</i>	25/05	Plan de Proyecto, Análisis Escenario Básico, Diseño Escenario Básico.
H05	Fernando Sáenz	“Resultados Escenario Básico” <i>terminado</i>	15/06	Plan de Proyecto, Análisis Escenario Básico, Diseño Escenario Resultados Escenario Básico.
H06	Fernando Sáenz	“Simulador Escenario Avanzado” <i>terminado</i>	5/08	Plan de Proyecto, Análisis Escenario Avanzado, Diseño Escenario Avanzado.
H07	Fernando Sáenz	“Resultados Escenario Avanzado” <i>terminado</i>	15/08	Plan de Proyecto, Análisis Escenario Avanzado, Diseño Escenario Avanzado, Resultados Escenario Avanzado.
H08	Fernando Sáenz	“Documento Conclusiones” <i>terminado</i>	20/09	Resultados Escenario Avanzado, Resultados Escenario Básico.
H09	Fernando Sáenz	“Fin de Proyecto”	5/10	Todos. Inclusión de guía de uso del simulador.

Tabla 7: Hitos del proyecto.

Capítulo 3

Análisis y diseño

En este capítulo se muestran los aspectos más relevantes del análisis y el diseño del sistema de simulación. En los Anexos desde el E hasta el G se detallan las fases de análisis y el diseño de ambos ciclos.

En los documentos de análisis se detallan los requisitos del sistema y se desarrollan casos de uso, diagramas de clases y de actividades. Los diagramas se han creado con StarUML (<http://staruml.sourceforge.net/en/>), software de distribución gratuita formado por un editor gráfico de trazado de diagramas.

Las modificaciones existentes entre ambos ciclos se dan en los requisitos funcionales, ampliados en el ciclo del modelo avanzado

Se han unificado las fases de diseño de los dos ciclos en un mismo documento, el Anexo G. En esta fase de diseño se detalla la arquitectura del sistema y cómo se van a implementar las distintas partes del mismo. Además, se afronta más ampliamente que en la fase de análisis cómo van a ser implementados los agentes y se otorga especial importancia a cuál será su comportamiento.

3.1. Ciclo 1: Modelo Básico

El objetivo de este ciclo es la creación del sistema de simulación mediante el cual poder obtener resultados intermedios. Esto significa obtener resultados que verifiquen el correcto funcionamiento de la cadena simulada, además de poder dar resultados coherentes de manera general, sin compararlo con los datos de referencia de Carrefour.

En el Anexo E se detallan los requisitos funcionales y no funcionales, el diagrama de clases, los casos de uso y el listado de actores que intervienen en la cadena.

Se presenta un diagrama de actividades, puesto que permiten comprender de un vistazo el comportamiento de los agentes, piedra de toque del proyecto. En la *figura 4* se presenta el comportamiento de un cliente con la tienda, siendo el mismo esquema general de comportamiento el que se da entre Tienda- Plataforma y Plataforma-Proveedor en este modelo básico.

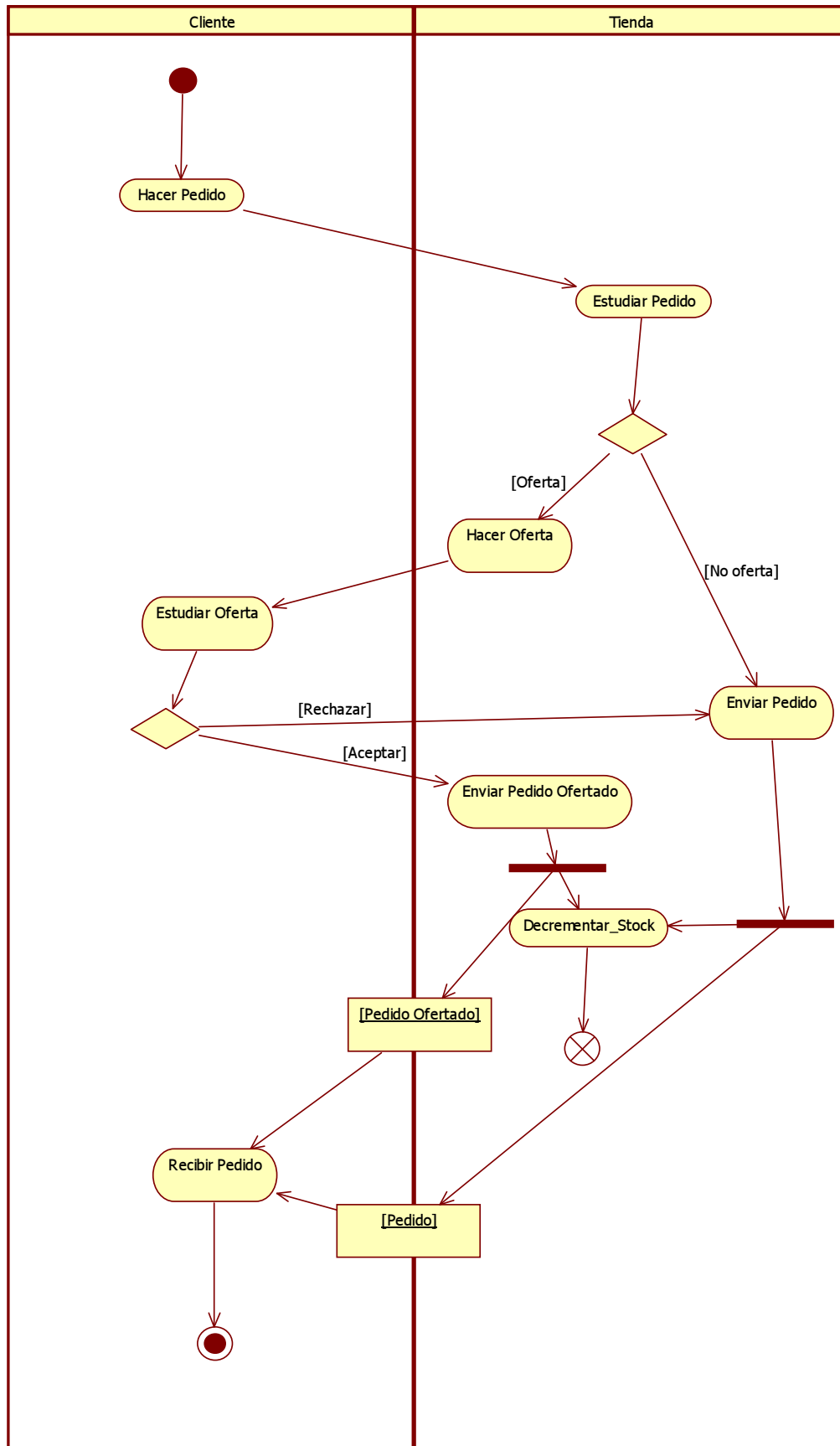


Figura 4: Diagrama de actividades.

Capítulo 3: Análisis y Diseño

En la *tabla 8* se muestran una tabla en la que queda reflejado el comportamiento de cada uno de los agentes integrantes de la cadena de suministro. Además queda reflejado la manera en la que estos agentes interactúan y las características que les atribuyen proactividad.

Agente	Comportamiento Principal	Pro-actividad
Cliente	<ul style="list-style-type: none">• El cliente generará peticiones aleatorias sobre la tienda.• Puntuará a las tiendas en función de si disponen o no del producto.	<ul style="list-style-type: none">• Generación de pedidos.• Informar al resto de agentes cliente.• Aprendizaje con respecto al entorno.
Tienda	<ul style="list-style-type: none">• Realizará pedidos a tienda cada vez que se aproxime al punto de pedido.• Ofrecerá mayores cantidades a cliente cuando disponga de un inventario muy superior al punto de pedido.	<ul style="list-style-type: none">• Observación de inventario.• Pedidos a plataforma• Selección de plataformas.• Compartición de información con las otras plataformas.
Plataforma	<ul style="list-style-type: none">• Realizará pedidos a la plataforma cuando se acerque al punto de pedido.	<ul style="list-style-type: none">• Observación de inventario.• Pedidos a proveedor.• Selección de proveedor.• Compartición de información con las otras plataformas.
Proveedor	<ul style="list-style-type: none">• Fabricación con una frecuencia estipulada.• Fabricación extra verificando inventario.	<ul style="list-style-type: none">• Observación de inventario.• Propias decisiones bajo demanda.

Tabla 8: Comportamiento en el modelo básico.

Los diagramas de casos de uso han sido definidos a partir de las especificaciones globales extraídas del Documento de Visión Anexo A. En el Anexo E de Análisis Básico se ha dado una descripción completa de cada uno de los casos de uso en particular.

3.2. Ciclo 2: Modelo Avanzado

El modo adecuado para definir el modelo avanzado es a través del comportamiento de cada uno de sus agentes. En los Anexos F y G se encuentran ampliadas las fases de análisis y diseño respectivamente.

Objetivo del escenario: medir si el tener más información para tomar las decisiones mejora el beneficio global de la Cadena de suministro. El modelo se hará con 10 referencias de Carrefour de tipo A, B y C (muy alta rotación, media rotación y baja rotación).

Función objetivo global: Maximizar el beneficio (ingreso-gasto).

Utilizaremos valores relativos para el Coste, aunque para venta iremos variando los valores según corresponda a cada producto. Existirá un precio fijo a partir del cual el vendedor será libre de modificarlo.

3.2.1. Agente proveedor

Función objetivo: Maximizar el beneficio (ingreso-gasto). Cómo lo hace: con una producción estable y con el mínimo inventario.

Ingreso: unidades vendidas \times P (precio).

Gasto: unidades en inventario \times CIProveedor (coste de inventario del proveedor).

Gasto: coste de penalización por no poder satisfacer la demanda (debe variar si es A, B o C, siendo por ejemplo B el doble de C y A el doble de B).

En la *tabla 9* se muestran sus propiedades, parámetros y atributos.

ID	Propiedades, parámetros y atributos
1	Referencias que produce.
2	Modo (frecuencia/demanda) por cada referencia.
3	Capacidad de producción (tiempo que tarda en fabricar).
4	El nivel actual de inventario.
5	Capacidad de inventario.
6	Precio de venta por referencia.
7	Coste de inventario por referencia.
8	Stock de seguridad.
9	Coste de penalización por referencia.

Tabla 9: Propiedades, parámetros y atributos de proveedor.

Capítulo 3: Análisis y Diseño

Comportamiento: produce o por frecuencia o bajo demanda. Puede modificar el precio en función de su nivel de inventario o del tiempo de entrega. Puede ofertar variaciones en la cantidad (ofertando lotes) en función del nivel de inventario. Se añadirán políticas de precios/descuentos.

Interacción: Recibe peticiones de la plataforma → Da respuesta con la cantidad que le puede mandar y el precio → La plataforma acepta si es lo requerido → Envío del pedido → La plataforma califica al proveedor.

3.2.2. Agente plataforma

Función objetivo: Minimizar el gasto. Cómo lo hace: teniendo una previsión de ventas de las tiendas, ajustando el inventario interno y negociando los precios con los proveedores.

Gasto: unidades que compra \times P.

Gasto: unidades en inventario \times CIPlataforma (coste de inventario en la plataforma).

Gasto: coste de penalización por no poder satisfacer la demanda (debe variar si es A, B o C, siendo por ejemplo B el doble de C y A el doble de B).

En la *tabla 10* se muestran las propiedades, parámetros y atributos de las plataformas.

ID	Propiedades, parámetros y atributos
1	Referencias que provee.
2	A quién se las puede comprar.
3	El tiempo medio para que las entregue por cada proveedor.
4	El nivel de confianza por cada proveedor.
5	Capacidad de inventario.
6	Stock de seguridad.
7	Punto de pedido.
8	Precio de compra por referencia (media histórica).
9	Coste de penalización por referencia.
10	Previsión de la demanda que van a tener las tiendas a las que sirve por referencia.

Tabla 10: Propiedades, parámetros y atributos de plataforma.

Comportamiento: dirigido por eventos discretos, analiza el stock acumulado, la previsión de la demanda de las tiendas, los pedidos actuales y genera la negociación con las tiendas. Al parametrizar el stock de seguridad o la capacidad de inventario, podemos analizar qué efecto tiene en la cadena, aunque no estaremos aprovechando los agentes ya que esas propiedades tienen siempre el mismo

Capítulo 3: Análisis y Diseño

efecto en cada simulación. La clave reside en que estos parámetros definen dinámicamente el comportamiento de la plataforma, lo que si aprovecha la capacidad de los agentes.

Interacción Plataforma-Tienda: Recibe peticiones de la tienda→Si dispone de inventario le enviará el producto, con un precio variable en función del inventario del que dispone.

Este es un caso particular que a diferencia del resto de interacciones, no tienen la capacidad de negociar. Esto es así, debido a que en la vida real es tal y como sucede.

Interacción Plataforma-Proveedor: Realiza pedidos periódicos a los proveedores→ Recibe la oferta del proveedor→Estudia la oferta en función de la cantidad de inventario del que dispone→ Toma de decisión→ Recepción(o no) del producto y calificación del proveedor.

3.2.3. Agente tienda

Función objetivo: Maximizar beneficios. Cómo lo hace: ajustando precios para conseguir aumentar las ventas cuando dispone de stock en el almacén y realizando ofertas a los clientes. También tratará de aprovechar las ofertas realizadas por la plataforma.

Ingresos: $P \times \text{unidades vendidas}$.

Gasto: $\text{unidades en almacén} \times \text{costeUnidadAlmacén}$.

Se realizarán ofertas al cliente cuando se disponga de excedente, por ejemplo, ofreciendo 2*1 o bien bajando los precios, pudiendo simultanear ambas opciones.

En la *tabla 11* se muestran las propiedades, parámetros y atributos de las tiendas.

ID	Propiedades, parámetros y atributos
1	Referencias que provee.
2	A quién se las puede comprar.
3	El tiempo medio para que las entregue por cada proveedor.
4	El nivel de confianza por cada proveedor.
5	Capacidad de inventario.
6	Stock de seguridad.
7	Punto de pedido.
8	Precio de compra por referencia (media histórica).
9	Coste de penalización por referencia.
10	Previsión de la demanda que van a tener las tiendas a las que sirve por referencia.

Tabla 11: Propiedades, parámetros y atributos de tienda.

Comportamiento:

Dirigida por eventos discretos, la tienda analiza el stock acumulado, la previsión de la demanda de los clientes, los pedidos actuales y genera la negociación con los clientes. Al parametrizar el stock de seguridad o la capacidad de inventario, podemos analizar qué efecto tiene en la cadena. La clave reside en que estos parámetros definen dinámicamente el comportamiento de la tienda, lo que permite aprovechar la capacidad de los agentes.

Interacción Tienda-Plataforma: La tienda envía una petición de compra a la plataforma elegida de entre aquellas que tiene en su cercanía. Con las alejadas, sería inviable. Eso se traduce en una distribución homogénea de las plataformas sobre las tiendas en la implementación.

Tras recibir la petición, la plataforma responde con la disponibilidad y los precios, en este caso, no hay ofertas. La tienda decide y se efectúa la compra. Finalmente, la plataforma es puntuada.

Interacción Tienda-Cliente: La tienda recibe una petición del cliente, y esta le ofrece sus precios y los descuentos disponibles para todo el carro→El cliente recibe ofertas individualizadas por productos→ Recibe carro y puntúa a la tienda.

3.2.4. Agente cliente

Función objetivo: Minimizar gastos de compra.

El cliente tratará de comprar los productos a bajos precios. Para ello tendrán acceso a los previos que se han ido tratando a lo largo de la simulación. Además de observar el precio observará el nivel de confianza (disponibilidad) que ofrecen las tiendas.

Tras realizar la compra, y en función del servicio y los precios, asignará una nota que actualizará el peso de la tienda, dato que será accesible por todos los clientes.

Valores: Unidades*P.

En la *tabla 12* se muestran las propiedades, parámetros y atributos de los clientes.

ID	Propiedades, parámetros y atributos
1	Experiencia sobre tiendas.
2	A quién debe comprar
3	Precio de compra por referencia (media histórica).
4	Coste de penalización por referencia.
5	Previsión de la demanda que van a tener las tiendas a las que sirve por referencia.
6	Carro de la compra con revisión por artículos.

Tabla 12: Propiedades, parámetros y atributos de cliente.

Capítulo 3: Análisis y Diseño

Comportamiento: El análisis de precios y disponibilidad histórica en comparación con los datos de precios y confianza actual van a llevar al cliente a elegir quién será su potencial vendedor cada día (tick).

Interacción Cliente-Tienda: Cliente genera un carro→ Califica a las tiendas haciendo un cálculo global del carro--> Elige candidato→ Pide y recibe los productos de los que dispone la Tienda→ Puntúa a la tienda.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se muestran los resultados y conclusiones extraídas tras realizar las simulaciones de ambos modelos.

En el modelo básico es importante comprobar cómo aunar la utilización de la negociación. La colaboración y el concepto de agente resulta útil para poder simular casos reales de cadenas de suministro. El fin principal del modelo avanzado es la obtención de resultados a partir de los cuales poder extraer conclusiones relevantes tomando un modelo más realista, y teniendo como referencia el modelo de Carrefour.

4.1. Modelo básico

Los objetivos de modelo básico son alcanzar un compromiso entre la validación de un correcto funcionamiento del modelo a la vez que la obtención de pequeños resultados que ayuden a poder ampliar el sistema en un segundo ciclo. En el Anexo H se detalla cada uno de ellos.

Analizando los movimientos en las plataformas se puede demostrar el buen funcionamiento del resto de la cadena, puesto que interactúa con la tienda y el proveedor. Tanto el análisis de las ventas de las tiendas a los clientes, como la comprobación de las plataformas permitirán dar por bueno el funcionamiento de la simulación. En la plataforma se observa una evolución del stock totalmente lógica, teniendo como muestra la *figura 5* y resumiendo este comportamiento en la *tabla 13*. Cada una de las líneas (azul y roja) de simulación representa la evolución del inventario para un producto de los agentes plataforma a lo largo del tiempo.

ID	Evolución de stock en plataforma
1	El nivel de stock crece puntualmente al realizar un pedido en la plataforma, al igual que ocurrirá con cualquier vendedor. Los pedidos de plataforma varían según el nivel de stock en el momento del pedido.
2	Los pedidos son realizados cuando el stock está por debajo del punto de pedido.
3	Los pedidos tardan los días previstos (en este caso 3), lo que produce que en ciertos casos existan “pedidos de riesgo”, es decir, que durante esos tres días el stock seguirá bajando, como ocurre en las zonas marcadas con cuadros negros en la <i>figura 7</i> .
4	La forma de la gráfica de ambas plataformas y los valores entre los que se mueve permite verificar el correcto comportamiento de los agentes.

Tabla 13: Evolución del stock en plataforma.

Capítulo 4: Resultados

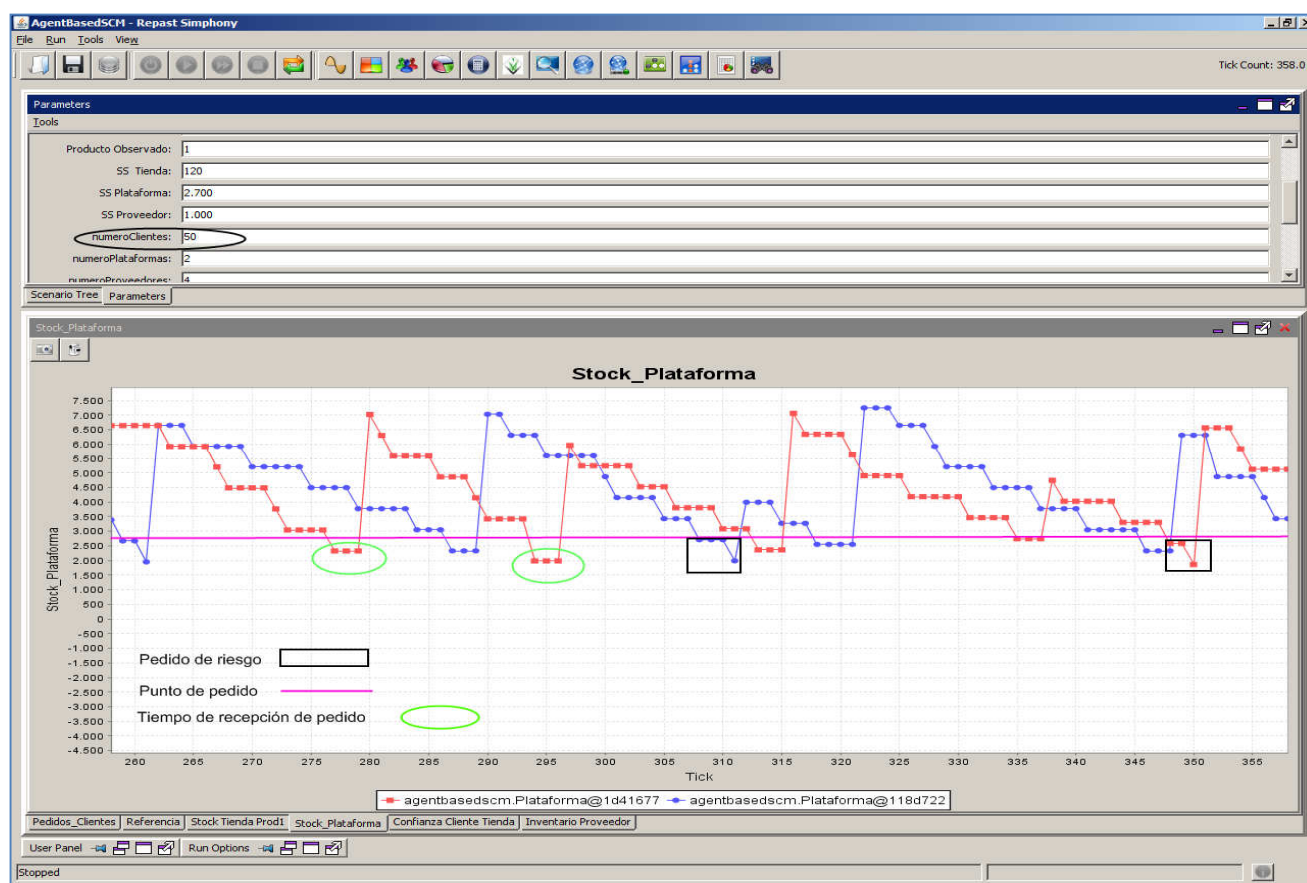


Figura 5: Stock en plataforma.

Tomando una muestra de 10 simulaciones representativas y cómo se observa en la *figura 6*, la bajada porcentual en los niveles de inventario de las tiendas es del 5% gracias a la existencia de negociación.

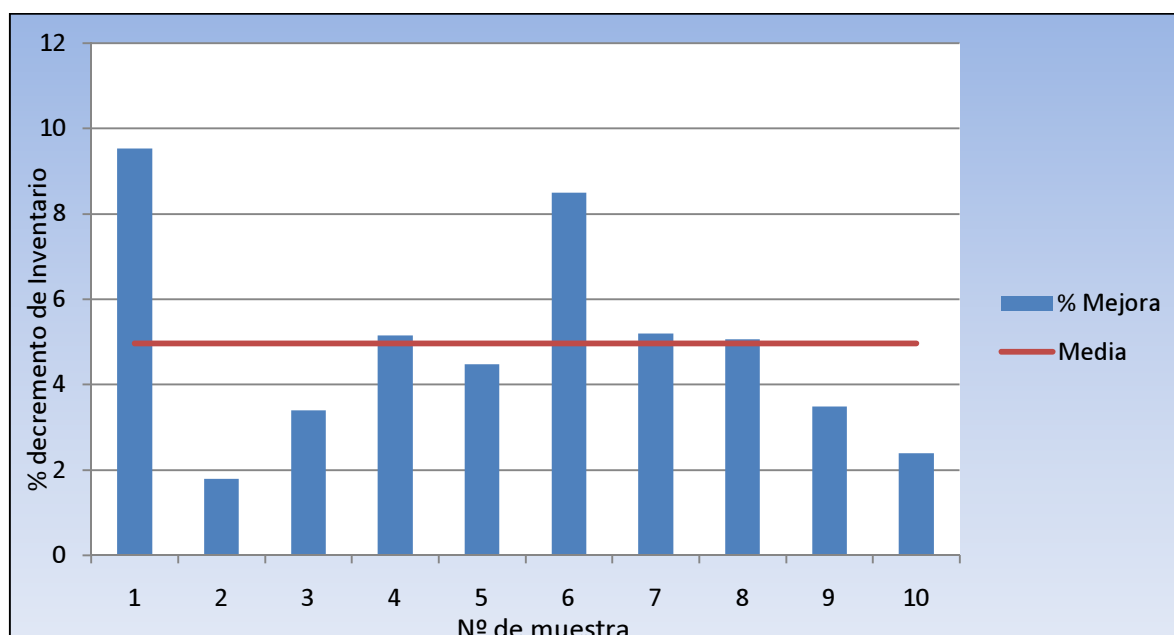


Figura 6: Decremento en los niveles de inventario.

Capítulo 4: Resultados

En la *tabla 14* se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos con este primer modelo.

ID	Resultados
1	Correcto funcionamiento de los inventarios, tomando la forma de “diente de sierra” esperada. Se observa en la figura 7.
2	Se observa una mejora media en el decremento de inventario de las tiendas del 5%. Sin embargo, en términos de costes todavía no se obtienen resultados.
3	Se consigue explicar gráficamente el funcionamiento del stock en plataforma y las incidencias que ocurren derivadas del tiempo de entrega de productos (rotura de stock de seguridad).
4	Existe poca sectorización de los productos, con lo cual, estos resultados son orientativos.
5	Con este modelo no se puede alcanzar el realismo esperado con respecto a una gran cadena de distribución.

Tabla 14: Resultados del modelo básico.

En la *tabla 15* se observan las acciones futuras que se aplicarán sobre el modelo avanzado, puesto que se consideran de utilidad y vía para dotar al nuevo modelo de mayor realismo y alcanzar mejores resultados.

Acciones futuras
La existencia de un único tipo de producto se transformará en una distribución ABC. Se tendrá en cuenta el principio de Pareto.
Se posibilitará la variación de puntos de pedido y de rotura según la clasificación del artículo.
Se modelará un sistema en el que no pueda existir monopolio, sino que todos los agentes sean posibles vendedores/compradores, teniendo distintas posibilidades de entrar en el mercado.
El proveedor se anticipará en fábrica en función de la evolución de los pedidos que recibe.
Mejorar los porcentajes de mejora en cuanto a la variación en nivel de inventario entre el sistema colaborativo y el que no lo es. Para ello se deberán mejorar los algoritmos de negociación y compartir más información entre agentes.
Incrementar la pro-actividad del sistema.

Tabla 15: Acciones futuras.

4.2. Modelo avanzado

Se divide el estudio realizado con el modelo avanzado en tres partes fundamentales. Una primera en la que se trata la diferencia entre la aplicación o no de la negociación entre agentes, una segunda en la que se varían los márgenes de inventario a partir de los cuales realizar modificaciones de precios y una última y tercera en la que se varían los pesos asignados a los niveles de confianza y los precios en tiempo real. Las tres situaciones se amplían en el documento de Resultados del Modelo Avanzado en el Anexo I.

Las propiedades definidas en la *tabla 16* van a ser comunes para cada uno de los 3 casos.

Agentes	Clientes	Tiendas	Plataformas	Proveedores
Número	500	15	2	4
Delay		1	1	3

Tabla 16: Propiedades básicas de los agentes.

Además, con respecto a los productos, la *tabla 17* refleja la rotación y el número de productos que van a existir de cada tipo. En esta tabla se reflejan los pedidos realizados por los clientes, es decir, serán quienes fijen la rotación de los productos a lo largo de la cadena.

Productos	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Total Productos	3	4	3
Aparición	70%	20%	10%

Tabla 17: Productos.

Además, en el Anexo I-tabla 1 se puede observar la tabla ampliada de datos precalculados que hacen estable la cadena, es decir, los valores de puntos de pedido y niveles de stock de seguridad que otorguen realismo al sistema.

4.2.1. Negociación frente a Sin Negociación

En esta primera simulación se van a tratar los resultados desde el punto de vista de dos simulaciones diferentes. En el primer caso se simulará teniendo en cuenta la no existencia de negociación entre los diferentes participantes de la cadena logística y seguidamente se mostrarán los resultados en el caso contrario. La no existencia de negociación conlleva que no podrán existir ofertas en el sistema colaborativo, aunque si se mantendrá la capacidad de comprar según la experiencia.

En la *figura 7* se observa como las tiendas han mejorado sus beneficios en un 20,26% en el caso en el que se pueden realizar negociaciones. Sería interesante poder establecer un valor para las situaciones en las que un cliente no está dispuesto a aceptar un proceso de negociación. Es decir, por mucho que baje el precio, a veces no querrá comprar productos ofertados.

No obstante, además de haber conseguido incrementar los ingresos en un 15,6%, también se han conseguido reducir los costes de inventario en un 9,3%.

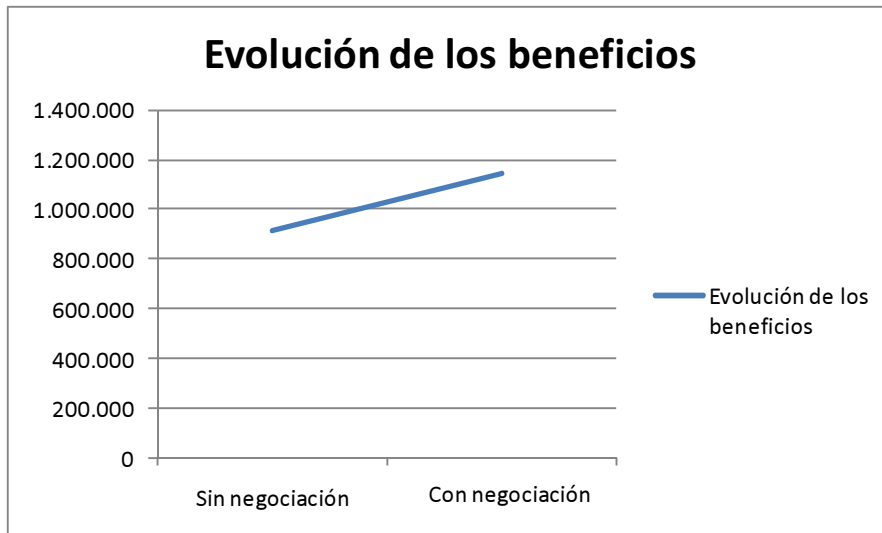


Figura 7: Evolución de los beneficios en tiendas.

Se observa en la *figura 8* que en las plataformas, y como conclusión positiva, resulta de especial relevancia la disminución en el coste de inventario sabiendo que con la existencia de negociación han crecido sus ventas. Esto es debido a que se consigue equilibrar el inventario por el aumento del número de pedidos desde tienda. Por supuesto que el gasto global se ve incrementado, pero es normal existiendo un aumento de las ventas.

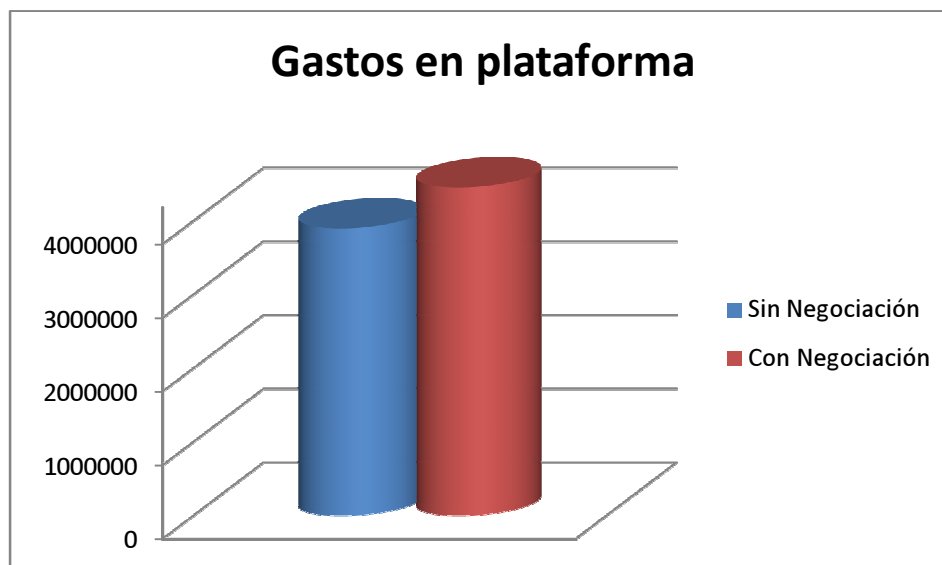


Figura 8: Gastos en plataforma sistema de negociación.

Los proveedores, en consecuencia, tendrán que aumentar su producción e incrementarán sus ventas. El proveedor va a ser el gran beneficiado, siempre y cuando pueda cubrir la demanda, puesto que a nivel de producción los productos están menos diversificados (no todos los proveedores producen todo). Así, el proveedor obtendrá ingresos un 22,9% superiores (en media) que en el caso en el que no exista negociación. Observar en la *tabla 18* un resumen de esta sección.

Capítulo 4: Resultados

Conclusiones	Motivos
Incremento de un 20,26% de los ingresos de venta en las tiendas.	Alto crecimiento en las ventas y bajo aumento de los costes de inventario.
Las plataformas consiguen disminuir el coste del inventario con la existencia de ofertas.	Las tiendas aumentan su demanda y el sistema colaborativo incentiva la fluidez del movimiento de artículos en stock.
Los proveedores incrementan sus beneficios con la existencia de la negociación.	Al realizar la cuenta de “ <i>ingresos-gastos</i> ” para los proveedores, estos salen beneficiados de las negociaciones.
Todos ellos se ven beneficiados, excepto la plataforma, que no se ve beneficiada en términos absolutos, pero consigue reducir el coste de inventario.	La negociación permite aumentar los flujos de productos, y la colaboración se encarga de mejorar el mantenimiento de los niveles de stock existentes en cada uno de los 3 agentes vendedores (proveedores, plataformas y tienda).

Tabla 18: Conclusiones con/sin negociación.

4.2.2. Variación del margen de modificación de precios

En este segundo modelo de simulación se ha trabajado con los márgenes de modificación de precios. Esto significa que en un sistema en el que los precios son modificados en función del exceso o falta de stock se permite mayor o menor holgura al nivel de stock para que estos varíen.

Así, a mayor tasa de modificación, mayor excedente de inventario se necesitará para variar los precios, y viceversa. Además, siempre se tomará como base la utilización de negociación, al haber observado que es una situación favorable, y los parámetros de inicio de la simulación serán los mismos que en el caso anterior.

En primer lugar se vuelven a calcular los ingresos obtenidos por las tiendas. En este caso incrementan con el crecimiento de los márgenes de subida de precios. Es lógico si se piensa que se va a seguir vendiendo igual en un mercado en el que no entran a competir nuevos ofertantes. Caso de estudio aparte. Cabría esperar realizar un estudio de mercado en el que se reflejase el “excedente del consumidor”, en el que considerásemos en qué punto este dejaría de comprar. A partir de ahí, calcular el margen óptimo. En la *figura 9* se observan los ingresos por parte de las tiendas.

Como conclusión, los ingresos crecen cerca de un 6%, y los costes de inventario en tienda disminuyen un 16,92% con respecto al caso medio en el que el margen es 0,4. Por lo tanto, sólo quedaría realizar un estudio de mercado real para saber hasta qué punto se puede subir el margen en las tiendas.

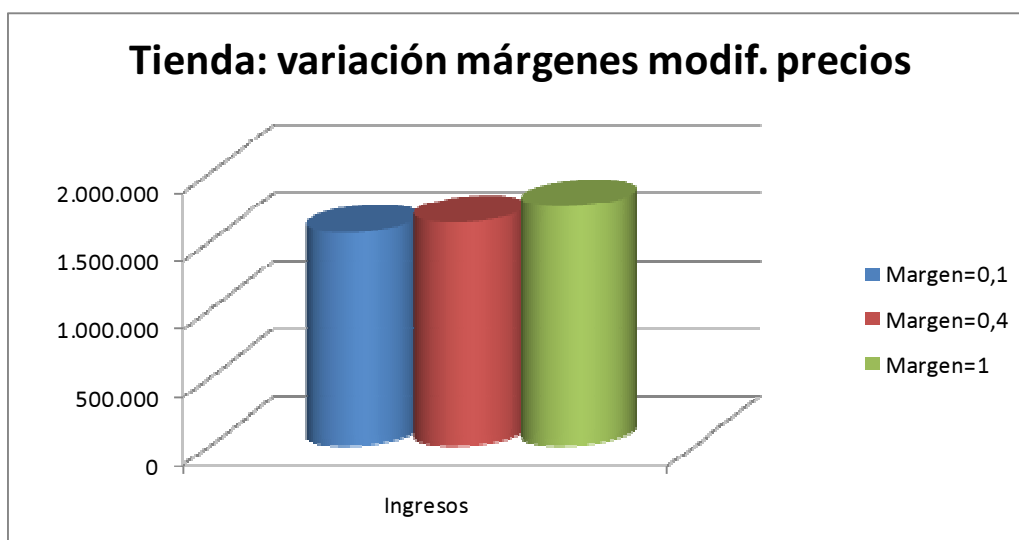


Figura 9: Ingresos tiendas con variación de margen de precios.

En los casos de plataformas y proveedores también se subirán los márgenes. En esta situación, la asociación plataforma- tienda, al ser fija, provoca que apenas existan variaciones en el coste de inventario de los distintos participantes, como se observan en la *figura 10*.

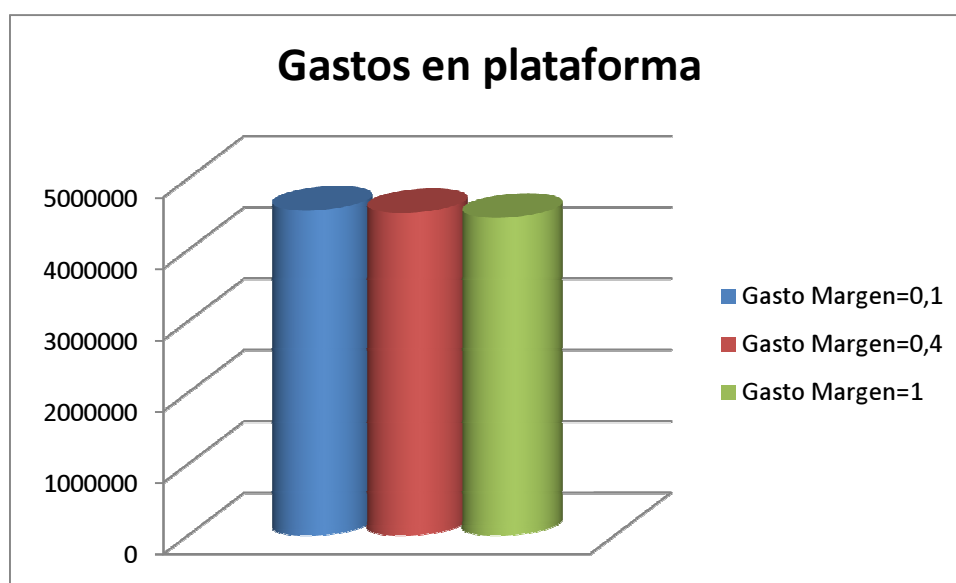


Figura 10: Gastos en plataforma con variación de márgenes de precio.

Los beneficios obtenidos por el proveedor son parejos en los dos primeros casos, pero debido al incremento en el margen de modificación de precios los proveedores obtendrán niveles menores de ingresos progresivamente y mantendrán sus costes de inventario.

Conclusiones	Motivos
Evolución positiva de los beneficios en tienda con el incremento de los márgenes de precios.	Subida en los ingresos y bajada de los costes. Conociendo estudios reales, podríamos alcanzar el punto óptimo en el que esta situación comienza a ser desfavorable.
Influencia insignificante sobre los gastos de las plataformas.	Asociación fija plataforma-tienda. Provoca que no exista apenas competencia, y por lo tanto, no influya la variación de precios. Las tiendas les van a tener que seguir comprando a los mismos distribuidores.
Disminuyen los beneficios de los proveedores al incrementar los márgenes.	Bajan las ventas y los niveles de inventario se mantienen. Sería recomendable para los proveedores disminuir su margen de modificación de precios en un sistema colaborativo.

Tabla 19: Conclusiones margen de modificación de precios.

Modificación de pesos: precio y confianza

Al modificar la fuerza que ejercen el precio actual o la confianza que tienen depositada los compradores a base de aprendizaje, se puede ejercer influencia sobre los compradores de tal forma que atribuyan mayor o menor importancia al precio actual de mercado de un producto. Si se aumenta el peso de la confianza recibirá más valor la experiencia previa de todos los agentes pertenecientes a su mismo grupo (proveedor, plataforma, tienda o cliente), sin importar tanto el precio actual.

Se consideran tres situaciones en función de los valores de estos pesos:

1. La experiencia pasada no influye. *Peso Precio*.
2. El peso de confianza y precio son parejos. *Peso Medio*.
3. El peso de la confianza influye un 80% sobre los compradores. *Peso Confianza*.

Se toma como punto de partida el caso en el que existen negociaciones y el margen de modificación de precios es 0,4.

La conclusión principal en esta situación es que los grandes beneficiados de la atribución de alta importancia a los históricos de confianza son las tiendas y los clientes de una manera recíproca. La relación cliente-tienda se ve mejorada por el añadido de esta propiedad sobre la capacidad de realización de negociaciones.

Capítulo 4: Resultados

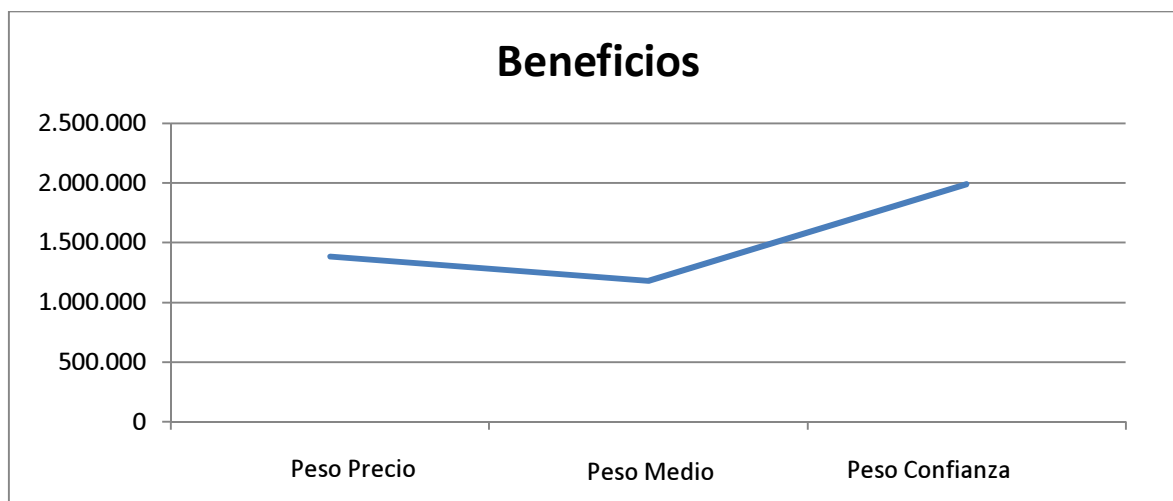


Figura 11: Beneficios de tiendas con variación de pesos.

Con respecto a las plataformas se destaca que en su situación el mejor caso que puede darse es el mantenimiento del peso del precio al 100%, debido a la asociación fija con las tiendas.

GASTOS	Peso Precio	Peso Medio	Peso Confianza
Gastos Compras	3692625	3650963	3277429
Coste de Inventario	1247574	870432	1258424
Gasto Total	4940199	4521395	4535853

Tabla 20: Gastos en plataformas con variación de pesos.

En la figura 12 también se observa la evolución del gasto total por parte de las plataformas.

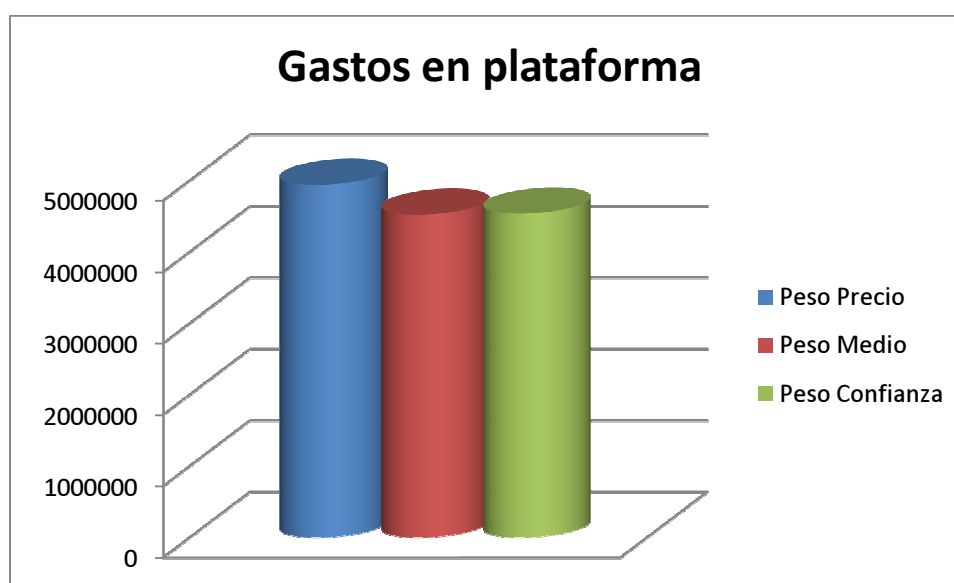


Figura 12: Gastos en plataforma con modificación de pesos.

Capítulo 4: Resultados

Los proveedores se ven perjudicados en la situación central, en la que aumentan los costes de inventario.

En la *tabla 21* se resumen las conclusiones del caso en el que está permitido variar los pesos de los precios y la confianza para ejecutar la simulación.

Conclusiones	Motivos
Cientes y tiendas se ven beneficiados de otorgarle alta importancia al histórico de confianza.	Se observa en la simulación cómo los ingresos de las tiendas aumentan, y los costes de inventario disminuyen. Además, el cliente va a poder elegir los mejores precios.
Las plataformas deberán elegir que exista desconocimiento de datos históricos.	Puesto que la tienda, debido a su situación geográfica con respecto a las plataformas, no elegirá dónde comprar.
Los proveedores salen beneficiados del caso en el que sus compradores no disponen de información histórica. El peor caso para ellos es el Peso Medio.	Un aumento en los costes de inventario provoca esta situación.

Tabla 21 : Conclusiones con modificación de pesos.

Capítulo 5

Conclusiones

Como ya se definió en el primer capítulo, el objetivo del proyecto es determinar conclusiones que puedan mejorar el funcionamiento de la cadena de suministro a partir del desarrollo de un modelo de simulación próximo a la realidad de esta cadena de suministro. Utilizando la teoría de agentes y caracterizando el comportamiento de las diferentes entidades integrantes de la cadena, se adapta a la simulación de la cadena de suministro la compartición de información entre los distintos agentes que conforman la cadena.

5.1. Cumplimiento de objetivos

1. A través del modelado y la simulación de escenarios definidos en base a agentes se han podido alcanzar los objetivos deseados. Caracterizando el comportamiento de los agentes en base a la negociación y la compartición de información se han obtenido resultados que llevan a la mejora de los niveles de inventario de los agentes, incremento de los beneficios y decremento de los gastos de compra de productos.
2. Se ha conseguido modelar correctamente el comportamiento de los inventarios de las tiendas, plataformas y la producción de los productores.
3. Tanto en el modelo básico como en el modelo avanzado se obtienen los resultados esperados.
4. Se ha conseguido dotar de autonomía a los agentes.

Por lo tanto, los objetivos definidos inicialmente se han cumplido satisfactoriamente.

5.2. Valoración personal

La posibilidad de realizar un proyecto real de principio a fin me ha permitido tener una visión general de las partes que este entraña.

La aplicación de ciertos aspectos aprendidos en la Universidad me ha servido para poder llevar un orden y seguir un procedimiento correcto en la realización del proyecto. La toma de requisitos ha sido fundamental para caracterizar el comportamiento de los agentes.

Respecto a las dificultades halladas a lo largo del proyecto considero dos dificultades añadidas: la necesidad de haber realizado estudios sobre las herramientas existentes y la necesidad de adquirir ciertos conocimientos logísticos.

La experiencia técnica adquirida en la carrera de Ingeniería en Informática me ha ayudado a adaptarme a las exigencias que en el Instituto Tecnológico de Aragón me demandaban.

He de dar las gracias tanto a los compañeros de trabajo como especialmente a Miguel Ángel Barcelona y a David Ciprés por su apoyo técnico siempre que lo he requerido.

5.3. Siguientes pasos

Se plantean las siguientes opciones como futuras ampliaciones:

Propiedad	Descripción
Afinar inventario.	Conseguir que a pesar de estar obteniendo mejores niveles de ingreso, conseguir rebajar en términos absolutos la cantidad de productos en inventario a lo largo del año.
Ejecución distribuida.	Aplicar la ejecución en varias máquinas de las simulaciones, para poder ampliar la cantidad de agentes que intervienen en las mismas. En los resultados básicos no existieron problemas, pero conforme crece la red, los tiempos incrementan considerablemente.
Observar influencia de la rotación de los productos.	¿Qué ocurriría si aplicamos la ejecución sobre todos los productos de tipo A, en el otro extremo, sobre todos los productos de tipo C? ¿Existe la misma repercusión sobre todos ellos?
Limitar la producción.	Hemos estimado un equilibrio en la producción. Para un caso real, sería interesante conocer la capacidad del fabricante.
Conocer la tasa de crecimiento de ventas en épocas de ventas altas.	Por ejemplo, conocer qué tipo de productos son aquellos que más problemas de distribución tienen en épocas navideñas, conocer el entorno del producto, y conseguir establecer un reparto equitativo entre las diferentes tiendas y plataformas. Algo que no ocurre en la realidad.
Realización de estudios de mercado.	A través de estos estudios de mercado permitiría ajustar el precio que estaría dispuesto a pagar el cliente, y así optimizar los precios de venta y en consecuencia los ingresos del vendedor.
Introducir los medios de transporte de mercancías.	Ciertas variables relacionadas con los medios de transporte para el aprovechamiento del espacio de transporte sería un complemento beneficioso.

Tabla 22: Acciones futuras.

Bibliografía

- [1] Niels Lang, Hans M. Moonen, F Jordan Srouf, Rob A. Zuidwijk. “*Multi Agent Systems in Logistics: A literature and state State-of-the-art Review*”.Erim Website. 2008.
- [2] Repast Home Page. Página oficial de Repast. 2008. <http://repast.sourceforge.net/>
- [3] Thierry Moyaux, Brahim Chaib-draa, and Sophie D’Amours. “*Supply Chain Management and Multiagent Systems*”. Université Laval - DAMAS, Pavillon Pouliot, Québec, Canada .2003.
- [4] José L. Calderón y Francisco C. Lario. “*Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo*”. Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. de Organización de Empresas.2007.
- [5] Juan de Lara. “*Sistemas Multi-Agentes*”. Universidad Autónoma de Madrid.
- [6] José Miguel Castillo Chamorro. “*Metodología para la construcción de modelos multiagente en entornos de planificación*”. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. 2007.
- [7] Área de Investigación, Desarrollo y Servicios Tecnológicos del ITA. “*Técnicas de análisis de redes logísticas y casos prácticos*”. 2009.
- [8] Wen Yau Liang. Chun-Che Huang. “*Agent based demand forecast in multi-echelon supply chain*”. National Changhua University of Education,Changhua,Taiwan. 2005.
- [9] Stavrianna Dimitrou,Stewart Robinson,Kathy Kotiadis. “*The impact of human decision makers’ individualities on the wholesale Price contract’s efficiency: simulating the newsvendor problem*”.
Warwick business school.Coventry,UK.Winter Simulation Conference.2009.
- [10] Michael J. North, Charles M. Macal. “*Managing Business Complexity*”. Oxford University Press. 2007.
- [11] Adeline M. Uhrmacher,Danny Weyns. “*Multi-Agent Systems Simulation and Applications*”. CRC Press.2009.
- [12] H. Donald Ratliff. “*10 Rules for Supply Chain & Logistics Optimization*”. Georgia Institute of Technology.2003.
- [13] Jorge Gómez Sanz, Juan Pavón Mestras. “*Análisis y Diseño de Sistemas Multi-Agente*”.Universidad Complutense de Madrid. 2002.
- [14] Scott A. Deloach,Mark F. Wood. “*Multiagent Systems engineering:The analysis phase*”.Air forcé institute of technology Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 2000.
- [15] Nick Collier. “*RePast: An extensible Framework for Agent Simulation*”. University of Chicago. 2001.

Bibliografía

- [16] *Thierry Moyaux, Brahim Chaib-draa, and Sophie D'Amours. "Supply Chain Management and Multiagent Systems". Université Laval - DAMAS, Pavillon Pouliot, Québec, Canada .2003.*
- [17] *Sara Saberi , Charalampos Makatsoris. "AGENT SYSTEM FOR NEGOTIATION IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT". Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University Putra Malaysia, 43400.2008.*
- [18] *José L. Calderón y Francisco C. Lario. "Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo". Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. de Organización de Empresas.2007.*

